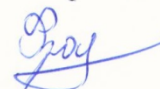


Федерального государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

На правах рукописи



Фролов Михаил Владимирович

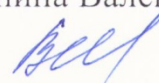
**ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ СМЕСИ ДЛЯ
ОТДЕЛКИ СТЕН ЗДАНИЙ ИЗ ГАЗОБЕТОНА**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Управление качеством
и технология строительного производства»
Логанина Валентина Ивановна



Пенза 2018

Оглавление

Введение	5
Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования.....	11
1.1 Анализ существующих тенденций развития рынка сухих строительных смесей и газобетона	11
1.2 Особенности эксплуатации отделочных покрытий для газобетона	15
1.3 Анализ влияния высокопористых наполнителей на свойства штукатурных составов	22
1.4 Обоснование возможности регулирования свойств теплоизоляционных известковых покрытий за счет использования модифицирующих добавок	26
1.5 Цели и задачи исследования	28
Глава 2. Характеристика материалов и методика проведения исследований	30
2.1 Характеристика материалов	30
2.2 Методика оценки физико-механических свойств сухих строительных смесей и покрытий на их основе	37
2.3 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов	41
2.4 Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе разрабатываемой сухой строительной смеси.....	43
2.5 Методика оценки пуццоланической активности материалов	46
2.6 Методы оценки кинетики теплопереноса в отделочном покрытии	48
2.7. Прочие методы исследований.....	50
2.8 Статистическая обработка результатов испытаний	53
Глава 3. Обоснование выбора компонентов при создании теплоизоляционных сухих строительных смесей.....	55
3.1 Анализ влияния наполнителей на механизм передачи тепла в исследуемых растворных композитах	55
3.2 Оценка влияния наполнителей на кинетику влагопереноса в исследуемых растворных композитах	62
3.3 Определение активности наполнителей.....	66

3.4 Анализ распределения микросфер в структуре растворного композита.....	69
Выводы по главе 3	76
Глава 4. Разработка рецептуры теплоизоляционной сухой строительной смеси ...	78
4.1 Физико-химические свойства добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция	78
4.2 Закономерности влияния добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция на свойства известковых композитов.....	86
4.3 Исследование возможности применения отходов производства газобетона в рецептуре разрабатываемой теплоизоляционной сухой строительной смеси	91
4.4 Реологические и технологические свойства разрабатываемой теплоизоляционной сухой строительной смеси	94
Выводы по главе 4	98
Глава 5. Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе теплоизоляционной сухой строительной смеси	100
5.1 Гидрофизические свойства теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов	100
5.2 Трещиностойкость теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов	103
5.3 Оценка влияния отделочных покрытий на основе разрабатываемых составов на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции .	109
5.4 Прочность сцепления с газобетоном теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов	118
5.5 Морозостойкость теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов	119
5.6 Техничко-экономические показатели и технологическая схема производства разрабатываемых теплоизоляционных сухих строительных смесей.....	124
5.7 Оценка экономической эффективности использования разрабатываемых теплоизоляционных сухих строительных смесей	138
Выводы по главе 5.....	141
Заключение	144

Список литературы	148
Приложение А. Акт опытно-производственного апробирования теплоизоляционной известково-цементной сухой строительной смеси.....	167
Приложение Б. Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные смеси для отделки газобетона. Технические условия. Проект СТО.....	168

Введение

Актуальность темы исследования. Ужесточение требований к энергоэффективности вновь возводимых зданий вызвало увеличение объемов использования при строительстве газобетонных блоков марок D300-D600, позволяющих возводить однослойные наружные стены с высокими теплозащитными свойствами. В связи с этим возрос спрос на специализированные материалы для отделки газобетонных стен, к которым в первую очередь необходимо отнести модифицированные сухие строительные смеси (ССС).

Для отделки газобетона в настоящее время широко используют отделочные составы, средняя плотность которых варьируется в пределах 1200-1400 кг/м³. При отделке газобетонных блоков марок D300-D600 такими составами возникает несоответствие теплофизических и деформационных характеристик отделочного слоя и газобетона, что приводит к значительным внутренним напряжениям и интенсивному увлажнению в месте контакта штукатурного покрытия и газобетона, в результате чего нарушается сцепление отделочного покрытия с газобетоном и происходит отслоение штукатурных слоев от стены.

В связи с этим разработка рецептуры эффективной теплоизоляционной ССС пониженной плотности для отделки газобетона марок D300-D600, позволяющей уменьшить количество конденсирующейся влаги в граничном слое между газобетоном и отделочным покрытием и улучшить теплозащитные качества ограждающей конструкции, является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить срок службы отделочного покрытия.

Диссертационная работа выполнена на базе кафедры «Управление качеством и технология строительного производства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» в рамках программы «У.М.Н.И.К.» по теме «Разработка

теплоизоляционной сухой строительной смеси, наполненной стеклянными микросферами, для отделки газобетона» при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Договор № 11336ГУ1/2017 от 21 апреля 2017 г., срок выполнения 2017-2019 г.), и стипендии Правительства РФ на 2016/2017 год (Приказ Министерства образования и науки РФ № 143 от 24 февраля 2016 г.).

Степень разработанности темы исследования. Вопросам разработки теплоизоляционных ССС посвящены многочисленные работы российских и зарубежных ученых Загороднюк Л.Х., Трофимова Б.Я., Баженова Ю.М., Лесовика В.С., Крамаренко А.В., Низиной Т.А., Нациевского С.Ю., Пустовгар А.П., Ерофеева В.Т., Cachova M., Vejmelkova E, Palomar I., Shoukrya H., Chen J.P. и др. Для снижения средней плотности отделочных покрытий в их состав вводят различные высокопористые наполнители. В работах Королева Е.В., Орешкина Д.В., Величко Е.Г., Семенова В.С. обоснована возможность эффективного использования микросфер в качестве высокопористого наполнителя для цементных растворов. Однако низкая паропроницаемость цементных отделочных составов с микросферами по сравнению с газобетоном марок D300-D600 ограничивает возможность их использования в качестве наружной отделки для стен из газобетона.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка рецептуры и технологии производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона марок D300-D600, покрытия на основе которой будут обладать пониженной плотности, низкой теплопроводностью, высокой паропроницаемостью, хорошей способностью противостоять атмосферным воздействиям, высокой адгезией к газобетону и деформативными свойствами, близкими к деформативным свойствам газобетона. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– на основе пространственной модели теплоизоляционного композита оптимальной структуры, обосновать выбор вяжущего и наполнителя в ССС для отделки газобетона марок D300-D600;

- оценить влияние наполнителей на механизм передачи тепла и кинетику влагопереноса в покрытиях на основе теплоизоляционных ССС;
- обосновать целесообразность применения добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, в рецептуре теплоизоляционных известковых ССС для отделки газобетона;
- выявить закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция;
- разработать рецептуру теплоизоляционной известковой ССС для отделки газобетона с применением в качестве наполнителя микросфер, с использованием добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция и установить технологические и эксплуатационные свойства покрытия на ее основе;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной известковой теплоизоляционной ССС для отделки газобетона в промышленное производство.

Научная новизна работы. Обоснована возможность эффективного использования в известковых теплоизоляционных сухих строительных смесях для отделки газобетона марок D300-D600 модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция и наполнителя – микросфер зольных алюмосиликатных. Выявлено, что использование в качестве наполнителя микросфер и модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция способствует повышению трещиностойкости покрытий за счет снижения усадочных деформаций в процессе твердения, увеличения предельной растяжимости и когезионной прочности отделочного покрытия, более равномерного распределения влагосодержания по сечению покрытий в процессе увлажнения, повышению водостойкости на счет формирования структуры композита с закрытой пористостью.

Установлен синергетический эффект влияния модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, обладающей высокой пуццоланической активностью, на структурообразование известковых

отделочных составов, проявляющийся в снижении содержания свободной извести до 28,6 %, повышении прочности при сжатии в 2,87 раза, ускорении набора пластической прочности, увеличении коэффициента размягчения в 2,2 раза.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность снижения плотности, теплопроводности, повышения паропроницаемости покрытий на основе известковых теплоизоляционных ССС для наружной отделки газобетона марок D300-D600 за счет использования в качестве наполнителя зольных алюмосиликатных микросфер, модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, проявляющей синергетическое влияние на процессы структурообразования известкового композита.

Разработан состав теплоизоляционной ССС, предназначенный для отделки газобетона и содержащий известь-пушонку, зольные микросферы алюмосиликатные, белый цемент, добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, размолотые отходы производства газобетона, пластификатор Melflux 2651 F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность покрытия $\rho=650 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,137 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, адгезионная прочность $R_{\text{адг}}=0,71 \text{ МПа}$, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$, коэффициент размягчения $K_{\text{разм}}=0,82$, прочность при сжатии $R_{\text{сж}}=4,1 \text{ МПа}$.

Разработаны технологическая схема производства известковой теплоизоляционной ССС и проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные смеси для отделки газобетона. Технические условия».

Новизна разработок подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение от 6.02.2018 г. № 2643874 «Сухая теплоизоляционная смесь для отделки газобетона».

Методология и методы диссертационного исследования. Методологической базой проведенных исследований служат общенаучные

методы, основанные на эксперименте, методе системного подхода, принципе рассмотрения во взаимосвязи, обобщение.

Методической базой диссертационной работы являются методы оптической микроскопии, методы рентгенофазового анализа, методы дифференциального термического анализа, методы статистической обработки результатов экспериментов, методы качественного и количественного анализа, а также различные физико-механические и физико-химические методы.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты исследований влияния вида используемого в составе теплоизоляционной известковой ССС высокопористого наполнителя на теплоизоляционные, гидрофизические и деформационные свойства отделочного покрытия;

– закономерности изменения реологических, технологических, физико-механических свойств известковых отделочных составов, полученных с использованием в качестве добавки смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция;

– состав и технология производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона.

Степень достоверности результатов работы. Высокая достоверность достигнутых результатов работы и полученных научных выводов обеспечивается хорошей сходимостью результатов проведенных экспериментальных исследований с данными, полученными в результате производственного апробирования, проведением экспериментов на исследовательском оборудовании, прошедшем метрологическую поверку, статистической обработкой результатов выполненных экспериментальных исследований с заданной вероятностью и необходимым количеством повторных испытаний.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы представлены на международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород, 2017 г.), XX межрегиональной специализированной выставке «Промышленность.

Строительство. Коммунальное хозяйство. Энергосбережение.» (г. Пенза, 2017 г.), международном молодежном образовательном форуме «Евразия – 2016» (г. Оренбург, 2016 г.), молодежном форуме ПФО «iВолга 2016» (г. Самара, 2016 г.), молодежном инновационном форуме «Инновационные технологии в информатике, медицине, современных материалах и биотехнологиях» в рамках финала отбора по программе «У.М.Н.И.К.» (г. Пенза, 2016 г.), молодежном форуме ПФО «iВолга 2017» (г. Самара, 2017 г.), Всероссийском молодежном образовательном форуме «Территория смыслов» (г. Владимир, 2017 г.). В промышленных условиях апробацию полученных результатов осуществляли на предприятии ПТО ООО РСУ «Спецработ».

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 25 научных работ, в том числе 17 работ в российских рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, две статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 163 наименований, двух приложений. Диссертация изложена на 190 страницах машинописного текста и содержит 43 рисунка, 35 таблиц.

Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Анализ существующих тенденций развития рынка сухих строительных смесей и газобетона

В сентябре 2017 года был опубликован «Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2018 год и на плановый период 2019 и 2020 годов», подготовленный министерством экономического развития Российской Федерации [96]. Согласно нему, после серьезного снижения доли строительства в структуре валового внутреннего продукта Российской Федерации в период с 2014 г. по 2016 г., в период с 2017 г. по 2020 г. будет наблюдаться её интенсивный рост. По данному прогнозу доля строительства в структуре валового внутреннего продукта Российской Федерации в период с 2017 г. по 2020 г. увеличится с 5,7 % до 6,5 %. Это связано в том числе и с принятием государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильём и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» [36]. В связи с этим строительству потребуется большое количество разнообразных эффективных строительных материалов.

За последнее несколько лет в Российской Федерации значительно ужесточились требования к тепловой защите наружных ограждающих конструкций вновь возводимых зданий [112, 121]. В дальнейшем ожидается еще большее ужесточение требований по энергосбережению. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 20.05.2017 № 603 «О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. N 18» к 1 января 2028 г. требуется снизить энергопотребление на стадии эксплуатации зданий не менее чем на 50 % по сравнению с 2009 годом [95]. Для выполнения требований к тепловой защите зданий при проектировании наружных многослойных ограждающих конструкций сейчас активно используются различные эффективные теплоизоляционные материалы, такие как минеральная вата, пенополистирол, пенополиуретан. Рост производства данных

теплоизоляционных материалов в период с 2016 по 2017 год составил 11,2 % – с 98 932 тыс. м³ до 109 995 тыс. м³ [50]. Одновременно с ростом производства данных материалов, все чаще в строительстве используют материалы, позволяющие возводить однослойные ограждающие конструкции с высокими теплозащитными свойствами. К таким материалам можно отнести блоки из ячеистого бетона. Рост производства ячеистого бетона в период с 2016 по 2017 год составил 3,3 % – с 8068 млн. усл. кирпичей до 8333 млн. усл. кирпичей. При этом за аналогичный период времени производство керамического и силикатного кирпича, являющихся аналогами газобетона, но характеризующихся большей теплопроводностью, уменьшилось на 3,3 % с 8820 млн. усл. кирпичей до 8527 млн. усл. кирпичей [50].

В конце 2018 года будет запущен новый завод по производству газобетона в Ростовской области. Таким образом, с 2006 года в России ежегодно, за исключением 2017 года, запускались новые производства автоклавного газобетона. На сегодняшний день в России существует 77 заводов по производству автоклавного газобетона. Из них действующими являются 73 завода. Совокупная производственная мощность всех действующих заводов превышает 17,9 млн. м³ [12].

Отметим, что в июне 2014 г. в Пензенской области в р.п. Чаадаевка был открыт завод по производству газобетонных блоков под маркой «РОСБК». На данный момент на заводе ежегодно выпускаются газобетонные блоки в объеме 200 тыс. м³. С конца 2010 года в Саратове функционирует завод ДСК «ГРАС — Саратов», мощность производства автоклавного газобетона которого составляет 450 тыс. м³.

Анализ доли различных марок газобетона в общей структуре его производства показал, что наблюдается снижение плотности выпускаемых блоков. Доля газобетонных блоков марок D300 и D400 в общем объеме выпуска выросла с 0,38 % и 13,82% в 2016 году до 0,71 % и 15,30 % в первом полугодии 2017 года. Усреднённый показатель плотности выпускаемых газобетонных блоков снизился с 509 кг/м³ в 2016 году до 505 кг/м³ в первом полугодии 2017

года [12]. В дальнейшем в связи с ужесточением требований по энергосбережению можно ожидать дальнейшее снижение плотности выпускаемых газобетонных блоков.

Значительный рост доли газобетонных конструкций в общем объеме строительства вызвал увеличение спроса на специализированные материалы для его отделки. К таким материалам в первую очередь необходимо отнести современные ССС. Динамика производства модифицированных ССС в России представлена на рисунке 1.1

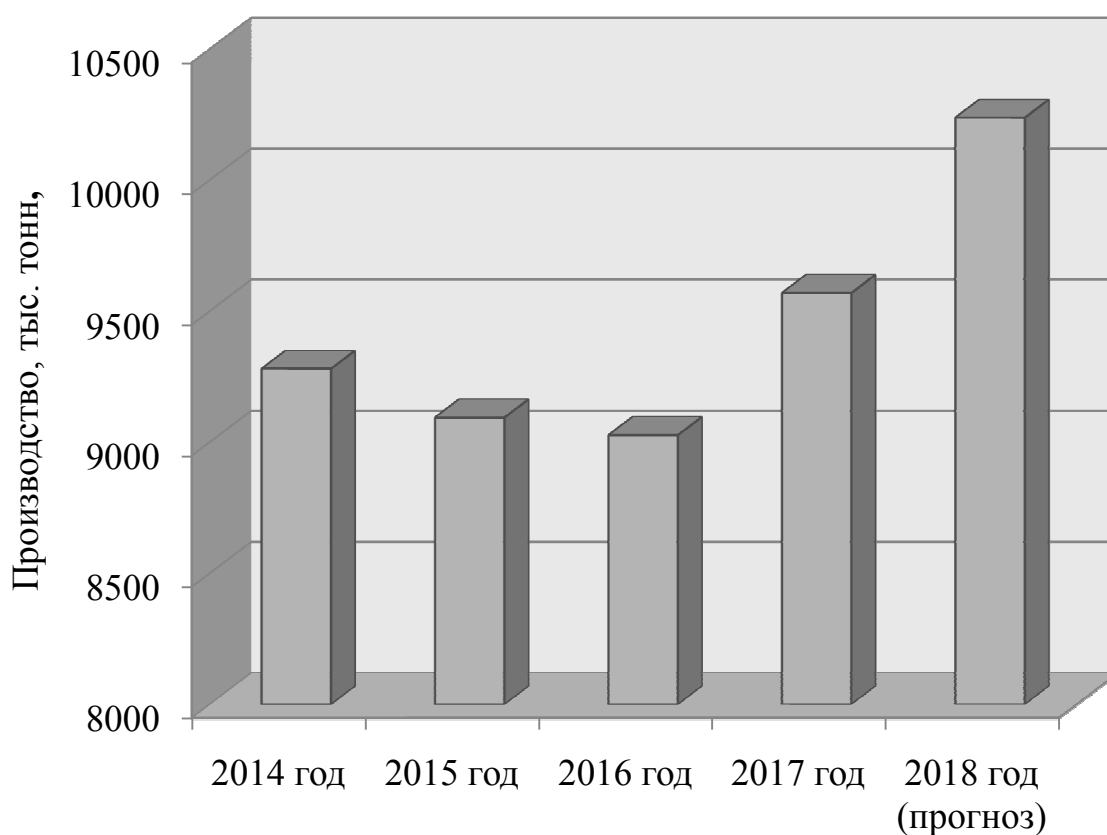


Рисунок 1.1 – Динамика производства модифицированных ССС в России [Привод. по: 103]

В 2015 и 2016 годах в России было отмечено незначительное снижение выпуска модифицированных ССС на 2 % и 1 % соответственно. Это связано с общеэкономической ситуацией в России, которая оказала негативное влияние как на объемы строительства новых зданий, так и на объемы ремонтных работ. Напряженные экономические условия на строительном рынке привели к тому, что

с 2014 года застройщики стали массово отказываться от использования дорогих зарубежных ССС. Если в 2013 году в Россию было импортировано 532 тыс. т ССС, то в 2017 году всего 87 тыс. т. Среднесрочные прогнозы для рынка ССС более благоприятные. Различные варианты прогнозов потребления ССС представлены на рисунке 1.2.

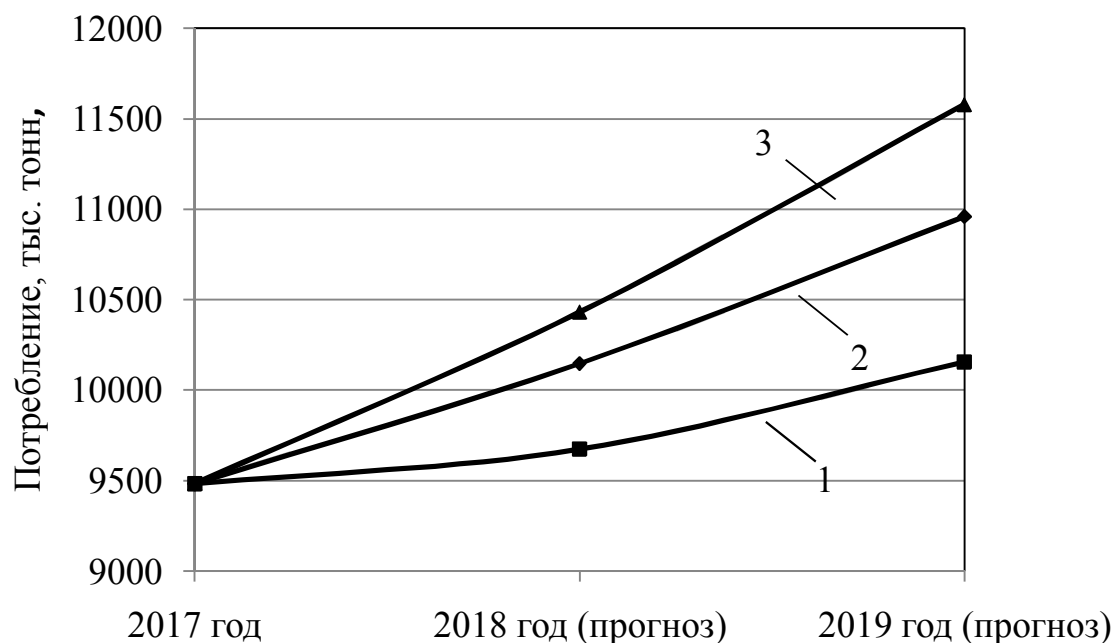


Рисунок 1.2 – Прогнозы потребления ССС в России: 1 – пессимистический прогноз; 2 – наиболее вероятный прогноз; 3 – оптимистический прогноз [Привод. по: 103]

В ближайшие два года прогнозируется существенный рост потребления ССС в России. В 2017 году период незначительного снижения выпуска ССС в России закончился и начался уверенный рост выпуска ССС, составивший к концу года 6 %. Это связано с тем, что в 2016-2017 году были введены в эксплуатацию несколько крупных заводов по производству ССС: завод «Волма» в Майкопе, производительностью 200 тыс. т в год; завод «Петрович» в Санкт-Петербурге, производительностью 120 тыс. т в год; завод «Крепс» в Арамиле, производительностью 100 тыс. т в год; завод «Седрус» в Ставропольском крае, производительностью 200 тыс. т в год; завод «Техносервис» в Калининграде, производительностью 150 тыс. т в год; завод «Магма» в Ульяновской области,

производительностью 260 тыс. т в год; завод «Ремикс» в Санкт-Петербурге, производительностью 250 тыс. т в год [103].

На рынке модифицированных ССС сохраняется умеренная степень концентрации. Доли рынка различных производителей ССС в России по состоянию на 2017 год представлены на рисунке 1.3.

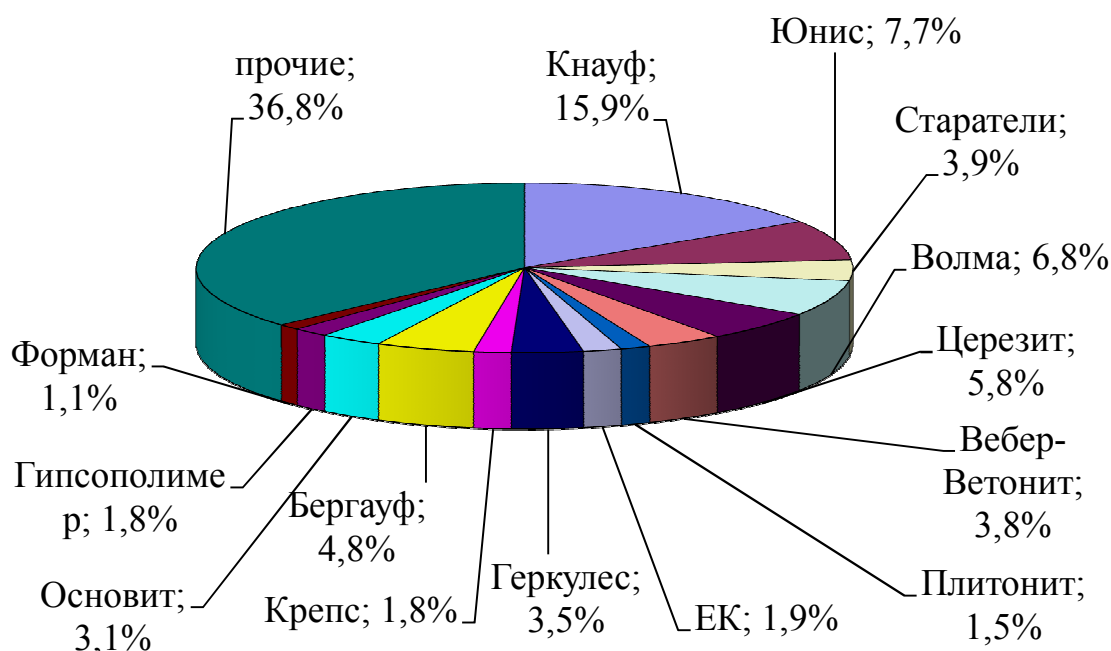


Рисунок 1.3 – Доли рынка производителей ССС в России [Привод. по: 103]

Установлено, что на 2017 год лидерами по объемам выпуска и реализации ССС в России являются следующие компании: Кнауф (15,9 %), Юнис (7,7 %) и Волма (6,8 %), Церезит (5,8 %).

Одновременный рост производства ячеистого бетона и модифицированных ССС в России свидетельствует о востребованности разработки новых специализированных ССС, предназначенных специально для отделки газобетона.

1.2 Особенности эксплуатации отделочных покрытий для газобетона

При разработке современных ССС, предназначенных для отделки газобетона, следует учитывать, что декоративные функции получаемых

штукатурных покрытий не должны рассматриваться как основные. Наиболее важными являются показатели, характеризующие способность отделочного покрытия обеспечивать защиту газобетонных конструкций от различных климатических воздействий, таких как осадки и температурные колебания. За счет использования отделочных покрытий не должны ухудшаться теплозащитные свойства ограждающих конструкций. Использование современных отделочных составов также должно повышать долговечность строительных конструкций из газобетона. Для этого штукатурное покрытие должно характеризоваться высокой прочностью сцепления отделочного состава с основанием, высокой трещиностойкостью, устойчивостью к воздействию газовой агрессии и солевой коррозии, стойкостью по отношению к различным грибковым поражениям и др. [5].

При разработке рецептуры ССС, предназначенной для отделки газобетона, необходимо отталкиваться от действующих нормативных документов, содержащих различные требования к отделочным покрытиям для стен из газобетонных блоков. Ниже представлен перечень этих нормативных документов, для удобства присвоим им условные сокращенные обозначения:

– ГОСТ 11118-2009. Панели из автоклавных ячеистых бетонов для наружных стен зданий (ГОСТ 11118-2009) [25];

– Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения 2010. Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона (Руководство по наружной отделке) [102];

– СТО 501-52-01-2007 Проектирование и возведение ограждающих конструкций из ячеистых бетонов Часть 1 (СТО 501-52-01-2007) [114];

– НИИЖБ Госстроя СССР 1987. Рекомендации по отделке ячеистобетонных стен жилых и промышленных зданий (Рекомендации по отделке).

В таблицу 1.1 сведены требования к отделочным покрытиям для газобетона из данных нормативных документов.

Таблица 1.1 – Требования, предъявляемые к покрытиям стен из газобетона

Свойства покрытия	Нормативный документ			
	ГОСТ 11118-2009	Рекомендации по отделке	Руководство по наружной отделке	СТО 501-52-01-2007
Средняя плотность, кг/м ³	Не нормируется	1200–1400	1300, не более* 1600, не более**	1500, не более
Адгезия к газобетону, МПа	0,6, не менее	0,6, не менее	0,15, не менее	0,6, не менее
Сопrotивление паропроницанию, м ² ·ч·Па/мг	0,5, не более	Не нормируется	0,5, не более* 0,2, не более**	0,5, не более
Морозостойкость контактной зоны	F35	F35	F35	F35
Водопроницаемость отделочного слоя по капиллярному водопоглощению в течение 24 ч слоя бетона толщиной 0,03 м за покрытием, %	5, не более	5, не более	Не нормируется	5, не более
Стойкость к переменному увлажнению и высушиванию (после 250 циклов)	$R_{\text{сц}}^{250\text{ц}} \geq 0,75R_{\text{сц}}^0$	Не нормируется	Не нормируется	$R_{\text{сц}}^{250\text{ц}} \geq 0,75R_{\text{сц}}^0$
Водоудерживающая способность, %	Не нормируется	Не нормируется	98, не менее	Не нормируется
Марка прочности на сжатие	Не нормируется	Не нормируется	M15–M75	Не нормируется

* для толстослойных штукатурок – средняя толщина слоя более 7 мм.

** для тонкослойных штукатурок – средняя толщина слоя менее 7 мм.

Как видно из таблицы 1.1, требования к отделочным покрытиям для газобетона в данных нормативных документах варьируются. Ниже представлены общие требования, предъявляемые к штукатурным покрытиям по газобетону.

Деформативные свойства отделочных покрытий должны быть близки деформативным свойствам газобетона. Деформация отделочных слоев вызывается действием различных внешних факторов. В результате может происходить нагрев или охлаждение, увлажнение или высушивание штукатурного покрытия. При этом при продвижении внутрь стены амплитуда данных воздействий затухает и запаздывает по времени. Штукатурное покрытие, характеризующееся более высокой прочностью и более высоким модулем упругости по сравнению с газобетоном, при своей деформации способно вызвать значительные напряжения в слое газобетона, примыкающем к наружной отделке. При этом газобетон к этому времени может еще не получить внешних воздействий достаточной интенсивности. В результате возникающих деформаций может произойти разрушение контактной зоны газобетон – отделочное покрытие. При использовании менее прочного штукатурного состава, характеризующегося меньшим модулем упругости по сравнению с газобетоном, возникают незначительные внутренние напряжения, которые не способны вызвать разрушение контактной зоны газобетон – отделочное покрытие. Из-за этого максимальная прочность при сжатии отделочных покрытий не должна превышать марки М50.

Штукатурки, предназначенные для внешней отделки зданий из газобетона, должны характеризоваться сравнительно высокой паропроницаемостью. Они не должны препятствовать движению влаги внутри стены. Движение влаги в толще наружной ограждающей конструкции происходит под действием различных механизмов переноса влаги: диффузии и термодиффузии водяного пара; течения смачивающих пленок; течения жидкости в порах; фильтрации жидкой влаги; капиллярного переноса; капиллярного термоосмоса; термокапиллярного течения [15, 56]. Из-за температурного перепада между наружным и внутренним воздухом в зимний период запускаются механизмы, основанные на возникающем при этом

градиенте парциальных давлений водяного пара. Происходит сквозная диффузия пара через ограждающую конструкцию из отопляемого помещения на улицу.

Отделочные работы по стенам из газобетона желательно проводить спустя несколько месяцев или на следующий после кладочных работ сезон. Такие требования объясняются тем, что начальная влажность газобетона всегда выше расчетной эксплуатационной влажности. Влажность газобетона после автоклавирования составляет около 15 % по объему. Кроме того, дополнительное увлажнение газобетона может происходить во время строительства за счет влаги, поступающей в результате дождей и различных мокрых строительных процессов. При этом особенно интенсивно поток влаги идет через стену в первые два года эксплуатации здания. В этот период происходит удаление начальной влажности из газобетона и одновременно перемещение сквозь стену влаги из-за разницы парциальных давлений внутреннего и наружного воздуха. Но сейчас при строительстве очень часто отделку осуществляют сразу после возведения здания. В таких случаях наружная отделка должна обладать значительно большей паропроницаемостью и препятствовать капиллярному выносу влаги на поверхность стены.

В «СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» в разделе 8 «Защита от переувлажнения ограждающих конструкций» [112] указано, что наружные ограждения должны проектироваться с соблюдением двух условий:

- 1) «при расчете за год в ограждающей конструкции должно конденсироваться меньше влаги, чем способно испариться» [112];
- 2) «общее количество конденсирующейся влаги за один сезон не должно превышать нормируемой величины» [112].

При невыполнении данных условий происходит интенсивное увлажнение газобетона конденсатом, локализующимся на границе газобетона и наружной отделки. Это приводит к образованию льда в конструкции стены и расходованию ресурса морозостойкости контактной зоны газобетон – отделочное покрытие. В результате этого нарушается сцепление отделочного покрытия с газобетоном и

происходит отслоение штукатурных слоев от кладки стены (рисунок 1.4). Увлажнение газобетона также ухудшает его теплозащитные качества.



Рисунок 1.4 – Отрыв штукатурки с высоким сопротивлением паропрооницанию от газобетонной кладки [Привод. по: 37]

Для того, чтобы предотвратить повторное увлажнение газобетона влагой из наружного воздуха, отделочные покрытия для него должны характеризоваться малым водопоглощением. Для этого необходимо выполнять поверхностную или объемную гидрофобизацию отделочного слоя. Также для снижения капиллярного водопоглощения отделочного покрытия в качестве наполнителей в отделочном составе следует использовать материалы, исключая образование в отделочном слое протяженных капилляров.

Штукатурные составы для отделки газобетона также должны характеризоваться высокой водоудерживающей способностью. Это связано с тем, что газобетон способен активно впитывать влагу из штукатурного состава. Часто при выполнении отделочных работ по газобетону допускается следующая ошибка – для предотвращения слишком быстрого высыхания штукатурного состава он затворяется избыточным количеством воды. Из-за этого при высыхании отделочного покрытия на его поверхности может образоваться сеть трещин (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Трещины на штукатурке, затворенной избытком воды
[Привод. по: 37]

В существующей нормативной документации не предъявляется требований к теплопроводности отделочных покрытий для газобетона. Косвенной характеристикой, связанной с теплопроводностью, является плотность отделочных составов. Согласно нормативной документации, допустимо использовать для отделки газобетона ССС, позволяющие получить покрытия с плотностью не более 1300 кг/м^3 . Отметим, что в связи с ужесточением требований по энергосбережению сейчас в строительстве все более широко используется конструкционно-теплоизоляционный и теплоизоляционный газобетон марок D300–D600. При проектировании ограждающих конструкций желательно, чтобы каждый последующий слой стены имел меньшую плотность, большую паропроницаемость и меньшую теплопроводность [8, 84]. При отделке газобетонных блоков марок D300–D600 штукатурными составами плотностью $1100\text{--}1300 \text{ кг/м}^3$ данное правило не выполняется. Для исключения значимого перепада между значениями паропроницаемости и теплопроводности газобетона и отделочного покрытия, для отделки следует использовать ССС, позволяющие получить покрытия плотностью $500\text{--}700 \text{ кг/м}^3$. Также снижение теплопроводности отделочных покрытий позволит повысить температуру в слое газобетона, контактирующем с покрытием. Это уменьшит количество

образующегося в холодный период конденсата. Таким образом, снижение теплопроводности отделочного покрытия позволит улучшить теплозащитные качества всей ограждающей конструкции не только за счет увеличения сопротивления теплопередаче слоя покрытия, но и за счет снижения количества выпадающей в стене влаги. Поэтому целесообразно стремиться к снижению теплопроводности отделочных покрытий для газобетона, при сохранении других характеристик штукатурных составов в нормируемых пределах. Требования к теплоизоляционным штукатурным растворам приведены в европейском стандарте EN 998-1 «Технические условия на строительные растворы. Часть 1. Штукатурный раствор» [163]. Данный стандарт использован при разработке российского стандарта ГОСТ Р 57336-2016/EN 998-1:2010 [34]. Требования к теплоизоляционным штукатурным растворам представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Требования к свойствам теплоизоляционных штукатурных растворов по ГОСТ Р 57336-2016/EN 998-1:2010

Свойства	Категории	Значения
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	CS I	0,4–2,5
	CS II	1,5–5,0
Капиллярное водопоглощение, кг/(м ² ·ч ^{0,5})	W 1	0,4, не более
Теплопроводность, Вт/(м·К)	T 1	0,1, не более
	T 2	0,2 не более

В ходе работы необходимо разработать состав ССС для отделки газобетона, покрытия на основе которого будут иметь марку по теплопроводности T1 или T2 по ГОСТ Р 57336-2016/EN 998-1:2010.

1.3 Анализ влияния высокопористых наполнителей на свойства штукатурных составов

В данный момент большинство ведущих производителей ССС в России либо уже выпускают составы, предназначенные специально для отделки

газобетона, либо ведут разработку таких составов. Часть из этих составов являются также теплоизоляционными. Для уменьшения плотности штукатурки, повышения ее паропроницаемости и улучшения ее теплозащитных свойств в составе ССС для отделки газобетона и в теплоизоляционных штукатурках используются различные высокопористые наполнители: вспученный перлитовый песок (ВПП), вспученный вермикулитовый песок (ВВП), пенополистирольный наполнитель и др. [62, 119, 127, 147, 158].

ВПП на данный момент самый часто применяемый как в России, так и за рубежом наполнитель, использующийся при разработке рецептур теплоизоляционных ССС [85, 91, 133, 140, 148, 150]. ВПП получают из дробленых влагосодержащих пород термической обработкой при температуре около 1000 °С. Данный наполнитель использован в рецептуре ССС немецкой компания Henkel «Ceresit СТ 24. Штукатурка для ячеистого бетона», в рецептуре легкой штукатурки для ячеистого бетона фирмы «Атлас» «ATLAS KB-TYNK» [60, 134]. Плотность покрытий, полученных с использованием данных штукатурок, варьируется в пределах 1200-1400 кг/м³, что значительно выше плотности газобетонных блоков марок D300–D600. Как следствие, теплопроводность и паропроницаемость данных покрытий значительно отличаются от теплопроводности и паропроницаемости газобетона марок D300–D600.

ВВП получают в результате высокотемпературной обработки гидратированных слюд. Данный наполнитель обладает схожими свойствами со ВПП и его также иногда используют при разработке рецептур теплоизоляционных ССС [2, 92, 93, 141, 153, 162]. Данные наполнители относятся к высокопористым материалам с высокой влагоемкостью, что приводит к увеличению водопотребности получаемых с их использованием отделочных составов. Из-за этого такие составы часто расслаиваются, у композитов на их основе уменьшается водостойкость и прочность.

В качестве высокопористого наполнителя в теплоизоляционных штукатурках также используется пенополистирол [135, 136, 154, 155]. Данный

наполнитель использован в рецептуре теплоизоляционной штукатурки «ИЗОЛТЕКО», теплоизоляционной штукатурки «ISOPUTZ EXTRA» немецкой компании Knauf, теплоизоляционной австрийской штукатурки «Tirotherm» [48, 117, 118]. Отличительными особенностями покрытий, получаемых с использованием данных штукатурок, являются низкая плотность и теплопроводность. Плотность покрытий на основе штукатурки «ИЗОЛТЕКО» 250 кг/м^3 , теплопроводность $0,051 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, плотность покрытий на основе штукатурки «Tirotherm» 235 кг/м^3 , теплопроводность $0,063 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, теплопроводность покрытий на основе теплоизоляционной «ISOPUTZ EXTRA» $0,090 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$. При этом прочность при сжатии покрытий на основе представленных составов не превышает $1,2 \text{ МПа}$, что не позволяет рекомендовать их использовать в качестве наружной отделки для газобетона.

Перспективным может являться использование в рецептурах теплоизоляционных ССС для отделки газобетона микросфер. Введение в состав ССС микросфер позволит получить покрытия, которые будут характеризоваться плотностью, теплопроводностью и паропроницаемостью, близкой к газобетону марок D300–D600. Микросферы относятся к материалам с закрытой пористостью, благодаря чему при их использовании в качестве наполнителей в теплоизоляционных ССС водопотребность полученных составов растет незначительно. Вследствие этого прочность, морозостойкость и водостойкость полученных при их использовании покрытий должны уменьшаться не так значительно, как при использовании в качестве наполнителей ВВП и ВПП.

В строительстве сейчас широко используются два вида микросфер, отличающихся способом производства. Полые стеклянные микросферы (ПСМ) производят из измельченного натриевоборосиликатного стекла при высокой температуре в газопламенных печах. Зольные микросферы алюмосиликатные (ЗМА) получают из образовавшейся при сжигании угля золы. Микросферы в строительстве используются в качестве наполнителя в кладочных и тампонажных растворах [51, 88, 150, 151]. Полученные с их использованием растворы отличаются низкой теплопроводностью, сравнительно высокой прочностью и

хорошей способностью противостоять различным атмосферным воздействиям. Низкая паропроницаемость составов, полученных с использованием микросфер, является основным недостатком, ограничивающим их использование в качестве наружной отделки для газобетона. В качестве вяжущего в теплоизоляционных составах на основе микросфер чаще всего используется цемент.

На данный момент не исследована возможность использования в качестве вяжущего в теплоизоляционных составах на основе микросфер извести-пушонки. При этом покрытия на основе ССС, в рецептуре которых в качестве вяжущего используется известь-пушонка, характеризуются высокими показателями паропроницаемости, обладают хорошей трещиностойкостью, хорошо воспринимают растягивающие усилия [98, 124, 128, 129, 149]. Это обуславливает возможность использования извести-пушонки в качестве основного вяжущего в составах для отделки газобетона. В большинстве известковых облегченных и теплоизоляционных ССС в качестве наполнителей используются ВВП и ВПП [90, 152, 156]. Но как было сказано выше, данные наполнители обладают высокой открытой микропористостью, что приводит к увеличению водопотребности отделочных составов, следствием чего является уменьшение водостойкости и прочности получаемых с их использованием теплоизоляционных покрытий. Использование в качестве наполнителя для известковых теплоизоляционных ССС микросфер позволит повысить водостойкость и прочность получаемых штукатурных покрытий. При этом получаемые покрытия будут характеризоваться более низкой теплопроводностью и значительно более высокой паропроницаемостью по сравнению с покрытиями, полученными с использованием цементных теплоизоляционных ССС, наполненных микросферами. Использование известковых ССС, наполненных микросферами, для наружного оштукатуривания стен из газобетона марок D300-D600 может позволить значительно снизить вероятность образования избытков влаги в ограждающей конструкции, что позволит увеличить срок службы отделочного покрытия и стены в целом.

1.4 Обоснование возможности регулирования свойств теплоизоляционных известковых покрытий за счет использования модифицирующих добавок

При разработке теплоизоляционной ССС для отделки газобетона, в которой в качестве основного вяжущего будет использована известь-пушонка, необходимо предварительно выявить основные недостатки существующих известковых составов и разработать меры по их устранению. К основным недостаткам известковых составов в первую очередь следует отнести низкие показатели прочности и водостойкости покрытий на их основе [13]. Также известковые составы отличаются достаточно долгими сроками твердения, что осложняет проведение отделочных работ. Для преодоления данных недостатков в рецептуры известковых ССС вводят различные активные минеральные добавки.

Минеральные добавки сейчас активно используются в рецептурах различных ССС и позволяют значительно улучшить эксплуатационные характеристики получаемых покрытий [6, 16, 108, 143, 144, 157]. При этом производителями значительной доли модифицирующих добавок, применяемых в рецептуре российских ССС, являются зарубежные фирмы [14].

В качестве активных минеральных добавок в известковых составах широко используются различные материалы природного происхождения и отходы промышленных предприятий, содержащие в составе активный кремнезем в аморфном или мелкодисперсном виде. К минеральным добавкам природного происхождения можно отнести пуццоланы, вулканические туфы, диатомит, глины и др. [1, 132, 139, 142]. К минеральным добавкам, получаемым из отходов промышленных предприятий, можно отнести топливные золы, гранулированные шлаки, кремнеземные отходы и др. [107, 125, 131, 146, 161]. Рост прочности и водостойкости известковых растворов при использовании активных минеральных добавок, содержащих активный кремнезем, обусловлен появлением в их минералогическом составе гидросиликатов кальция, образующихся в результате взаимодействия активного кремнезема и извести [4, 11, 12].

Доказана высокая эффективность использования в известковых составах добавок, содержащих гидросиликаты кальция [75, 100]. Такие добавки характеризуются высокой активностью и в результате взаимодействия с известью образуют смесь различных низкоосновных и высокоосновных гидросиликатов. Из-за этого повышается скорость твердения и увеличиваются прочность известковых композитов [99].

В качестве модифицирующих добавок в ССС также используются добавки на основе аморфных гидроксида алюминия и оксидов алюминия, отличающиеся высокой дисперсностью и активностью по отношению к щелочам [53]. К таким модифицирующим добавкам относятся немецкая добавка Alumina STC-20 и отечественная добавка и АмГА [159].

На данный момент проведено достаточно исследований, подтверждающих высокую эффективность использования природных цеолитов и синтетических алюмосиликатов в качестве активных минеральных добавок при производстве ССС [39, 59, 67, 160]. В работах [105, 106] установлено, что в результате взаимодействия извести с алюмосиликатами повышается водостойкость, ускоряется отверждение и растет механическая прочность получаемых покрытий.

В качестве активной минеральной добавки используется метакаолинит, получаемый из измельченной и обожженной при высокой температуре глины [107, 137]. При использовании метакаолинита повышение прочности и улучшение гидравлических свойств известкового состава происходит за счет образования гидроалюмината кальция [45, 130].

Представляет интерес исследование возможности использования в рецептуре известковой теплоизоляционной ССС для отделки газобетона в качестве модифицирующей добавки одновременно гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, в качестве наполнителя – микросфер. Благодаря одновременному использованию микросфер и добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в известковых ССС возможно будет получить покрытия, характеризующиеся достаточной прочностью и водостойкостью, хорошей паропроницаемостью и низкой теплопроводностью.

Анализ патентной и научно-технической литературы свидетельствует, что не исследована возможность использования микросфер в рецептурах известковых ССС. Не выявлены закономерности взаимодействия микросфер с известью. Это свидетельствует о целесообразности исследования возможности совместного использования микросфер и добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в известковых теплоизоляционных ССС для отделки газобетона.

1.5 Цели и задачи исследования

В результате проведенного анализа установлено, что в России в последние годы наблюдается рост производства ячеистого бетона. При этом существующие ССС для отделки газобетона позволяют получить покрытия, обладающие плотностью выше 1000 кг/м^3 , вследствие чего теплопроводность и паропроницаемость таких покрытий значительно отличается от теплопроводности и паропроницаемости газобетона марок D300-D600. Из-за этого возникает несоответствие теплофизических и деформационных характеристик отделочного слоя и газобетона, что приводит к значительным внутренним напряжениям и интенсивному увлажнению в месте контакта штукатурного покрытия и газобетона, в результате чего нарушается сцепление отделочного покрытия с газобетоном и происходит отслоение штукатурных слоев от стены.

Целью диссертационной работы является разработка рецептуры и технологии производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона марок D300-D600, покрытия на основе которой будут обладать пониженной плотности, низкой теплопроводностью, высокой паропроницаемостью, хорошей способностью противостоять атмосферным воздействиям, высокой адгезией к газобетону и деформативными свойствами, близкими к деформативным свойствам газобетона. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основе пространственной модели теплоизоляционного композита оптимальной структуры, обосновать выбор вяжущего и наполнителя в ССС для отделки газобетона марок D300-600;
- оценить влияние наполнителей на механизм передачи тепла и кинетику влагопереноса в покрытиях на основе теплоизоляционных ССС;
- обосновать целесообразность применения добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в рецептуре теплоизоляционных известковых ССС для отделки газобетона;
- выявить закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция;
- разработать рецептуру теплоизоляционной известковой ССС для отделки газобетона с применением в качестве наполнителя микросфер, с использованием добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция и установить технологические и эксплуатационные свойства покрытия на ее основе;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной известковой теплоизоляционной ССС для отделки газобетона в промышленное производство.

Глава 2. Характеристика материалов и методика проведения исследований

2.1 Характеристика материалов

Для приготовления разрабатываемых в работе ССС использовали следующие компоненты:

- вяжущее;
- высокопористый наполнитель;
- добавку на основе смеси алюмосиликатов и гидросиликатов кальция;
- размолотые отходы производства автоклавного газобетона марки D500, соответствующего требованиям ГОСТ 11118– 2009 [25];
- пластифицирующую добавку;
- редиспергируемый порошок;
- гидрофобизирующую добавку;
- водоудерживающую добавку.

В качестве вяжущих использовали:

- гашеную известь-пушонку активностью 84 %, полученную на предприятии «Атмис-сахар», расположенном в г. Каменка, характеризующуюся истинной плотностью 2200 кг/м^3 , насыпной плотностью 480 кг/м^3 , удельной поверхностью $1050 \text{ м}^2/\text{кг}$;
- белый цемент без минеральных добавок, соответствующий требованиям ГОСТ 965-89 [22].

В качестве высокопористых наполнителей использовали четыре различных материала (ПСМ, ЗМА, ВВП, ВПП), технические характеристики которых представлены ниже.

ПСМ представляют собой белый порошок, состоящий из замкнутых газонаполненных оболочек практически идеальной сферической формы. На рисунке 2.1 представлен электронно-микроскопический снимок ПСМ.

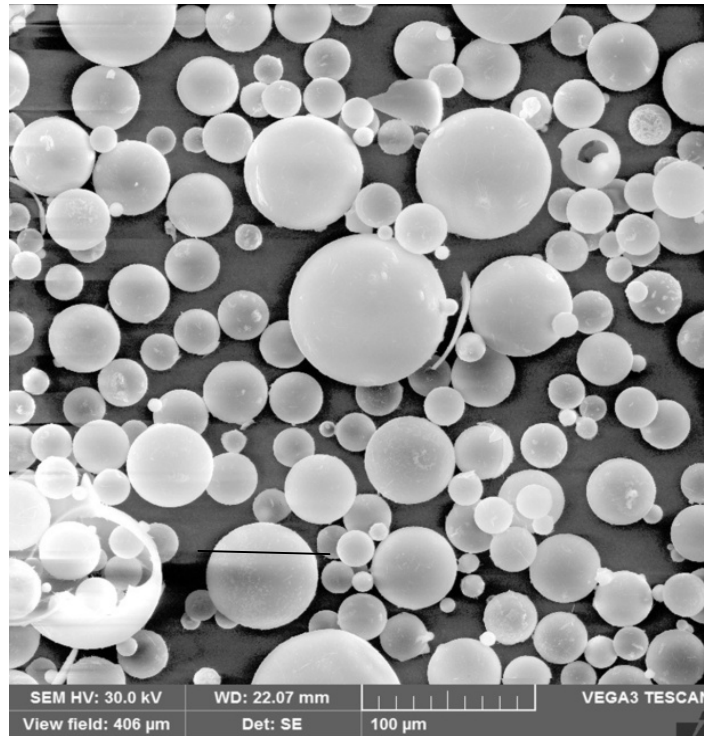


Рисунок 2.1 – Электронно-микроскопический снимок ПСМ

В работе использованы ПСМ марки МС-В, характеризующиеся насыпной плотностью 130 кг/м^3 , истинной плотностью 210 кг/м^3 , зерновой состав $0,01 \dots 0,10 \text{ мм}$, с толщиной стенок $1 \dots 3 \text{ мкм}$, соответствующие требованиям ТУ 6-48-91-92. Результаты гранулометрического анализа ПСМ представлены на рисунке 2.2.

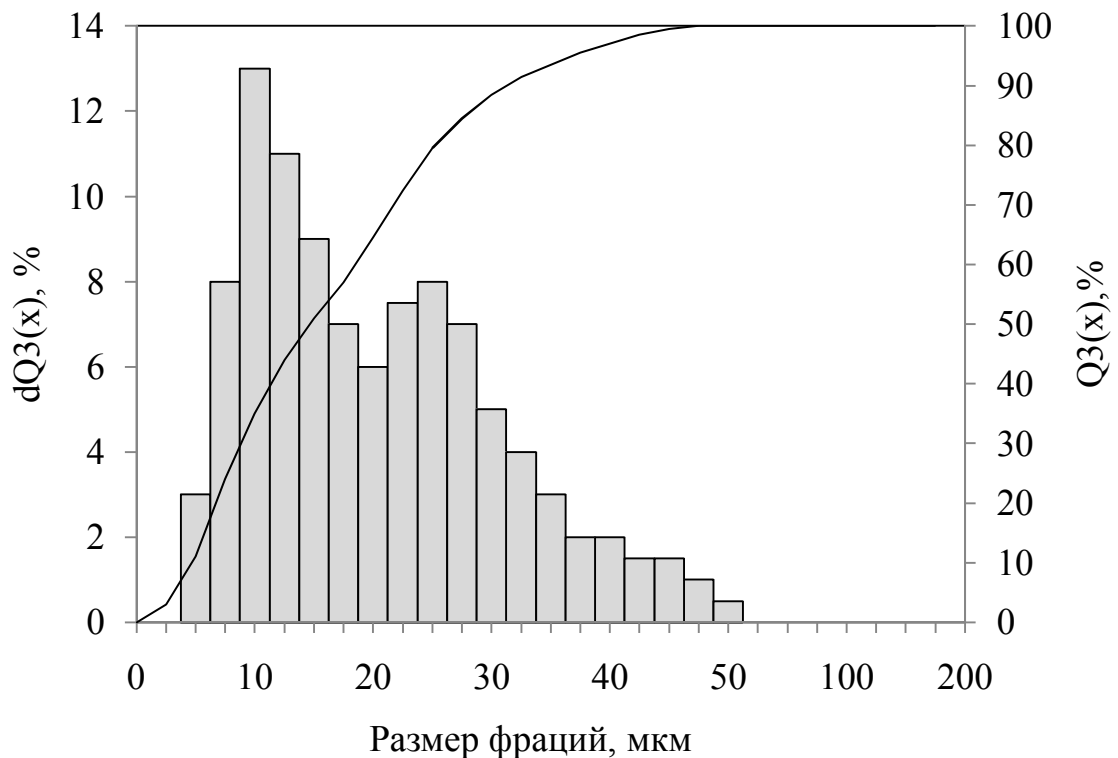


Рисунок 2.2 – Гранулометрический состав ПСМ

Установлено, что гранулометрический состав ПСМ в основном представлен частицами диаметром от 10 до 30 мкм – 77,5 % от общего числа, количество частиц диаметром до 10 мкм составляет 11,0 %, количество частиц диаметром более 30 мкм составляет 11,5 %.

ЗМА представляют собой серый порошок, состоящий из замкнутых газонаполненных оболочек неидеальной сферической формы. На рисунке 2.3 представлен электронно-микроскопический снимок ЗМА [70].

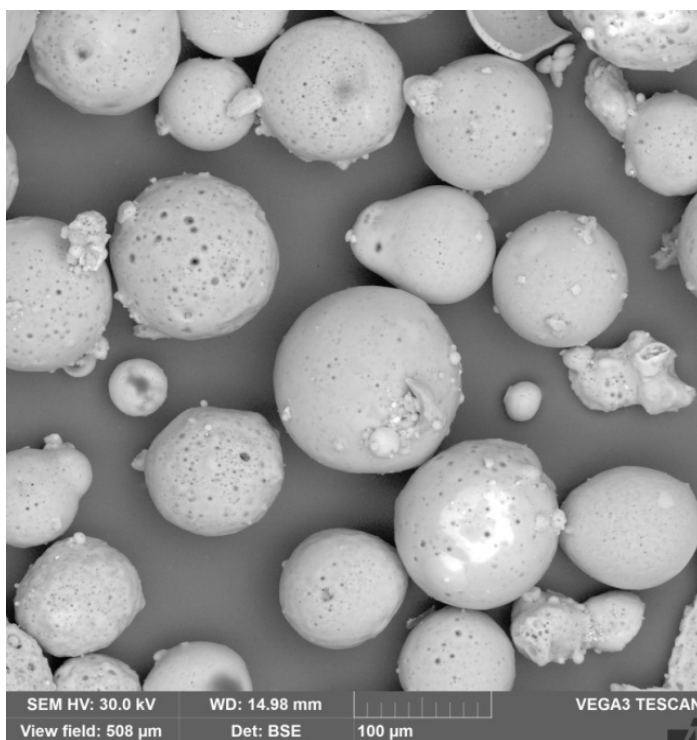


Рисунок 2.3 – Электронно-микроскопический снимок ЗМА

ЗМА, использованные в работе, характеризуются насыпной плотностью 400 кг/м³, истинной плотностью 600 кг/м³, влажностью по массе от 0,5 до 1,0 %, зерновым составом 0,01...0,40 мм, толщиной стенок 2...4 мкм, соответствуют ТУ 5951-001-87368958-2015. Гранулометрический анализ состав ЗМА представлен на рисунке 2.4.

Установлено, что гранулометрический состав ЗМА в основном представлен частицами диаметром до 50 мкм – 47,0 % от общего числа и частицами диаметром от 50 до 100 мкм – 44,0 %, количество частиц диаметром более 100 мкм составляет 9,0 %.

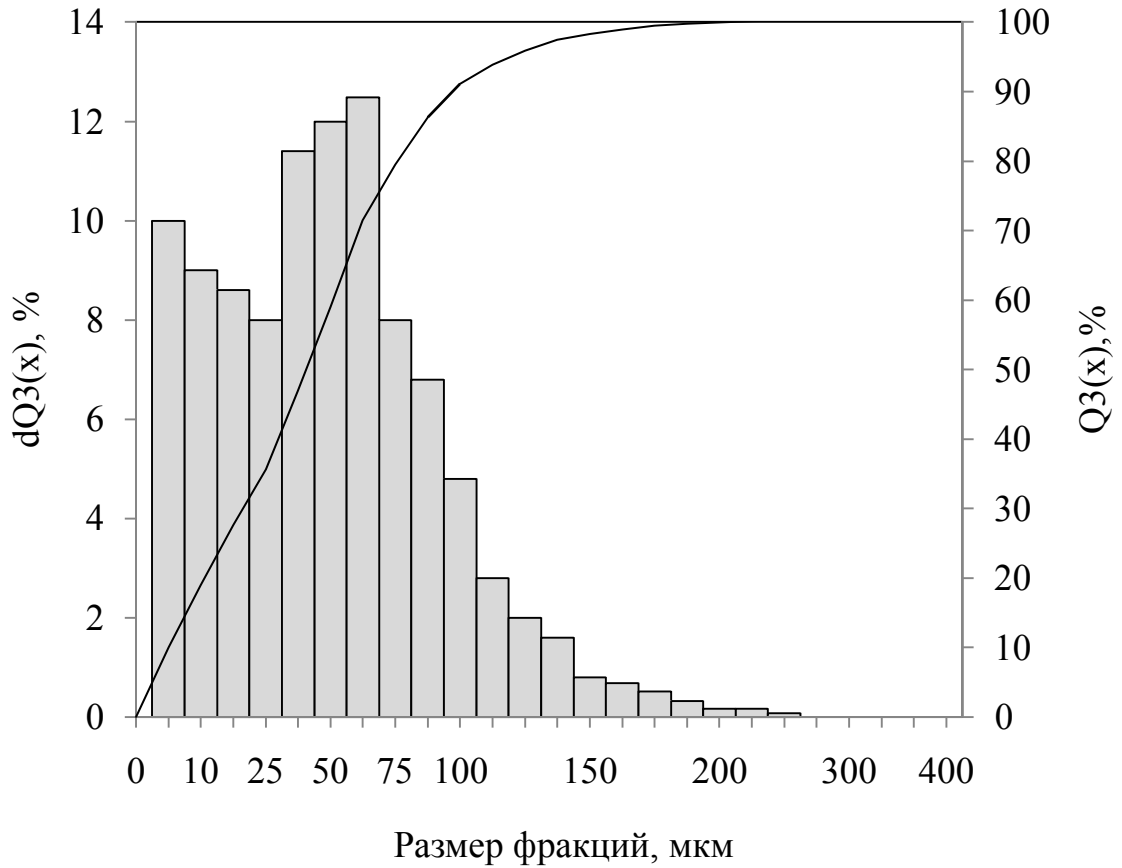


Рисунок 2.4 – Гранулометрический состав ЗМА

Средний диаметр одной микросферы d_{M1} (м) рассчитывали по формуле:

$$d_{M1} = \sqrt[3]{\frac{V_{M1} \cdot 6}{\pi}}, \quad (2.1)$$

где V_{M1} – средний объем одной микросферы, m^3 .

Средний объем одной микросферы V_{M1} (m^3) равен среднему арифметическому значению из средних объемов микросфер различных фракций с учетом процентного содержания каждой фракции в общем количестве микросфер и его рассчитывали по формуле:

$$V_{M1} = \frac{V_1 \cdot Q_1 + V_2 \cdot Q_2 + \dots + V_n \cdot Q_n}{100\%}, \quad (2.2)$$

где V_1, V_2, \dots, V_n – объем одной микросферы для каждой из фракций, m^3 ;

Q_1, Q_2, \dots, Q_n – содержание частиц каждой из фракций, %.

Результаты расчетов для ПСМ и ЗМА представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Геометрические характеристики микросфер

Материал	Средний диаметр одной микросферы d_{M1} , м	Средний объем одной микросферы V_{M1} , м ³
ПСМ	$25,00 \cdot 10^{-6}$	$8,177 \cdot 10^{-15}$
ЗМА	$76,28 \cdot 10^{-6}$	$232,279 \cdot 10^{-15}$

Используемый в работе ВВП (ГОСТ 12865-67 [26]) характеризуется насыпной плотностью 150 кг/м³, влажностью по массе не более 3 %, зерновым составом 0,14...1,25 мм.

ВПП марки М-150 (ГОСТ 10832-2009 [24]) характеризуется насыпной плотностью 150 кг/м³, влажностью по массе не более 2 %, зерновым составом 0,14...0,63 мм.

Для приготовления добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция применяли следующие компоненты:

– жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078 [28]), основные технические показатели представлены в таблице 2.2;

– технический (очищенный) сульфат алюминия (ГОСТ 12966 с изм. 1, 2 [27]), основные технические показатели представлены в таблице 2.3;

- негашеная известь, полученная на Каменском предприятии «Атмис-сахар» для технологических целей [21];

– вода дистиллированная.

Таблица 2.2 – Физико-химические показатели жидкого натриевого стекла [Привод. по: 28, с. 2-3]

Наименование показателя	Плотность при 20 °С, кг/м ³	Силикатный модуль	Массовая доля		
			Na ₂ O, %	SiO ₂ , %	нерастворимого в воде остатка, %
Значение показателя	1360–1500	2,7–3,3	8,1–13,3	24,8–36,7	1,8, не более

Таблица 2.3 – Физико-химические показатели сульфата алюминия технического (очищенного) [Привод. по: 27, с. 2-3]

Наименование показателя	Внешний вид	Массовая доля			
		Al ₂ O ₃ , %	нерастворимого в воде остатка, %	железа в пересчете на Fe ₂ O ₃	мышьяка в пересчете на As ₂ O ₃ , %
Значение показателя	Белые куски различной формы и размера	16,0, не менее	0,02, не более	0,02, не более	0,001, не более

В качестве пластифицирующих добавок применяли: Кратасол ПФМ, Sika ViscoCrete 3180, С-3, Melment марки F 15 G, Melflux марки 2651 F.

Добавка Кратасол ПФМ – порошок темно-коричневого цвета, получаемый при многостадийном органическом синтезе. Добавка представляет собой сополимер на основе полиметиленафталинсульфонатов натрия с добавлением гидрофобизирующего и воздухововлекающего компонента. Основные технические показатели добавки Кратасол ПФМ приведены в ТУ 5745-365-05800142-2011.

Суперпластификатор Sika ViscoCrete 3180 – это основанный на поликарбоксилатных эфирах суперпластификатор. Основные показатели суперпластификатора Sika ViscoCrete 3180 приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики Sika ViscoCrete 3180

Наименование показателя	Плотность, кг/м ³	Показатель рН	Сохраняемость подвижности смеси, ч	Пластифицирующий эффект без снижения прочности, мм
Значение показателя	1060–1090	4,0–6,0	3, не менее	125, не менее

Суперпластификатор С-3 – это пластифицирующая добавка, получаемая при взаимодействии технических сульфокислот и лингосульфонов нафталина с формальдегидом. Основные показатели добавки С-3 приведены в ТУ 5730-004-97474489-2007.

Добавка Melment марки F 15 G – это основанный на модифицированных меламинформальдегидах легко сыпучий порошок аэрозольной сушки [38].

Добавка Melflux марки 2651 F – это основанный на модифицированных поликарбоксилатах легко сыпучий порошок аэрозольной сушки [38].

В качестве редиспергируемых порошков применяли:

- Neolith 7200;
- VINNAPAS 5044 N;
- VINNAPAS 8031 H.

Добавка Neolith 7200 – сополимерный порошок, с высокой устойчивостью к щелочной среде. Основные показатели добавки приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Свойства редиспергируемого порошка Neolith 7200

Наименование показателя	Внешний вид	Зольность, %	Плотность, кг/м ³	Остаточная влажность, %
Значение показателя	Порошок белого цвета	10–14	400–600	1, не более

Добавка VINNAPAS 5044 N – редиспергируемый в воде дисперсионный порошок сополимера этиленвинилацетата с хорошей устойчивостью к омылению [38].

Добавка VINNAPAS 8031 H – редиспергируемый в воде дисперсионный порошок тройного сополимера этилена, виниллаурата и винилхлорида [38].

В качестве гидрофобизирующих добавок применяли:

- Zincum-5;
- олеат натрия.

Добавка Zincum-5 – это гидрофобизирующий порошок белого или желтовато-белого цвета на основе стеарата цинка. Основные показатели добавки Zincum-5 приведены в ТУ 6-09-17-316-96.

Добавка олеат натрия – это гидрофобизирующий порошок белого, иногда желтого, цвета, на основе олеата натрия. Основные показатели добавки олеат натрия приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Основные показатели добавки олеат натрия

Наименование показателя	Содержание		Растворимость при 20 °С, кг/кг	рН (10 кг/м ³) при 20 °С
	олеата натрия, %	свободного NaOH, %		
Значение показателя	88–92	0,2–0,4	0,1	11

В качестве подложек в работе применяли автоклавный газобетон D500, соответствующий требованиям ГОСТ 11118– 2009 [25].

Для затворения ССС использовали воду из хозяйственно-питьевого водопровода.

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

Истинную плотность исследуемых материалов определяли при помощи прибора Ле-Шателье. Образец материала в виде порошка высушивали в сушильном шкафу при температуре 100–110 °С, после чего на технических весах отвешивали навеску порошка массой около 0,070 кг и помещали ее в стакан. Перед испытанием прибор Ле-Шателье наполняли обезвоженным керосином до нижней нулевой отметки, затем протирали при помощи фильтровальной бумаги не содержащую керосин часть прибор. В прибор Ле-Шателье небольшими порциями при помощи ложечки засыпали порошок до того момента, когда уровень налитой в прибор жидкости не поднимался до одного из делений в

верхней градуированной части прибора. После этого отмечали достигнутый в приборе уровень жидкости. Объем высыпаемого в прибор порошка V (м^3) определяли по разности отсчетов от начального до конечного уровня жидкости. Истинную плотность материала $\rho_{\text{ист}}$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) вычисляли по формуле:

$$\rho_{\text{ист}} = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (2.3)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканом, кг;

m_2 – масса остатка порошка со стаканом, кг.

Для определения насыпной плотности порошков, используемых для проведения исследований, в стандартную воронку насыпали пробу материала массой около 1,5 кг. Затем под воронку помещали предварительно взвешенный мерный сосуд вместимостью 0,001 м^3 , который заполняли исследуемым материалом с небольшим избытком. Затем деревянной линейкой срезали на уровне с краями мерного сосуда излишек порошка. Сосуд с исследуемым материалом взвешивали. Массу порошка находили вычитанием из полученного результата массы сосуда. Насыпную плотность материала $\rho_{\text{нас}}$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) определяли по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V}, \quad (2.4)$$

где m – масса порошка, кг;

V – объем сосуда, м^3 .

Для определения средней плотности образцы исследуемого материала высушивали до постоянной массы при температуре 100–110 С. Затем образцы материалы взвешивали с погрешностью 0,1 г и определяли их объем, используя в качестве измерительного прибора штангенциркуль. Каждую из граней образца измеряли в трех разных местах. При этом размер каждой из граней (a , b , c) вычисляли как среднее арифметическое значение трех последовательных измерений, проводимых в трех разных местах каждой грани. Среднюю плотность материала $\rho_{\text{ср}}$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) вычисляли по формуле:

$$\rho_{\text{cp}} = \frac{m}{V}, \quad (2.5)$$

где m – масса образца, кг;

V – объем образца, м^3 , определяемый по формуле:

$$V = a \cdot b \cdot c. \quad (2.6)$$

Прочность при сжатии получаемых в результате исследований образцов определяли при помощи испытательной машины типа ИР 5057-50 по ГОСТ 5802-86 [19]. Диапазон для измерения усилий в испытательной машине ИР 5057-50 зависит от использованного силового датчика и варьируется от 50 до 50 000 Н. Скорость перемещения траверсы изменяется при помощи встроенных регуляторов скорости, и может быть установлена в пределах от 0,06 до 6 м/ч.

Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$ (Па) образцов определяли по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{F}, \quad (2.7)$$

где P – разрушающая сила, Н;

F – площадь поперечного сечения образца до испытания, м^2 .

Удельную прочность при сжатии $R_{\text{уд}}$ ($\text{м}^2/\text{с}^2$) образцов покрытий на основе разрабатываемого состава ССС, определяли по формуле

$$R_{\text{уд}} = \frac{R_{\text{сж}}}{\rho_{\text{cp}}}. \quad (2.8)$$

Для оценки адгезионной прочности покрытия на основе разрабатываемого состава применяли метод отрыва штампа (нормальный отрыв) по ГОСТ 31356-2007 [32]. Метод основан на измерении силы отрыва от поверхности покрытия специального штампа. Изготавливали образцы: на подложку (газобетон), наносили исследуемый отделочный состав. Спустя 27 суток хранения образцов к отделочному покрытию приклеивали штампы квадратной формы размером $0,05 \times 0,05$ м. с помощью эпоксидного клея (ЭДП-ТУ 0751-018-48284381-00). Еще через 24 ч хранения образцы устанавливали горизонтально, прикрепляли к штампу динамометр и измеряли силу, которая была необходима для отрыва штампа от испытуемого образца. Прочность сцепления покрытия с подложкой

$R_{\text{адг}}$ (Па) рассчитывали по формуле:

$$R_{\text{адг}} = \frac{P}{F}, \quad (2.9)$$

где P – сила отрыва, Н;

F – площадь контакта штампа с покрытием, м^2 .

Усадочные деформации отделочного слоя штукатурного покрытия определяли при помощи оптического компаратора ИЗА-2 и рассчитывали по формуле:

$$\mu = \frac{l_0 \cdot l_i}{l_0} \cdot 100, \quad (2.10)$$

где l_0 – длина образца в начальный период твердения, м;

l_i – длина образца в промежуточные периоды твердения, м.

Определение предела прочности при растяжении образцов на основе разрабатываемого отделочного состава проводили на разрывной машине ИР 5057-50 по ГОСТ 18299-72* [29]. Образцы разрабатываемых составов размерами $0,01 \times 0,01 \times 0,05$ м закрепляли в зажимах разрывной машины так, чтобы приложенные силы воздействовали равномерно по сечению образца, и ось каждого образца была расположена в направлении растяжения. Скорость деформирования составляла $0,06$ м/ч. Образцы разрабатываемых составов, которые в процессе испытания разрушались перед зажимами или за пределами рабочей части ($0,02$ м), не учитывались при расчете [29]. Предела прочности при растяжении, $R_{\text{ког}}$ (Па) рассчитывали по формуле:

$$R_{\text{ког}} = \frac{F_{\text{Pi}}}{S_{\text{Oi}}}, \quad (2.11)$$

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

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

Модуль упругости вычисляли путем определения тангенса угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной к начальному прямолинейному участку по

диаграмме «напряжение – деформация». Для каждого образца вычисляли модуль упругости $E_{\text{упр}}$ (Па) по формуле:

$$E_{\text{упр}} = \frac{R'_{\text{kogi}}}{\varepsilon'_i} \cdot 100, \quad (2.12)$$

где R'_{kogi} – предел прочности при растяжении отделочного покрытия в момент отрыва касательной, Па;

ε'_i – относительное удлинение отделочного покрытия при разрыве, м/м.

Коэффициент теплопроводности отделочных покрытий λ (Вт/(м·К) в высушенном состоянии определяли с использованием образцов размером 0,1×0,1×0,025 м на приборе ИТП-МГ4 «100». Коэффициент теплопроводности штукатурных покрытий при условиях эксплуатации А и Б определяли по ГОСТ Р 54855-2011 [33]. Для определения значения эксплуатационной влажности для условий А образцы исследуемых покрытий помещали в эксикатор, в котором устанавливали относительную влажность 80 %. Для определения значения эксплуатационной влажности для условий Б образцы исследуемых покрытий помещали в эксикатор, в котором устанавливали относительную влажность 97 %. Образцы насыщали влагой до постоянной массы.

2.3 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов

Определение пластической прочности или предельного напряжения сдвига отделочной смеси проводили при помощи конического пластометра КП-3. Для этого в исследуемый состав погружали индентор (конус) и измеряли глубину погружения конуса под действием нагрузки P [19]. При достижении конусом равновесия напряжение сдвига τ (Па) в составе становилось равным пределу текучести τ_0 (Па). В этот момент определяли пластическую прочность отделочного состава η (Па) по формуле:

$$\eta = \tau = \tau_0 = k \cdot \frac{P}{h^2}, \quad (2.13)$$

где η – пластическая прочность, Па;

τ – напряжение сдвига, Па;

τ_0 – предел текучести, Па;

P – вес подвижной части прибора (нагрузка), кг;

h – глубина погружения конуса в растворную смесь, м;

k – коэффициент, определяемый в зависимости от значения вершинного угла конуса по формуле:

$$k = \frac{1}{\pi^2} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (2.14)$$

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

Различные отделочные покрытия способны удерживать на своей поверхности стеклянные шарики или бумагу при заданной нагрузке. В ходе эксперимента определяли время, в течение которого отделочное покрытие превращается в покрытие с требуемой степенью высыхания по ГОСТ 19007-73 [30].

Определение водоудерживающей способности разрабатываемого отделочного состава проводили в соответствии с ГОСТ 5802-86 [19].

Перед испытанием на стеклянную пластинку размером 0,15×0,15 м и толщиной 5 мм укладывали 10 листов промокательной бумаги размером 0,15×0,15 м, предварительно взвешенной с погрешностью до 0,1 г. Затем на промокательной бумаге размещали один слой марлевой ткани. После этого сверху устанавливали металлическое кольцо, имеющее внутренний диаметр 0,10 м и высоту 12 мм. Затем установку взвешивали. Тщательно перемешанную отделочную смесь укладывали вровень с краями металлического кольца и установку взвешивали.

Спустя 10 минут металлическое кольцо с отделочной смесью осторожно снимали вместе с марлей, промокательную бумагу взвешивали с погрешностью до 0,1 г [19]. Водоудерживающую способность отделочной смеси V (%)

определяли по формуле:

$$V = 100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100 \quad (2.15)$$

где m_1 – масса промокательной бумаги до испытания, кг;

m_2 – масса промокательной бумаги после испытания, кг;

m_3 – масса установки без отделочной смеси, кг;

m_4 – масса установки с отделочной смесью, кг.

Испытание для каждой пробы выполняли три раза, водоудерживающую способность отделочной смеси вычисляли как среднее арифметическое значение всех испытаний.

2.4 Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе разрабатываемой сухой строительной смеси

Кинетику водопоглощения отделочных покрытий на основе разрабатываемой ССС оценивали по ГОСТ 5802-86 [19]. В ёмкость, наполненную водой с температурой 18–20 °С, помещали образцы, предварительно высушенные до постоянной массы при температуре 100–110 °С. С интервалом в один час образцы взвешивали на обычных весах с погрешностью не более 0,1 %. Вынутые из воды образцы при взвешивании предварительно вытирали отжатой влажной тканью. Массу вытекшей из пор образца отделочного покрытия на чашку весов воды добавляли к массе образца. Испытание заканчивали в момент, когда результаты двух проведенных через один час взвешиваний отличались друг от друга не более чем на 0,1 %.

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

$$W_m = \frac{m_B - m_C}{m_C}, \quad (2.16)$$

где m_C – масса образца отделочного покрытия в сухом состоянии, кг;

m_b – масса образца отделочного покрытия после выдержки в эксикаторе с определённой влажностью воздуха, кг.

Для оценки скорости водонасыщения определили коэффициент диффузии влаги D (m^2/c), используя экспресс-метод [111]. При вычислении коэффициента диффузии влаги использовали формулу:

$$D = \frac{R^2}{\pi^2 \cdot t} \cdot \ln \frac{W_m(t_2) - W_m(t_1)}{W_m(t_3) - W_m(t_2)}, \quad (2.17)$$

где R – половина толщины покрытия, м;

t – промежуток времени между измерениями влагосодержания по массе W_m , с;

$W_m(t_1)$, $W_m(t_2)$, $W_m(t_3)$ – водопоглощение по массе образцов спустя 20, 40 и 60 минут после начала влагонасыщения, % .

Для нахождения коэффициента паропроницаемости определяли количество водяных паров, прошедших за время t при температуре 18–20 °С через 1 cm^2 поверхности покрытия в соответствии с ГОСТ 25898-2012 [31]. Исследуемый состав наносили на слой марли. После отверждения отделочного состава марлю закрепляли на стакане, в котором за счёт налитой воды создавали 100%-ю относительную влажность воздуха. Для герметизации края стакана смазывали по окружности парафином. Стакан взвешивали на аналитических весах и помещали в эксикатор, в котором создавали 60%-ю относительную влажность воздуха. Периодические взвешивания стакана продолжали до момента, когда его масса становилась постоянной величиной.

Коэффициент паропроницаемости μ ($mg/(m \cdot ч \cdot Па)$) покрытия на основе разрабатываемого состава ССС определяли по формуле:

$$\mu = \frac{P \cdot \delta}{F \cdot (E \cdot e_{60} \cdot \tau)}, \quad (2.18)$$

где P – общее количество паров воды, перемещающейся путём диффузии через покрытие, соответствующее увеличению массы плёнки за время испытаний, мг;

δ – толщина отделочного слоя, м;

F – площадь отделочного слоя, м²;

E – парциальное давление водяного пара при влажности 100 %, Па, (упругость водяного пара);

e_{60} – парциальное давление водяного пара при влажности 60 %, Па, (упругость водяного пара);

τ – продолжительность испытания, ч.

Водопоглощение при капиллярном подсосе разрабатываемых отделочных покрытий $W_{\text{кп}}$ определяли по ГОСТ 31356-2007 [32]. Изготавливали образцы размером 0,04×0,04×0,16 м, которые твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20 °С и относительной влажности 50–60 %. По истечении 28 суток торцевые грани образцов подвергали обработке при помощи штукатурной терки для получения на гранях шероховатой поверхности. Затем боковые грани образцов обрабатывали водонепроницаемым составом и укладывали образцы торцевой гранью на сетчатую подставку в ванну. Ванну заполняли водой с температурой 15–25 °С таким образом, что торец балки оказывался погружен в воду на 5–10 мм. Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{\text{кп}}$ (кг/(м²·ч^{0,5})) определяли по формуле:

$$W_{\text{кп}} = k_w \frac{m_1 - m_2}{S}, \quad (2.19)$$

где m_1 – масса сухого образца, кг;

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

S – площадь увлажняемой грани образца, м²;

k_w – коэффициент учитывающий время насыщения образца.

Для оценки способности разрабатываемых отделочных покрытий сопротивляться действию косых дождей определяли эквивалентный воздушный промежуток S_d (м) [138]. Для этого использовали формулу:

$$s_d = \mu_x \cdot d, \quad (2.20)$$

где d – толщина слоя материала, м;

μ_x – безразмерный коэффициент паропроницаемости отделочного состава по сравнению с паропроницаемостью воздуха, определяемый по формуле:

$$\mu_x = \frac{\mu_b}{\mu}, \quad (2.21)$$

где μ_b – коэффициент паропроницаемости воздуха, мг/(м·ч·Па);

μ – коэффициент паропроницаемости отделочного состава, мг/(м·ч·Па).

2.5 Методика оценки пуццоланической активности материалов

Пуццоланическую активность материалов определяли методом поглощения извести из известкового раствора [9, 47]. Материал считали тем более активным, чем больше он поглощал извести из насыщенного известкового водного раствора за заданный промежуток времени.

При определении активности материала использовали два титрованных раствора: 0,05 н раствор соляной кислоты и насыщенный раствор извести. Для приготовления известкового раствора в емкость объемом 5 л помещали 10 г негашеной извести и заливали ее дистиллированной водой. Полученный раствор взбалтывали несколько раз в сутки. Через трое суток бутылку вскрывали и отфильтровывали небольшое количество раствора. Затем отбирали 50 мл отфильтрованного раствора и титровали его 0,05 н раствором соляной кислоты.

Количество содержащегося в 50 мл насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ определяли по формуле:

$$I_0 = V_{\text{HCl}} \cdot T, \quad (2.22)$$

где V_{HCl} – объем 0,05 н раствора соляной кислоты, использованного на титрование, мл;

T – титр 0,05 н раствора соляной кислоты, мг/мл.

Раствор извести насыщали до тех пор, пока содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в отфильтрованной пробе раствора объемом 50 мл I_0 не достигло 53 мг.

Массовую концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ C_0 (мг/л) в насыщенном растворе определяли по формуле:

$$C_0 = \frac{I_0}{V_{\text{р-ра}}}, \quad (2.23)$$

где $V_{\text{р-ра}}$ – объем насыщенного раствора извести, отобранного для титрования, равный 50 мл.

Таким образом, полученный насыщенный раствор извести имел концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ равную 1,06 г/л.

Исследуемый материал измельчали в фарфоровой ступке до его прохождения через сито № 008. Затем полученный порошок высушивали до постоянной массы при температуре 100–105 °С. Навеску порошка массой в 2 г, отвешенную предварительно на аналитических весах, осторожно засыпали в предварительно вымытую и высушенную емкость объемом 110 мл. Затем при помощи бюретки наливали в емкость 100 мл насыщенного раствора извести. После этого емкость закрывали и энергично взбалтывали, чтобы ко дну емкости не пристала часть исследуемого порошка. В ходе проведения эксперимента емкость периодически взбалтывали. По истечении двух суток со времени наполнения емкости из нее осторожно, медленно и без встряхиваний, с помощью пипетки отбирали для титрования 50 мл раствора в колбу объемом 250 мл. Затем содержимое колбы титровали после добавления двух – трех капель индикатора метилового оранжевого раствором 0,05 н раствора соляной кислоты. Количество содержащегося в растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ I_i (мг) определяли по формуле:

$$I_i = V_{\text{HCl}} \cdot T, \quad (2.24)$$

где V_{HCl} – объем 0,05 н раствора соляной кислоты, использованного на титрование, мл;

T – титр 0,05 н раствора соляной кислоты, мг/мл.

Количество поглощенной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ одним граммом исследуемого порошка за двое суток A_i (мг) определяли по формуле:

$$A_i = I_0 - I_i. \quad (2.25)$$

По окончании титрования в емкость наливали при помощи бюретки 50 мл насыщенного раствора извести, взбалтывали содержимое в течение 1 мин. После прибавления в цилиндр 50 мл насыщенного раствора извести количество содержащегося в 50 мл полученного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $I_{\text{емк}}$ (мг) определяли по формуле:

$$I_{\text{емк}} = \frac{I_0 + I_i}{2}. \quad (2.26)$$

Эксперимент повторяли через каждые двое суток, при этом при определении количества поглощенной извести A_i (мг) формула (2.22) преобразовывалась в формулу:

$$A_i = I_{\text{емк}} - I_i, \quad (2.27)$$

где $I_{\text{емк}}$ – количество содержащегося $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в 50 мл раствора, полученного в емкости после предыдущего титрования, мг.

Активность материалов, A (мг), определяли количеством $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которое поглотил 1 г материала за 30 суток:

$$A = \sum_{i=1}^{15} A_i. \quad (2.28)$$

2.6 Методы оценки кинетики тепломассопереноса в отделочном покрытии

Оценку кинетики тепломассопереноса в отделочном покрытии проводили при помощи эксперимента по исследованию тепло- и влагопереноса в материале отделочного слоя при его увлажнении за счет поглощения паров воды из воздуха [86, 89].

Для получения данных по распределению влаги по толщине отделочного слоя изготавливали образцы покрытия в виде дисков диаметром 100 мм и толщиной 5 мм. Образцы твердели в течение 28 суток в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20 °С и относительной влажности воздуха 50–60 %. Затем их высушивали до постоянной массы при температуре 100–105 °С. Боковые

поверхности исследуемых образцов покрытий влагоизолировали парафином. После этого четыре плоскопараллельных диска указанных размеров размещали между двумя тепловыми камерами в соответствии с принципиальной схемой, представленной на рисунке 2.5.

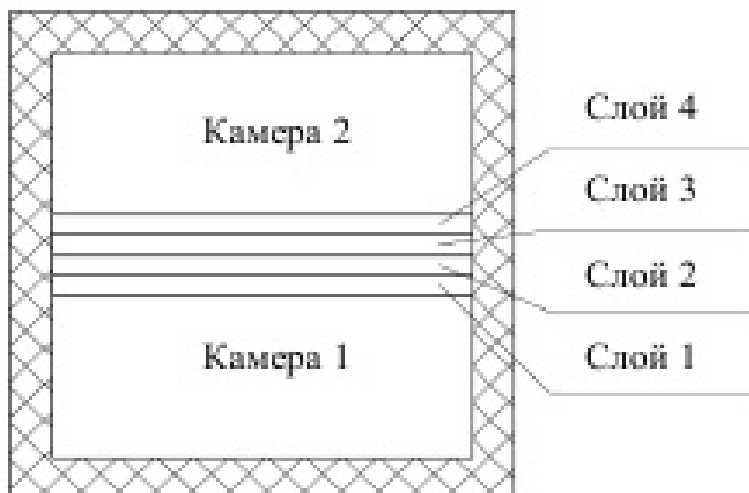


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема экспериментальной установки

В камерах поддерживали следующие температурно-влажностные условия: в камере 1 – температура $t_1=60$ °С, относительная влажность $\phi_1=100$ %, в камере 2 – температура $t_2=20$ °С, относительная влажность $\phi_2=50$ %. Для предотвращения потерь тепла всю экспериментальную установку теплоизолировали.

С интервалом в один час исследуемые образцы взвешивали на обычных весах с погрешностью не более 0,1 %. Образцы при взвешивании предварительно вытирали отжатой влажной тканью. Массу вытекшей из пор материала на чашку весов воды добавляли к массе образца.

Влагосодержание исследуемых образцов по массе u (кг/кг) определяли по формуле:

$$u = \frac{m_b - m_c}{m_c}, \quad (2.29)$$

где m_c – масса образца в сухом состоянии, кг;

m_b – масса увлажненного образца, кг.

Скорость влагонасыщения исследуемых образцов \mathcal{G}_u (кг/(кг·ч)) определяли для каждого часа отдельно по формуле:

$$\mathcal{G}_u = \frac{m_{i+1} - m_i}{m_c \cdot t}, \quad (2.30)$$

где m_i, m_{i+1} – масса увлажненного образца до и после влагонасыщения, кг;
 t – время влагонасыщения, принимаемое равным 1 ч.

2.7. Прочие методы исследований

Для оценки минералогического состава добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция и образцов на основе разрабатываемого состава ССС использовали метод дифференциально-термического анализа [120]. Исследования проводили с помощью дериватографа «Термоскан-2» в интервале температур 20–1000 °С при скорости нагрева 10 °С/мин.

Оценку фазового состава исследуемой добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция и известковых образцов, полученных с применением добавки, проводили с применением рентгеновской рабочей станции ARL 9900 WorkStation. Рентгенограммы получены на излучении кобальтового анода. Проведена рентгенометрическая диагностика минеральных фаз на основании дифракционной базы данных PDF-2 с применением программы Crystallographica Search Match v 2,0,2,0 (Oxford Cryosystems). Определение количественных концентраций кристаллических минеральных образований выполняли полнопрофильным рентгенофазовым анализом (РФА) с применением программы DDM v.1.95d [18].

Для оценки процесса структурообразования в известковых композитах, полученных с использованием добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, определяли количество свободной извести в образцах. Содержание в образце свободного СаО определяли титрованием

навески измельченного известкового образца при помощи соляной кислоты до того момента, когда все свободные частицы CaO будут нейтрализованы кислотой. В коническую колбу объемом 250 мл помещали предварительно измельченную и просеянную через сито № 008 навеску массой 1 г. Затем добавляли 150 мл дистиллированной воды, закрывали колбу часовым стеклом и, не доводя до кипения, нагревали в течение пяти–семи минут. После остывания в колбу добавляли 15 капель однопроцентного спиртового раствора фенолфталеина и проводили титрование 1 н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания содержимого. Титровали медленно, кислоту добавляли по каплям. Эксперимент заканчивали в тот момент, когда в течение 10 минут при периодическом перемешивании полученный раствор оставался бесцветным. Количество свободной извести определяли по формуле:

$$A_{\text{изв}} = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot 2,804 \cdot K}{m} \cdot 100, \quad (2.31)$$

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

V_{HCl} – объем 1 н раствора соляной кислоты, использованного на титрование, мл;

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

K – поправка к титру 1 н раствора соляной кислоты;

m – навеска измельченного образца состава, г.

Морозостойкость отделочного покрытия на основе разрабатываемой ССС оценивали путем попеременного замораживания и оттаивания отделочного слоя, нанесенного на газобетонное основание после 28 суток воздушно-сухого твердения. Визуальный осмотр штукатурной поверхности производили после каждого цикла с целью обнаружения крошения, отслаивания материала и трещин по ГОСТ 10060-2012 [23]. Критерии отказа принимали согласно ГОСТ 6992-68 [20].

Для испытаний использовали камеру морозильную, оборудованную

принудительной вентиляцией и устройством автоматического регулирования температуры и емкость, в которую помещали образцы для их насыщения водой, с возможностью поддержания температуры воды в ней плюс 15–20 °С.

Образцы загружали в морозильную камеру, в которой поддерживали температуру не выше минус 15 °С. Продолжительность одного цикла замораживания составляла не менее 4 ч. После извлечения из морозильной камеры образцы отделочного покрытия оттаивали в течение 4 ч при температуре 15–20 °С в ванне с водой.

Морозостойкость разрабатываемого раствора по потере прочности при сжатии определяли путем испытаний по основному методу при помощи многократного попеременного замораживания и оттаивания образцов-кубов отделочного покрытия с ребром 0,07 м в состоянии насыщения водой [32]. Морозостойкость оценивали путем сравнения прочности испытанных и контрольных образцов.

Потерю прочности испытанных образцов, Δ , в процентах, вычисляли по формуле:

$$\Delta = \frac{R_{\text{контр}} - R_{\text{осн}}}{R_{\text{контр}}} \cdot 100, \quad (2.32)$$

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

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

Образцы считали выдержавшими испытание, если потеря прочности Δ не превышала 10 %. Наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое при испытании выдерживали образцы, принимали за марку раствора по морозостойкости [32].

Морозостойкость контактной зоны определяли по прочности сцепления слоя отделочного состава с основанием после циклов попеременного

замораживания и оттаивания образца по методу отрыва штампа по ГОСТ 10060-2012 [23].

2.8 Статистическая обработка результатов испытаний

Для проверки достоверности полученных в результате проведенных исследований экспериментальных данных выполняли их статистическую обработку.

Точность проведенных измерений оценивали, определяя абсолютную и относительной погрешности Δx_i и ε по формулам:

$$\Delta x_i = x - x_i, \quad (2.33)$$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.34)$$

где x – истинное значение определяемой величины;

x_i – значение, определенное при i -м измерении;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений.

Результаты проведенных исследований, вызывающие подозрение, проверяли при помощи критерия Шофене. Среднее арифметическое значение \bar{x} вычисляли по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n - 1}, \quad (2.35)$$

где x_i – значение, определенное при i -м измерении;

n – общее число наблюдений.

Среднеквадратическое отклонение измерений вычисляли по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (2.36)$$

где x_i – среднее арифметическое значение i -го испытания;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений;

n – общее число наблюдений.

Коэффициент вариации (V) рассчитывали по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.37)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений.

Значение доверительного интервала для параметра α , при условии соблюдения нормального закона распределения, рассчитывали, с учетом принятого коэффициента вероятности (P), коэффициента надежности (α), по формуле:

$$P\left(\bar{x} - t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \alpha < \bar{x} + t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2 \cdot \Phi = \alpha, \quad (2.38)$$

где n – объем выборки;

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

$$\Phi(t) = \alpha / 2. \quad (2.39)$$

Точность оценки при этом составляла:

$$\delta = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}. \quad (2.40)$$

Для доказательства выполнения нормальности закона распределения применяли критерий Пирсона, который определяли по формуле:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \right], \quad (2.41)$$

где n_i – распределение эмпирических частот;

n'_i – распределение теоретических частот.

Глава 3. Обоснование выбора компонентов при создании теплоизоляционных сухих строительных смесей

3.1 Анализ влияния наполнителей на механизм передачи тепла в исследуемых растворных композитах

За счет использования в теплоизоляционных штукатурных растворах эффективных наполнителей с высокопористой структурой можно добиться высокой паропроницаемости и низкой теплопроводности получаемых отделочных покрытий [43, 44].

В настоящее время наиболее распространенными минеральными наполнителями для теплоизоляционных ССС являются ВВП и ВПП [2, 62, 85, 119]. Данные наполнители обладают высокой открытой микропористостью, что приводит к увеличению водопотребности отделочных составов. Следствием этого является расслаивание отделочных составов, снижение водостойкости и прочности композитов на их основе. Уменьшение прочности растворных композитов также может вызывать неравномерное распределение концентраций напряжений вокруг частиц наполнителей из-за их очень сложной, неизометрической формы.

Поэтому перспективным является применение высокопористых наполнителей с преимущественно закрытой пористостью, что обеспечит снижение водопотребности отделочных составов, полученных с их использованием. К таким наполнителям можно отнести ПСМ и ЗМА [57, 109, 110]. Использование в качестве наполнителя для ССС микросфер позволяет повысить водостойкость получаемых растворных композитов за счет снижения в них объема открытых пор [77]. Полученные композиты также характеризуются повышенной прочностью благодаря отсутствию неравномерного распределения концентраций напряжений вокруг частиц микросфер. Недостатком существующих на данный момент теплоизоляционных ССС, использующих в составе микросферы, является низкая паропроницаемость получаемых при их

использовании покрытий [94]. Причиной низкой паропроницаемости данных покрытий является то, что микросферы из-за своей структуры не способны пропускать влажный воздух. Он может проходить через данные покрытия только по порам, возникающим в структуре композита. В таких композитах в подавляющем большинстве случаев в качестве вяжущего использовался цемент, растворы на основе которого также отличаются невысокой паропроницаемостью.

Данный недостаток существенно ограничивает использование цементных ССС, наполненных микросферами, в качестве наружной отделки. Это связано с тем, что для минимизации количества конденсирующейся влаги в толще стены каждый последующий слой в конструкции ограждения в направлении от внутренней поверхности к наружной должен обладать меньшей теплопроводностью и большим паропроницанием по сравнению с предыдущим [80]. Например, в случае использования цементных ССС, наполненных микросферами, для наружной отделки газобетона марок D300-D600, теплопроводность таких покрытий может быть ниже или близка к теплопроводности газобетона, но паропроницание этих покрытий будет в несколько раз ниже паропроницания газобетона. В результате в зимний период времени в газобетонных ограждениях, отделанных цементными ССС, наполненными микросферами, под поверхностью отделочного покрытия может скапливаться влага, что снизит срок службы отделочного покрытия, а также может вызвать отслоение его фрагментов и появление на нем сетки из мелких волосяных трещин [10, 54].

Повысить паропроницаемость теплоизоляционных ССС возможно за счет замены цемента на известь-пушонку. Растворные композиты на основе известкового вяжущего обладают значительно большей паропроницаемостью. Также использования извести-пушонки вместо цемента в качестве вяжущего в теплоизоляционных ССС, наполненных микросферами, даст следующие преимущества:

- из-за меньшего диаметра частиц извести, по сравнению с цементом, возможно уменьшить объем вяжущего в композите, что позволит улучшить

теплоизоляционные свойства получаемых покрытий;

- меньшая плотность известкового вяжущего по сравнению с цементом позволит уменьшить плотность получаемых теплоизоляционных композитов, тем самым увеличивая их теплоизоляционные свойства.

В данной работе предложено использовать в качестве теплоизоляционного штукатурного состава для наружной отделки газобетона известковые ССС, в которых в качестве наполнителя использованы ПСМ и ЗМА.

Для выбора наиболее эффективного наполнителя исследовали сложный процесс теплопереноса через отделочное покрытие. Тепло через штукатурный слой наружных стен зданий передается 3 способами: излучением, теплопроводностью, конвекцией. В пустотах внутри отделочного слоя и вблизи поверхности ограждения преобладает теплоперенос посредством конвекции и излучения [40, 97]. В самом материале штукатурного покрытия тепло в основном передается посредством теплопроводности [58]. В работе представлены результаты оценки теплоизоляционных свойств растворных композитов, полученных с применением различных высокопористых наполнителей.

Учитывая, что теплопроводность штукатурных покрытий в значительной степени зависит от их поровой структуры, были проведены исследования изменения структуры порового пространства растворных композитов по мере наполнения их различными высокопористыми наполнителями [78]. Результаты исследований порового пространства композитов, полученных с использованием ВВП, представлены на рисунке. 3.1; композитов, полученных с использованием ВПП, представлены на рисунке. 3.2.

При использовании ВВП (рисунок 3.1, кривая 1) и ВПП (рисунок 3.2, кривая 3) общая пористость растворных композитов увеличивается с 60,8 % до 80,2 % и до 72,4 %, соответственно [76]. Увеличение общей пористости в этих композитах происходит в основном за счет роста количества открытых пор, образующихся из-за высокой водопотребности данных наполнителей [78]. Открытая пористость растворных композитов, наполненных ВВП, увеличивается с 40,7 % до 53,1 % (рисунок 3.1, кривая 2), наполненных ВПП – с 40,7 % до 47,7 % (рисунок 3.2,

кривая 2) [76].

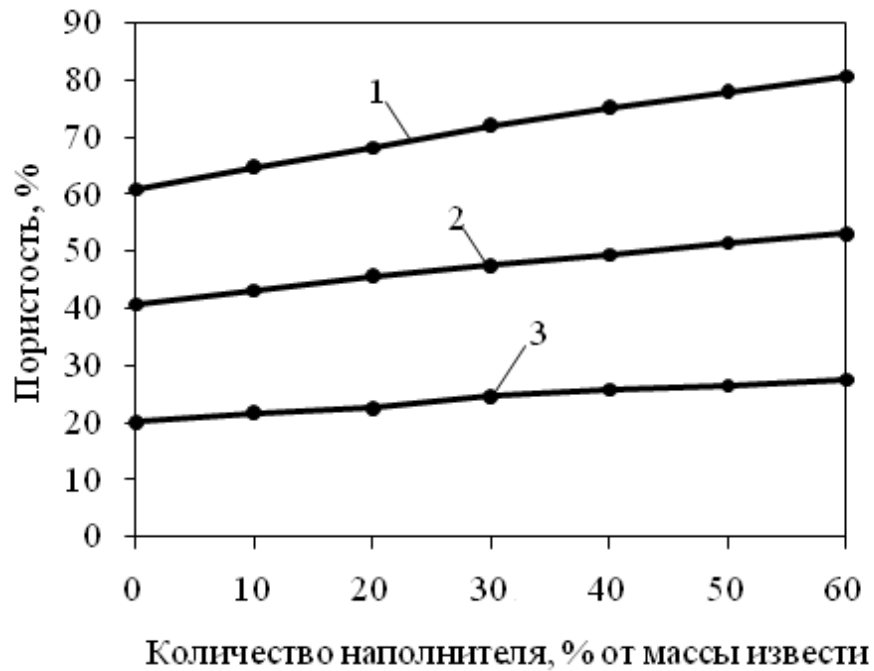


Рисунок 3.1 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием ВПП: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость

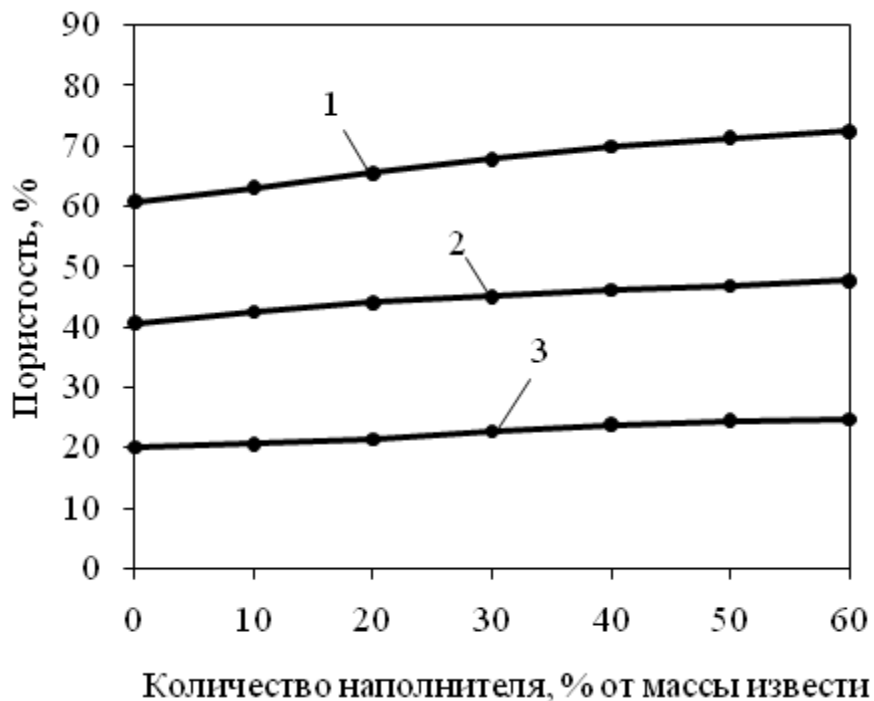


Рисунок 3.2 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием ВПП: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость

Увеличение закрытой пористости не такое значительное и происходит в основном за счет высокой микропористости данных наполнителей.

Результаты исследований порового пространства композитов, полученных с использованием ПСМ, представлены на рисунке 3.3; композитов, полученных с использованием ЗМА, представлены на рисунке 3.4.

Наполнение растворного композита ПСМ позволяет повысить общую пористость с 60,8 % до 81,0 % (рисунок 3.3, кривая 1). Наполнение ЗМА повышает общую пористость с 60,8 % до 67,2 % (рисунок 3.4, кривая 1). Увеличение общей пористости при применении микросфер происходит за счет роста закрытой пористости из-за полый структуры данных наполнителей. Закрытая пористость композитов, наполненных ПСМ, увеличивается с 20,1 % до 56,9 % (рисунок 3.3, кривая 3), композитов наполненных ЗМА увеличивается с 20,1 % до 40,0 % (рисунок 3.4, кривая 3). Растворные композиты, полученные с использованием микросфер, обладают меньшей открытой пористостью по сравнению с контрольными композитами.

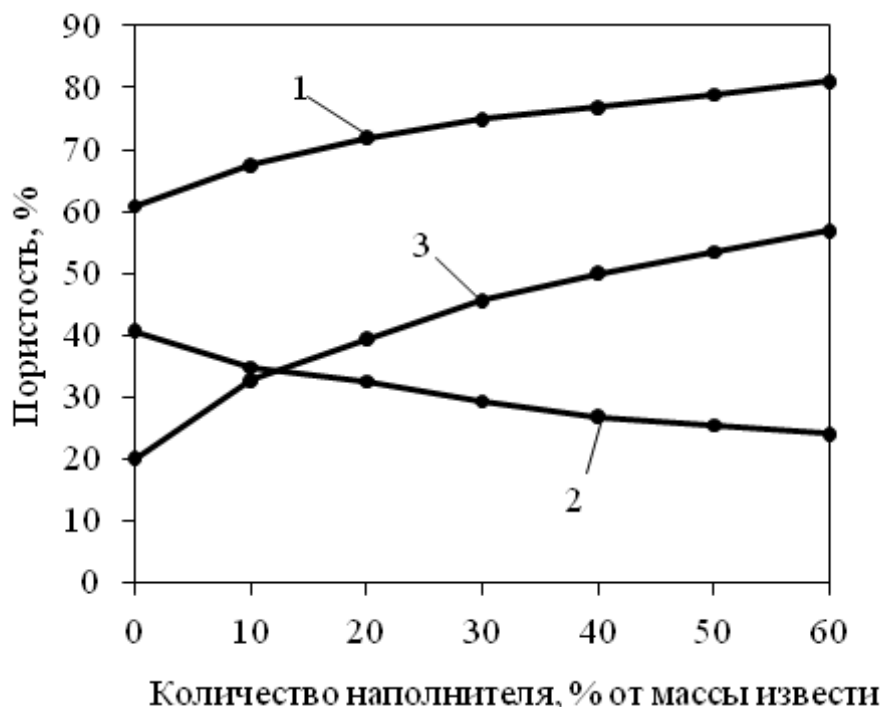


Рисунок 3.3 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием ПСМ: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость

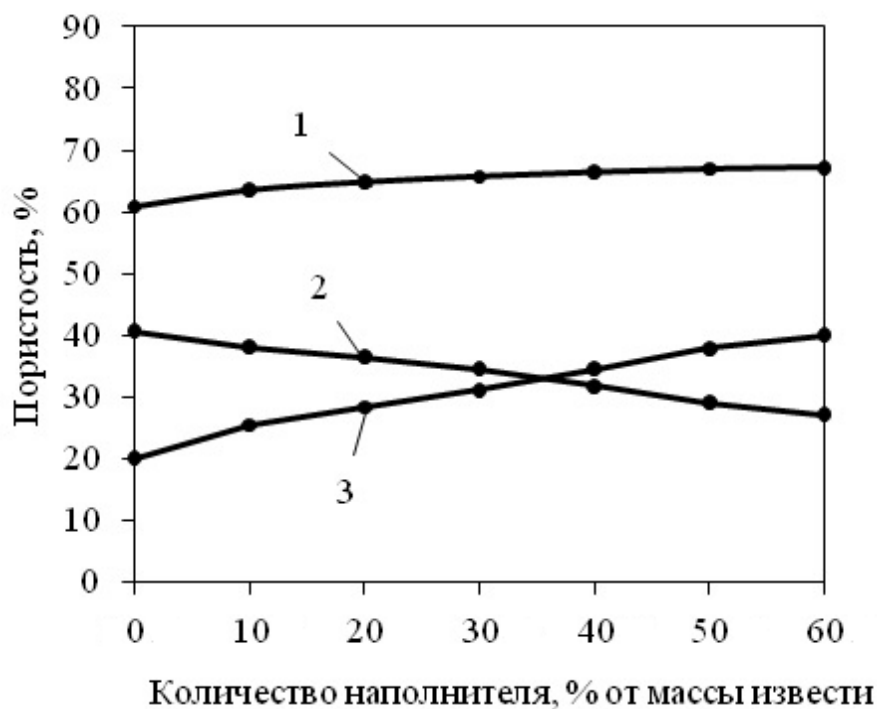


Рисунок 3.4 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием ЗМА: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость.

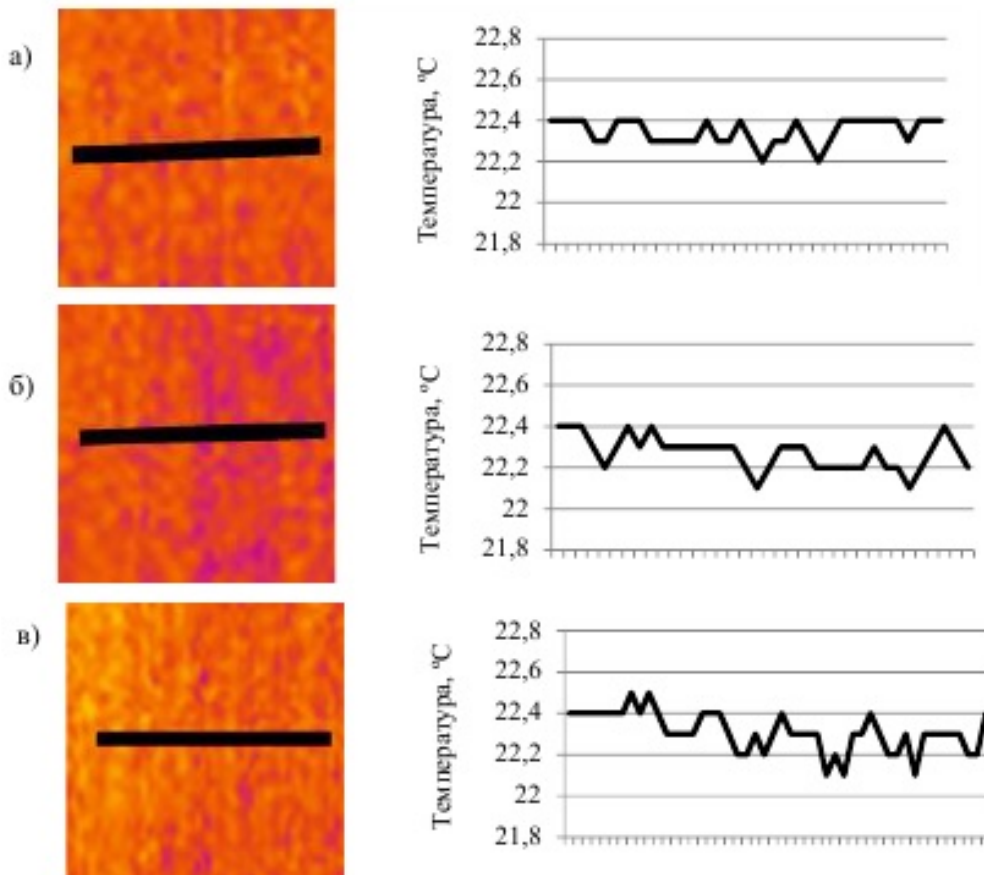
В дальнейших исследованиях все наполнители брались в количестве 40 % от массы извести, т.к. при содержании наполнителей более 40 % значительно ускоряется рост водопотребности растворов, полученных с использованием ВВП и ВПП, что может привести к значительному снижению прочности получаемых на основе таких растворов композитов.

С ростом общей пористости у получаемых растворов закономерно снижается теплопроводность. Композиты, полученные с применением ПСМ, обладают более низкой теплопроводностью по сравнению с композитами, полученными с применением других наполнителей. Теплопроводность в сухом состоянии композитов, наполненных ПСМ, составляет $\lambda=0,105$ Вт/(м·К), наполненных ВВП – $\lambda=0,140$ Вт/(м·К), наполненных ВПП – $\lambda=0,155$ Вт/(м·К), наполненных ЗМА – $\lambda=0,165$ Вт/(м·К) [78].

Степень замкнутости пор и размер пор оказывают влияние на конвективную составляющую теплопереноса в строительном материале. В сообщающихся друг с другом крупных порах возникают потоки воздуха, увеличивающие конвективную

составляющую теплопереноса и ухудшающие теплоизоляционные свойства материала [17, 65]. Согласно [63], конвективная составляющая теплопереноса в пористом материале начинает существенно влиять на его теплозащитные качества при критическом значении критерия Рэлея $Ra_{кр} > 40$. В работе [101] показано, что в ходе эксплуатации материалов в стене реальная величина критерия Рэлея $Ra_{кр}$ значительно ниже 40. Это означает, что вид наполнителя не оказывает влияния на конвективную составляющую процесса теплопереноса.

Для оценки способности штукатурных покрытий противостоять перемещению тепла за счет теплового излучения были определены коэффициенты излучения ϵ исследуемых композитов с помощью электронного термометра ТЭН-5 и тепловизора Testo 882 [35, 65]. На рисунке 3.5 представлены тепловые изображения исследуемых штукатурных покрытий, сделанные при помощи тепловизора, и соответствующие тепловым изображениям линейные температурные профили.



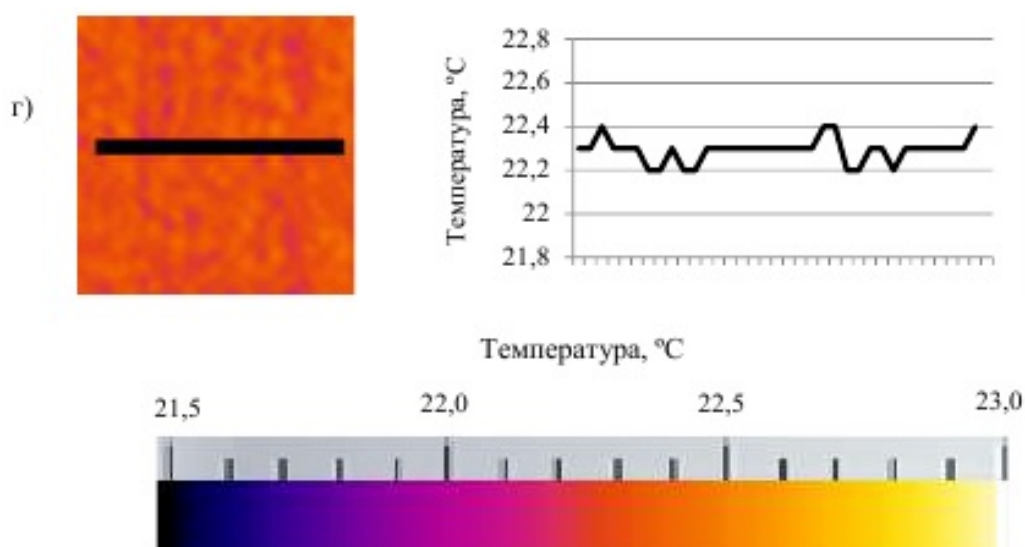


Рисунок 3.5 – Тепловые изображения исследуемых растворных композитов и соответствующие тепловым изображениям линейные температурные профили. Наполнитель: а) ПСМ; б) ЗМА; в) ВВП; г) ВПП

Установлено, что коэффициент излучения ϵ , и как следствие и способность исследуемых штукатурных покрытий отражать тепло, не зависят от используемого наполнителя [65]. Для всех исследуемых композитов коэффициент излучения составил $\epsilon=0,93$.

3.2 Оценка влияния наполнителей на кинетику влагопереноса в исследуемых растворных композитах

В ходе эксплуатации газобетонных ограждающих конструкций из-за конденсации влаги на границе отделочное покрытие – газобетон может наблюдаться частичное разрушение отделочного покрытия [145]. Эксплуатационные свойства пористых материалов в значительной степени определяются интенсивностью происходящих в них процессов тепломассопереноса [10, 54, 81]. В ходе увлажнения материала в каждой точке пористого пространства происходит процесс адсорбции влаги, который имеет свои макро- и микроскопические закономерности. Описание макрокинетики протекания адсорбционных процессов увлажнения пористой системы как

однородной среды при определенных условиях предложено Я.Б.Зельдовичем [46]. Согласно его теории, увлажняемая пористая среда может рассматриваться как однородная, в каждой ее точке протекает кинетический процесс увлажнения.

Учет особенности массопереноса в стеновых конструкциях, в том числе и в отделочном слое, позволит подобрать оптимальное решение при разработке рецептуры теплоизоляционной ССС для отделки газобетона. Для оценки кинетики влагопереноса в разрабатываемом покрытии исследовали процессы массопереноса в растворных композитах, полученных с использованием в качестве наполнителей ЗМА и ВВП.

Зависимость влагосодержания u в растворном композите, полученном с использованием ЗМА, от времени увлажнения τ представлена на рисунке 3.6, в растворном композите, полученном с использованием ВВП, – на рисунке 3.7 [71].

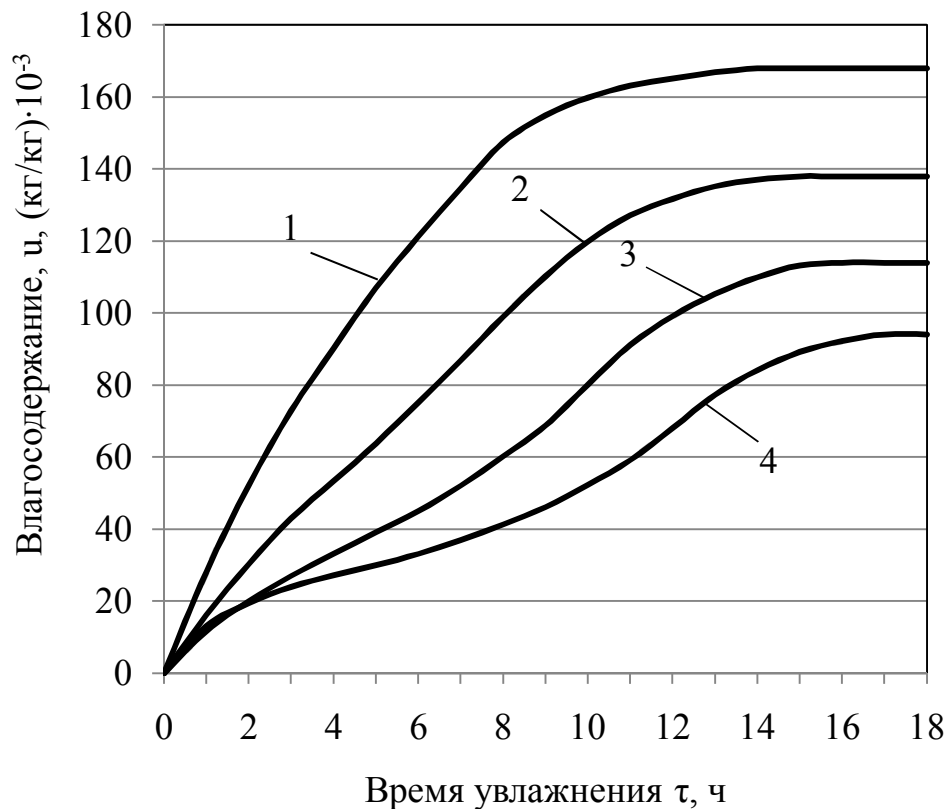


Рисунок 3.6 – Зависимость влагосодержания в растворном композите, полученном с использованием ЗМА, от времени увлажнения: 1 – первый слой, 2 – второй слой, 3 – третий слой, 4 – четвертый слой

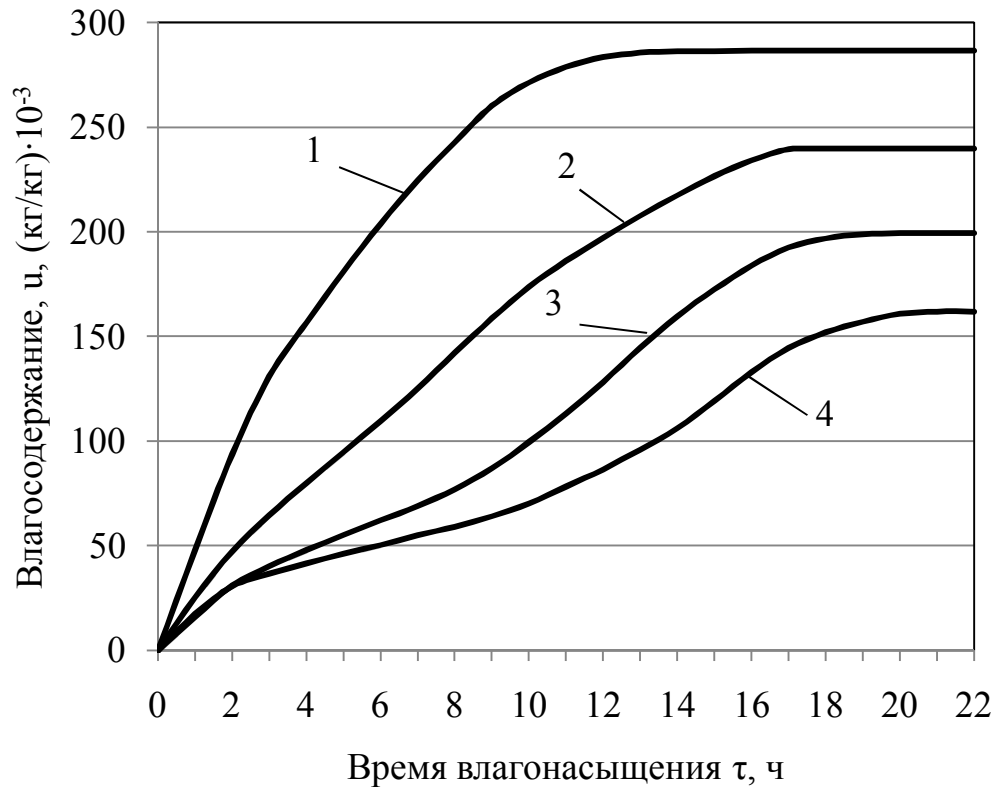


Рисунок 3.7 – Зависимость влагосодержания в растворном композите, полученном с использованием ВВП, от времени увлажнения: 1 – первый слой, 2 – второй слой, 3 – третий слой, 4 – четвертый слой

Из-за разности величин упругости водяного пара с разных сторон образца наблюдается диффузия водяного пара через растворный композит в сторону пониженных температур. В данном случае направление градиента влагосодержания совпадает с направлением температурного градиента. Установлено, что первый слой характеризуется наиболее высокими значениями максимального влагосодержания u . После 18 часов влагопоглощения влагосодержание первого слоя композита, полученного с использованием ЗМА, составило $u=168,2 \cdot 10^{-3}$ кг/кг (рисунок 3.6. кривая 1); первого слоя композита, полученного с использованием ВВП, – составило $u=286,5 \cdot 10^{-3}$ кг/кг (рисунок 3.7. кривая 1). Величина влагосодержания второго, третьего и четвертого слоев последовательно уменьшалась по мере их удаления от источника влаги. Более высокое максимальное влагосодержание растворного композита, полученного с

использованием ВВП, объясняется преобладанием в поровой структуре данных композитов открытой пористости [55].

Анализ данных, приведенных на рисунках 3.6 и 3.7, позволил описать закономерности увлажнения при заданных влажностях воздуха уравнением

$$w = w_{\max} [1 - \exp(-bx)], \quad (3.1)$$

где w_{\max} – максимальное значение влагосодержания, кг/кг;

b – константа скорости увлажнения, ч⁻¹.

Для покрытий, полученных с использованием ЗМА, по мере удаления слоя от зоны с более высокой влажностью наблюдалось уменьшение значения константы скорости увлажнения от 0,1740 до 0,0422 ч⁻¹. Для покрытий, полученных с использованием ВВП, по мере удаления слоя от зоны с более высокой влажностью наблюдалось уменьшение значения константы скорости увлажнения от 0,2017 до 0,0450 ч⁻¹. Коэффициент корреляции варьировался в пределах от 0,9780 до 0,9976 [55].

Установлено, что в процессе увлажнения растворного композита, полученного с использованием ЗМА, влагосодержание по сечению материала распределено достаточно неравномерно. Наибольший перепад влагосодержания между крайними первым и четвертым слоями составил $108,9 \cdot 10^{-3}$ кг/кг, он наблюдался спустя 10 часов с момента увлажнения. Влагосодержание в растворном композите, полученном с использованием ВВП, распределено значительно более неравномерно по сечению материала. Наибольший перепад влагосодержания между крайними первым и четвертым слоями спустя 10 часов увлажнения составил $201,0 \cdot 10^{-3}$ кг/кг.

На рисунке 3.8 представлены данные, характеризующие распределение влагосодержания по сечению образцов растворных композитов в момент времени, когда материалы перестали активно поглощать влагу и влагосодержание образцов достигло максимального значения.

Установлено, что влагосодержание в растворном композите, полученном с использованием ЗМА, распределено более равномерно по сечению материала по

сравнению с влагосодержанием в растворном композите, полученном с использованием ВВП.

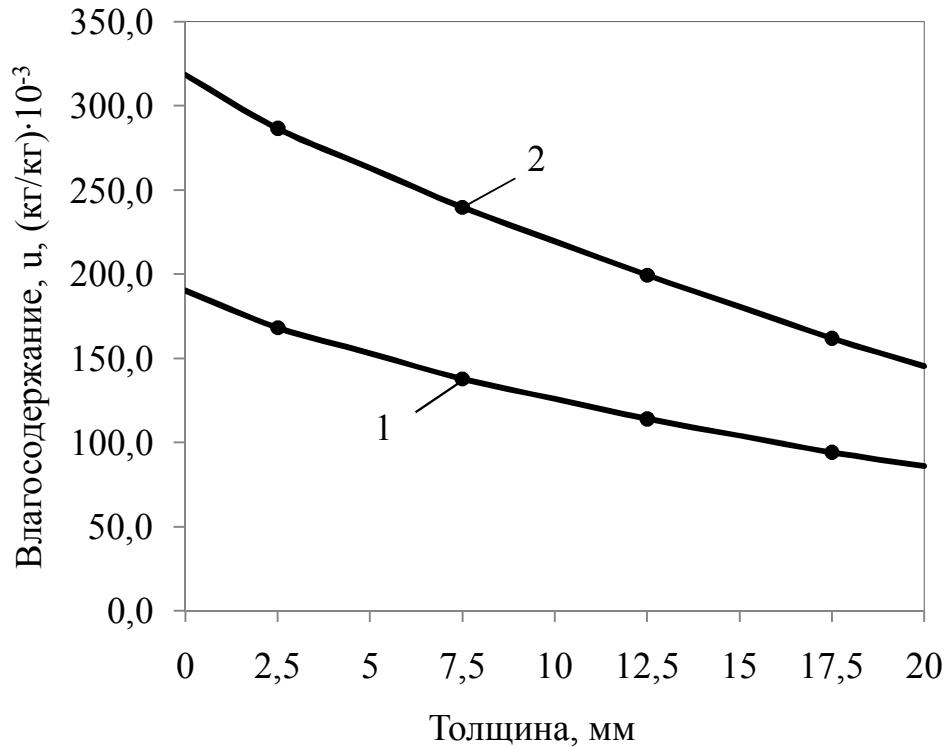


Рисунок 3.8 – Распределение влагосодержания по толщине растворного композита: 1 – ЗМА; 2 – ВВП

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что растворный композит, полученный с использованием ЗМА, способен лучше противодействовать температурно-влажностным деформациям, возникающим в слое отделки [71].

3.3 Определение активности наполнителей

Пуццоланическая активность является одной из характеристик, позволяющих оценивать эффективность использования наполнителей в составе ССС. Действие пуццоланического эффекта в известковых ССС проявляется в химическом взаимодействии аморфного кремнезема, содержащегося в наполнителе, с известью. При этом в получаемых покрытиях образуются низкоосновные гидросиликаты кальция, упрочняющие растворные композиты.

В работе оценена пуццоланическая активность четырех исследуемых высокопористых наполнителей.

Предварительно был определен оксидный состав используемых в работе высокопористых наполнителей, который приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Оксидный состав высокопористых наполнителей

Наполнитель	Содержание оксидов, %						
	SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	Fe _x O _y	K ₂ O	Пр.
ПСМ	73,0	26,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1
ЗМА	55,0	1,5	35,0	1,5	2,5	2,9	1,6
ВПП	73,9	0,0	13,2	0,0	0,8	4,9	7,2
ВВП	40,6	3,8	14,9	24,5	5,9	10,1	0,2

Количество поглощенного Ca(OH)₂ различными наполнителями из известкового раствора, в зависимости от времени проведения эксперимента, представлено на рисунке 3.9

Высокая пуццоланическая активность ПСМ, равная 313,0 мг/г (рисунок 3.9, кривая 1), вызвана значительным содержанием SiO₂ в данном материале – 73,0 % (таблица 3.1), при этом большая часть SiO₂ содержится в аморфном кремнеземе в стенках микросфер [49,104]. Меньшая, чем у ПСМ, пуццоланическая активность ЗМА, равная 68,2 мг/г (рисунок 3.9, кривая 2), объясняется меньшим содержанием SiO₂ в данном материале – 55,0 %. Также достаточно низкая пуццоланическая активность ЗМА вызвана меньшей удельной поверхностью частиц данного наполнителя. Удельная поверхность ПСМ составляет 1142,9 м²/кг, удельная поверхность ЗМА 131,1 м²/кг. ВПП отличается сравнительно высокой пуццоланической активностью – 147,7 мг/г (рисунок 3.9, кривая 3), что объясняется высоким содержанием в данном материале SiO₂ – 73,9 %. Низкая пуццоланическая активность ВВП, составляющая 35,6 мг/г (рисунок 3.9, кривая 4), вызвана меньшим, по сравнению с другими исследуемыми материалами, содержанием SiO₂ – 40,6 %.

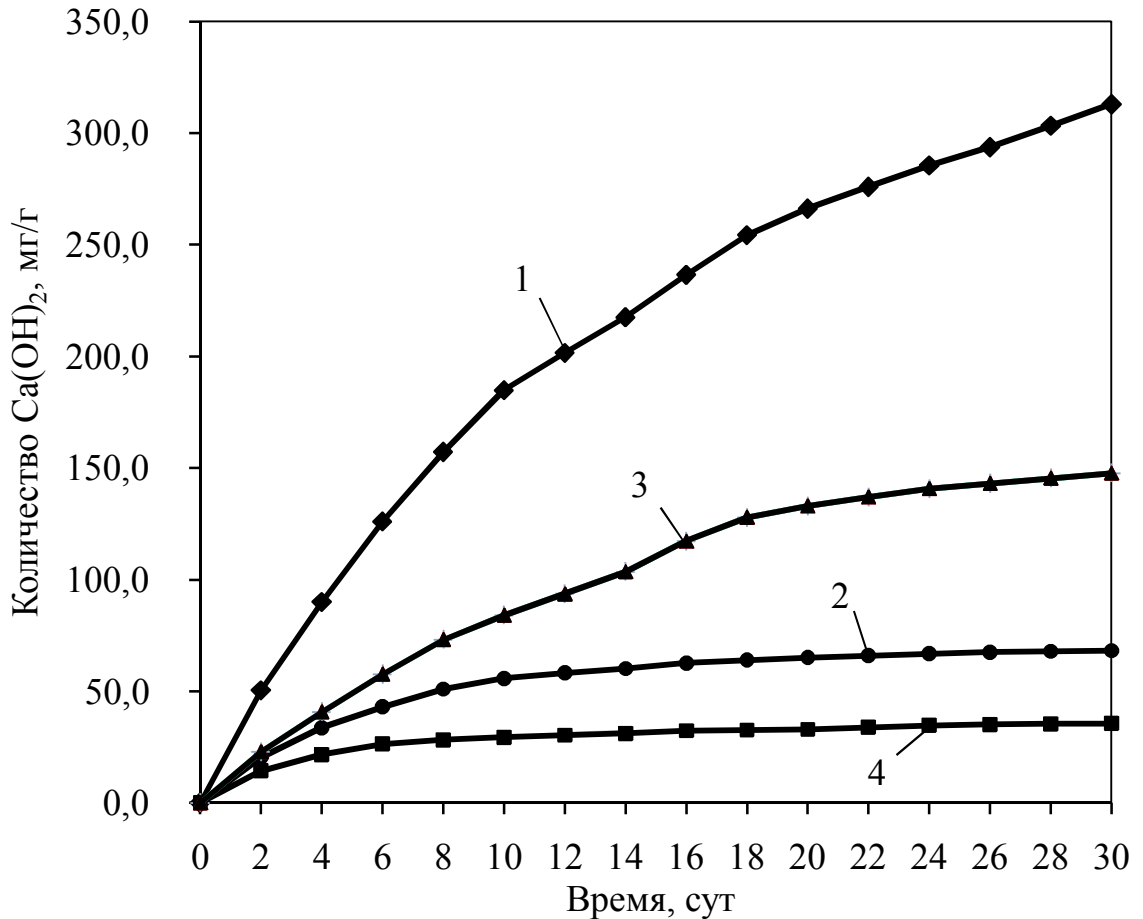


Рисунок 3.9 – Активность высокопористых наполнителей по поглощению Ca(OH)₂ из известкового раствора: 1 – ПСМ; 2 – ЗМА; 3 – ВПП; 4 – ВВП

Эксперимент по измерению пуццоланической активности ПСМ продолжали до того момента, когда количество гидроксида кальция, вступившего во взаимодействие с наполнителем, не перестало изменяться. Установлено, что ПСМ способны активно поглощать Ca(OH)₂ вплоть до 70 сут. После этого скорость поглощения уменьшилась и спустя 90 сут. после начала эксперимента активность ПСМ достигла 480,5 мг/г [64].

Для исследования возможных новообразований на поверхности ПСМ были сделаны их электронно-микроскопические снимки с помощью электронного микроскопа VEGA3 TESCAN до и после проведения эксперимента, которые представлены на рисунке 3.10. Как известно, ПСМ представляют собой полые газонаполненные шарики различного диаметра и обладают близкой к идеальной сферической формой (рисунок 3.10 (а)). Эти шарики имеют четко выраженные границы.

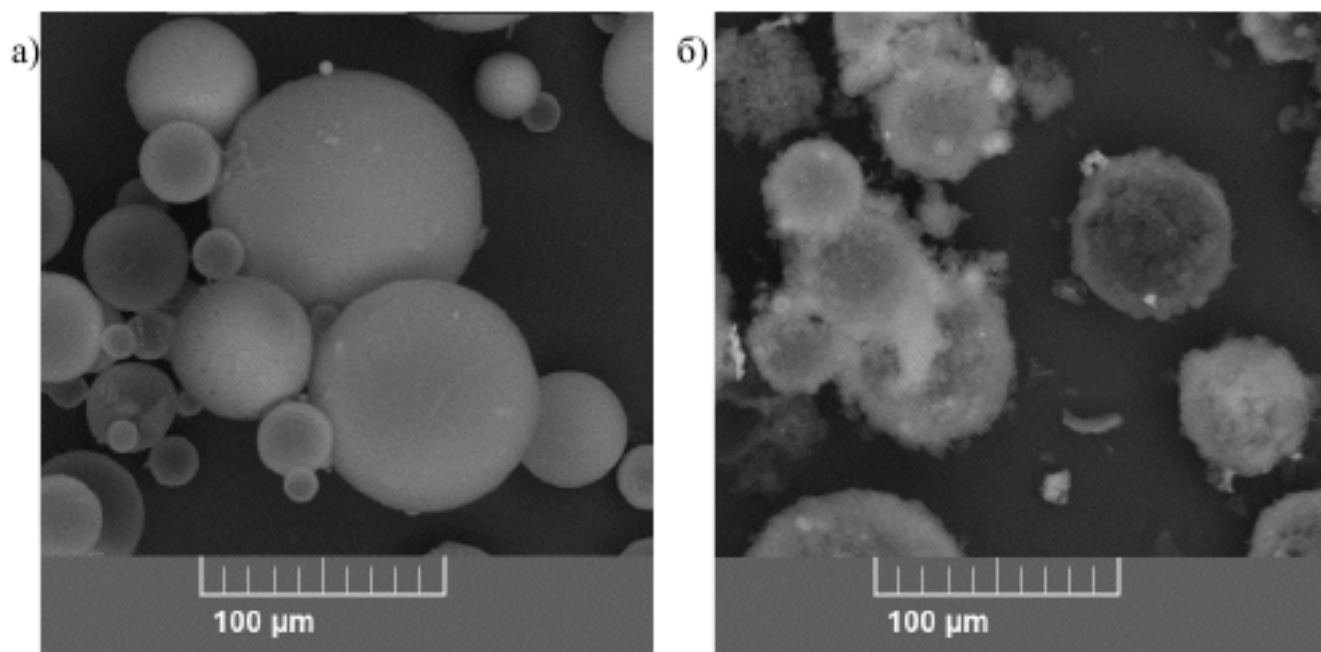


Рисунок 3.10 – Электронно-микроскопический снимок ПСМ: а – до эксперимента по определению активности наполнителей; б – после эксперимента по определению активности наполнителей

На снимке наполнителя, сделанном после окончания эксперимента по определению пуццоланической активности, отсутствует четкая граница у микросфер (рисунок 3.10 (б)). Новообразованиями на поверхности микросфер предположительно являются гидросиликаты кальция, образовавшиеся в результате взаимодействия гидроксида кальция и содержащегося в стенках микросфер аморфного кремнезема.

3.4 Анализ распределения микросфер в структуре растворного композита

Форма полых микросфер и большой диапазон их диаметров обеспечивают компактную укладку благодаря минимальному отношению площади поверхности к занимаемому объему.

Применяя ПСМ и ЗМА, можно добиться оптимальной структуры композита. Для теплоизоляционных материалов оптимальной можно считать структуру, при которой достигается наибольшее наполнение композита легкими частицами с аморфным строением твердой фазы [87, 116]. При оптимальной

структуре размер ячеек заземленного воздуха будет значимо менее 2 мм, что позволит исключить конвективную составляющую теплопереноса.

Для нахождения оптимального содержания наполнителя требуется решить геометрическую задачу о максимальном заполнении объема теплоизоляционного композита шарами микросфер. В работах [7, 83] предложено два решения, позволяющих добиться максимального процента занятого пространства. Для решеток гексагонального и гранецентрированного кубического типа плотность упаковки равна $\eta_1=0,7405$ (рисунок 3.11).

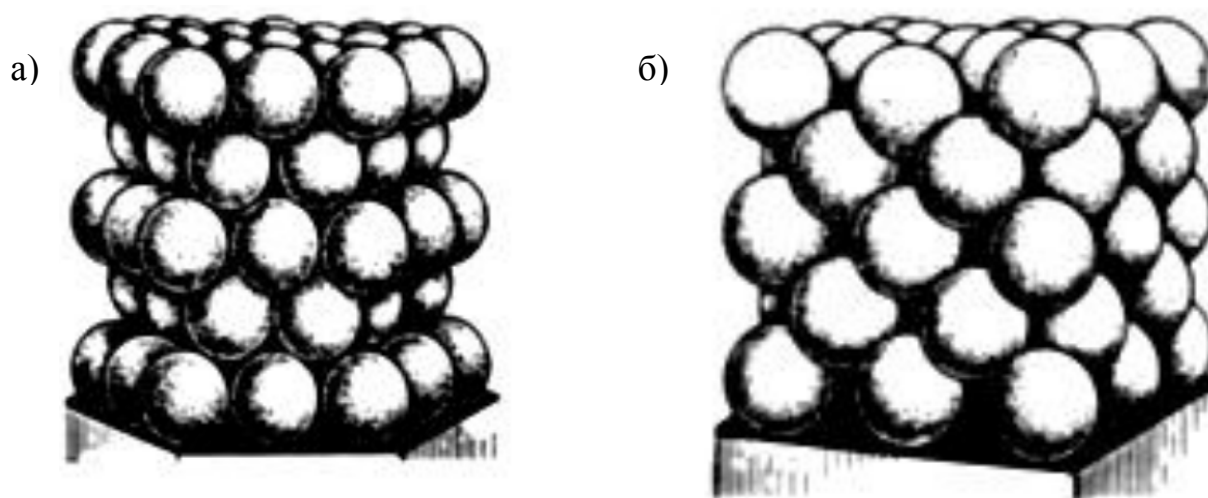


Рисунок 3.11 – Схемы упаковки микросфер: а – гексагональная; б – гранецентрированная кубическая [Привод. по: 7, 83]

Рассмотрим модель композита, состоящего из вяжущего и микросфер. Рассматриваемая модель построена на основании следующего положения: частицы вяжущего обладают одинаковыми размерами, микросферы обладают одинаковыми размерами и разделены друг от друга прослойкой вяжущего постоянной толщины [77]. При этом толщина прослойки вяжущего между микросферами равна двум диаметрам частиц вяжущего d_{CC1} , а каждая отдельная микросфера покрыта слоем вяжущего толщиной d_{CC1} . Такая структура композитов будет формироваться за счет того, что в начальный момент структурообразования в растворе из-за высокой пуццоланической активности микросфер будет наблюдаться перенос частиц вяжущего к стенкам микросфер.

Определим количество частиц извести, способных вступить во взаимодействие с одной ПСМ и с одной ЗМА. Согласно проведенным в главе 2.1 предварительным исследованиям, объем одной ПСМ равен $8,177 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3$. Масса одной микросферы составляет $1,717 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$. Активность ПСМ составляет 313,0 мг/г, следовательно, с одной микросферой во взаимодействие вступит $0,537 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$ извести. Объем одной частицы извести равен $6,5 \cdot 10^{-17} \text{ м}^3$, масса одной частицы извести равна $1,398 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$. Таким образом, с одной ПСМ во взаимодействие вступит четыре частицы извести. Объем одной ЗМА равен $2,323 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3$. Масса одной микросферы составляет $1,394 \cdot 10^{-10} \text{ кг}$. Активность ЗМА составляет 68,2 мг/г, следовательно, с одной микросферой во взаимодействие вступит $9,507 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$ извести. Таким образом, с одной ЗМА во взаимодействие вступит 41 частица извести.

В рассматриваемой модели доля микросфер в объеме композита максимальная, а вяжущее выполняет роль связующего компонента, создавая материал конгломератного строения [77]. Модель представлена на рисунке 3.12.

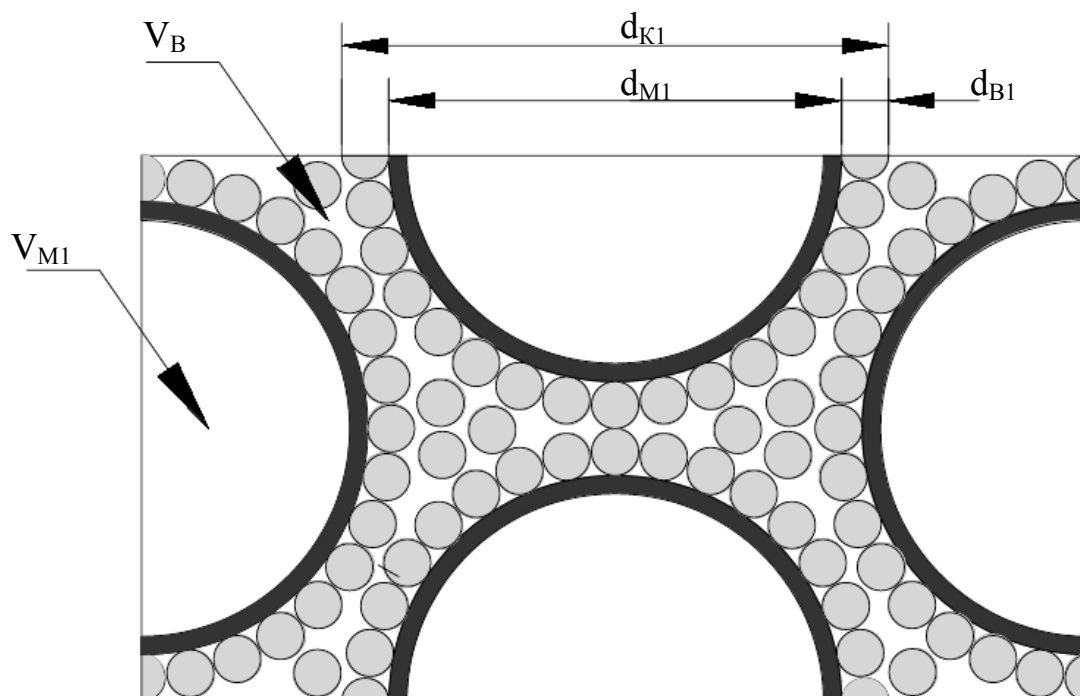


Рисунок 3.12 – Схема модели композита: где d_{M1} – диаметр микросферы, d_{B1} – диаметр одной частицы вяжущего, d_{K1} – диаметр одной микросферы с прослойкой вяжущего, V_{M1} – объем одной микросферы, V_B – объем вяжущего

Для исследуемого композита любого объема выполняется следующее равенство:

$$V = V_M + V_B, \quad (3.2)$$

где V – объем композита, м^3 ;

V_B – объем вяжущего, м^3 ;

V_M – объем микросфер, м^3 .

$$V_M = N_M \cdot V_{M1}, \quad (3.3)$$

где N_M – количество микросфер в рассматриваемом объеме композита, шт;

V_{M1} – средний объем одной микросферы, м^3 .

В рассматриваемом композите каркасом являются микросферы, покрытые прослойкой толщиной в одну частицу вяжущего d_{B1} . Для определения объема одной микросферы с прослойкой связующей смеси V_{K1} , м^3 , использовали равенство:

$$V_{K1} = \frac{\pi \cdot d_{K1}^3}{6} = V_{CM1} + V_{M1} = V_{M1} \cdot \frac{d_{K1}^3 - d_{M1}^3}{d_{M1}^3} + V_{M1}, \quad (3.4)$$

где V_{BM1} – объем прослойки вяжущего вокруг одной микросферы, м^3 ;

d_{K1} – диаметр одной микросферы с прослойкой вяжущего, м;

d_{M1} – диаметр одной микросферы, м.

Для решеток гексагонального и гранцентрированного кубического типа для любого объема рассматриваемого композита справедливо следующее равенство:

$$N_M \cdot V_{K1} = 0,7405 \cdot V. \quad (3.5)$$

Таким образом, общий объем вяжущего для любого объема рассматриваемого композита V_B можно рассчитать по формуле:

$$V_B = N_M \cdot V_{CM1} + 0,2595 \cdot V. \quad (3.6)$$

Определим оптимальное содержание микросфер $M^{\%}$ в зависимости от массы вяжущего по формуле:

$$M^{\%} = \frac{V_M \cdot \rho_M}{V_B \cdot \rho_B \cdot \eta_B}, \quad (3.7)$$

где ρ_B – истинная плотность вяжущего, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_M – истинная плотность микросфер, кг/м³;

η – плотность упаковки частиц вяжущего.

Для расчета плотности упаковки частиц вяжущего использовали формулу:

$$\eta_B = \frac{m_B}{\rho_B \cdot V_P}, \quad (3.8)$$

где m_B – масса вяжущего, кг;

V_P – объем растворного композита, м³.

На основе полученных зависимостей сравнивали четыре различных по виду используемых в них материалов композита:

- 1 вариант: наполнитель – ПСМ; вяжущее – известь-пушонка;
- 2 вариант: наполнитель – ПСМ; вяжущее – цемент;
- 3 вариант: наполнитель – ЗМА; вяжущее – известь-пушонка;
- 4 вариант: наполнитель – ЗМА; вяжущее – цемент.

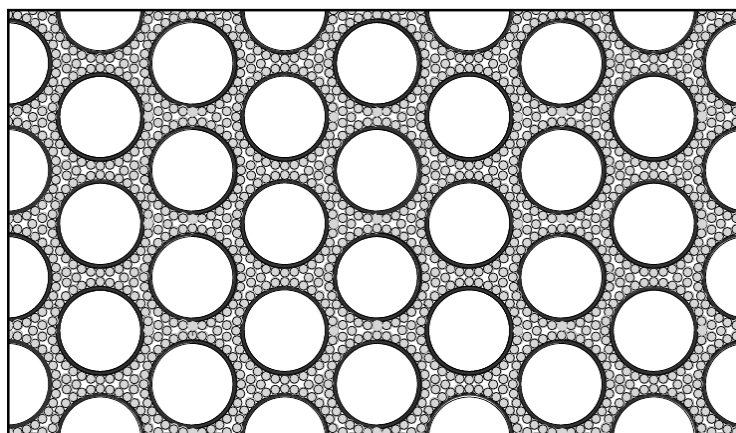
Исходные данные для расчетов представлены в таблицах 2.1, 3.2.

Таблица 3.2 – Расчетные характеристики вяжущих

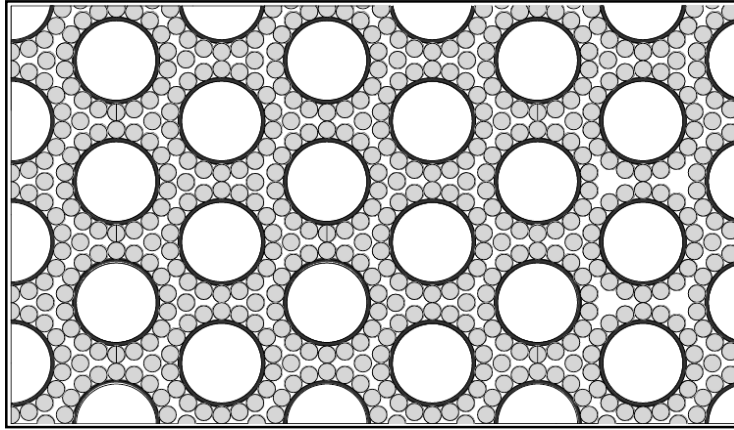
Материал	Диаметр одной частицы связующей смеси, d_{B1} , м	Истинная плотность вяжущего, ρ_B , кг/м ³	Плотность упаковки частиц вяжущего, η
Известь-пушонка	$2,67 \cdot 10^{-6}$	2150	0,474
Цемент	$5,00 \cdot 10^{-6}$	3000	0,733

Схемы расположения частиц вяжущего и наполнителя в сравниваемых композитах представлены на рисунке 3.13.

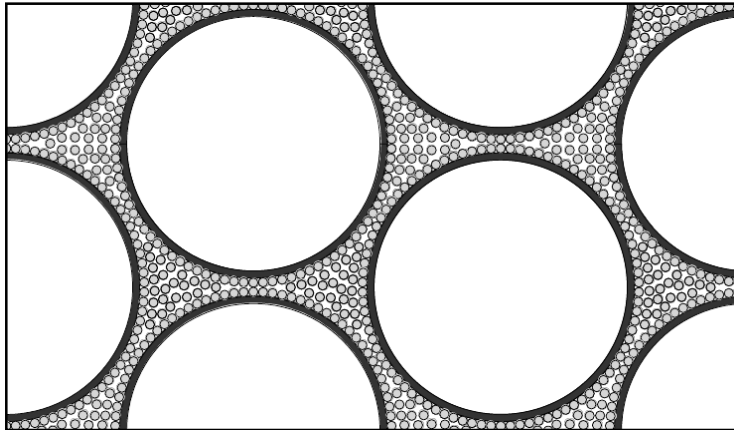
а)



б)



в)



г)

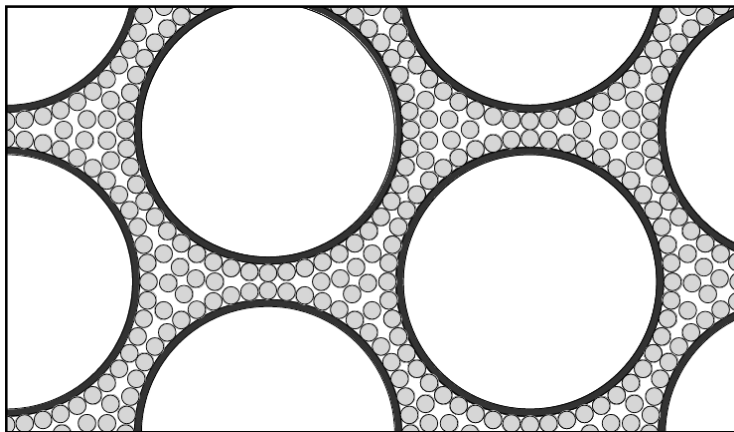


Рисунок 3.13 – Схемы расположения частиц вяжущего и наполнителя в композитах: а – 1 вариант; б – 2 вариант; в – 3 вариант; г – 4 вариант

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Расчетные характеристики композитов

Вариант композита	Объем микросфер в композите $V_M, \%$	Объем вяжущего в композите V_B		Оптимальное содержание микросфер от массы вяжущего $M^%, \%$	Плотность композита $\rho, \text{кг/м}^3$
		прослойка вокруг микросфер $V_{BM}, \%$	заполнение пространства между микросферами $V_{BP}, \%$		
1	41,43	32,62	25,95	17,3	684
2	26,99	47,06	25,95	3,5	1663
3	60,45	13,60	25,95	89,9	766
4	51,17	22,88	25,95	28,6	1381

Установлено, что с увеличением диаметра микросфер уменьшается объем вяжущего в композите V_B за счет снижения объема прослойки вокруг микросфер V_{BM} . Увеличение диаметра одной микросферы d_{M1} в 3,05 раза при замене в композите ПСМ на ЗМА уменьшает объем известкового вяжущего V_B в композите с 58,57 % до 39,55 %, уменьшает объем цементного вяжущего V_B в композите с 73,01 % до 48,83 %.

Также выявлено, что с увеличением диаметра частиц вяжущего увеличивается объем вяжущего в композите V_{CC} за счет увеличения объема прослойки вокруг микросфер V_{CM} . Увеличение диаметра одной частицы вяжущего d_{B1} в 1,87 раза при замене в композите известкового вяжущего на цементное увеличивает объем вяжущего V_B в композите, наполненном ПСМ, с 58,57 % до 73,01 %, увеличивает объем вяжущего V_B в композите, наполненном ЗМА, с 39,55 % до 48,83 %.

Выводы по главе 3

1. Обоснована возможность увеличения паропроницаемости и снижения теплопроводности теплоизоляционных отделочных покрытий, использующих в составе в качестве наполнителя ЗМА, а в качестве вяжущего – известь.

2. Рассмотрен механизм передачи тепла через покрытия на основе известковой теплоизоляционной ССС в зависимости от вида использованного наполнителя. Выявлено, что способность отделочного покрытия отражать тепло, а также конвективная составляющая теплопереноса не зависят от вида используемого наполнителя. Установлено, что коэффициент излучения ε не зависит от используемого наполнителя и для всех исследуемых покрытий, независимо от вида используемого наполнителя, коэффициент излучения составил $\varepsilon=0,93$. Теплопроводность в сухом состоянии композитов, наполненных ПСМ, составляет $\lambda=0,105$ Вт/(м·К), наполненных ВВП – $\lambda=0,140$ Вт/(м·К), наполненных ВПП – $\lambda=0,155$ Вт/(м·К), ЗМА – $\lambda=0,165$ Вт/(м·К).

3. Определена пуццоланическая активность исследуемых наполнителей методом поглощения извести из известкового раствора. Установлено, что пуццоланическая активность ПСМ составляет 313,0 мг/г, ЗМА – 68,2 мг/г, ВПП – 147,7 мг/г, ВВП – 35,6 мг/г.

4. Рассмотрена пространственная модель теплоизоляционного композита оптимальной структуры, состоящего из вяжущего и микросфер. Рассчитано оптимальное содержание микросфер. Спрогнозирована средняя плотность композитов оптимальной структуры для каждой пары «вяжущее – наполнитель»: известь – ПСМ; цемент – ПСМ; известь – ЗМА; цемент – ЗМА. Установлено, что за счет снижения объема вяжущего и снижения его средней плотности при замене цемента на известь у отделочных составов повышаются теплоизоляционные свойства.

5. Исследовано влияния вида наполнителя на поровую структуру получаемых растворных композитов. Установлено, что при использовании ВВП и ВПП происходит увеличение общей пористости композитов за счет роста

количества открытых пор, образующихся из-за высокой водопотребности данных наполнителей. Увеличение закрытой пористости у данных композитов менее значительно и происходит за счет высокой микропористости данных наполнителей. Рост общей пористости при использовании микросфер происходит за счет увеличения закрытой пористости из-за полой структуры данных наполнителей, при этом количество открытых пор уменьшается.

Глава 4. Разработка рецептуры теплоизоляционной сухой строительной смеси

4.1 Физико-химические свойства добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция

Теплоизоляционные штукатурные составы на основе известкового вяжущего для наружной отделки стен широко не используются, т.к. считается, что покрытия на их основе не обладают требуемыми эксплуатационными свойствами. В работах [75, 106] для улучшения влагостойкости, трещиностойкости и долговечности и отделочных составов на основе известкового вяжущего в их состав предлагается вводить различные органоминеральные добавки, гидросиликаты кальция и синтетические цеолиты. Установлено, что, используя специализированные модифицирующие добавки, можно значительно улучшить эксплуатационные свойства известковых покрытий.

В работах [99, 100] показано, что при введении в известковую смесь гидросиликатов кальция значительно увеличивается прочность получаемых композитов. В работах [1, 105] установлено, что использование в качестве модифицирующей добавки алюмосиликатов кальция позволяет значительно ускорить структурообразование известковой смеси.

В работе предлагается использовать в качестве модифицирующей добавки для разрабатываемой теплоизоляционной ССС смесь гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция. В качестве рабочей гипотезы принято предположение, что при введении в известковую смесь одновременно гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция возможно получить вяжущее, позволяющее получить композиты, характеризующиеся улучшенными техническими и эксплуатационными свойствами. На первой стадии негашеную известь гасили водой. Затем в эту смесь вливали раствор жидкого стекла, содержащий 122,4 г/л SiO_2 и 47,4 г/л Na_2O . Образовавшуюся пульпу перемешивали в течение 15 минут. Затем отфильтровывали осадок, для чего

полученную суспензию обезвоживали, помещая на фильтровальную бумагу. В ходе эксперимента по получению осадка исследовали влияния температурной обработки на синтез гидросиликатов кальция. Для этого изменяли температурные условия, в которых происходили реакции по синтезу гидросиликатов. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценка влияния параметров температурной обработки компонентов на характеристики осадка, получаемого на первой стадии синтеза

Параметры температурной обработки			Характеристики осадка
Вода для гашения извести	Известковый раствор	Раствор жидкого стекла	
Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Осадок отсутствует
60 °С	Отсутствует	Отсутствует	Осадок отсутствует
60 °С	До кипения	Отсутствует	Наблюдается образование небольшого количества осадка, осадок практически не поддается обезвоживания
60 °С	До кипения	40 °С	Наблюдается образование осадка, осадок слабо поддается обезвоживания
Отсутствует	До кипения	60 °С	Наблюдается образование осадка, осадок слабо поддается обезвоживания, в осадке наблюдается значительное количество не вступившего в реакцию $\text{Ca}(\text{OH})_2$
60 °С	До кипения	60 °С	Наблюдается выпадение значительного количества осадка, осадок очень хорошо поддается обезвоживания

При взаимодействии растворов извести и жидкого стекла, не подвергнутых температурной обработки, не наблюдалось образования осадка. Температурная обработка только известкового раствора приводит к образованию незначительного количества осадка, который практически не поддавался

обезвоживанию, что, видимо, свидетельствует о сохранении в суспензии значительной доли не вступившего в реакцию жидкого стекла. Температурная обработка всех рассматриваемых компонентов, участвующих в реакции синтеза добавки на первой стадии, позволяет получить значительное количество осадка. Полученный осадок очень хорошо поддается обезвоживанию, что свидетельствует о незначительном содержании в нем не вступившего в реакцию жидкого стекла. При этом, благодаря нагреву воды, которая используется для гашения извести, в полученном осадке не наблюдается большого количества частиц не вступившей в реакцию извести. Поэтому в дальнейшем была принята следующая технология синтеза добавки на первой стадии – негашеную известь гасили водой, нагретой до 60 °С, и полученный раствор доводили до кипения и вливали в него раствор жидкого стекла, нагретый до 60 °С.

На второй стадии отфильтрованный осадок обрабатывали 10 %-м раствором сульфата алюминия до тех пор, пока рН показатель полученной смеси не опускался до 6,5. Выбор данной величины рН объясняется тем, что при данном значении рН полученная смесь имеет нейтральный характер и, как следствие, дальнейшая реакция по образованию гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция невозможна. Полученную смесь вновь отфильтровывали. Осадки, образовавшиеся на первой и второй стадиях, высушивали при 100–105 °С в течение 12 часов. Для оценки целесообразности принятой двухстадийной технологии синтеза добавки дальнейшие исследования проводили параллельно для добавок, образовавшихся на первой и второй стадиях [3]. Оксидный состав добавок, полученных на первой и второй стадиях, представлен в таблице 4.2 [74].

Таблица 4.2 – Оксидный состав добавок, полученных на первой и второй стадиях

Стадия синтеза добавки	Наименование оксидов и их содержание, %						
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	SO ₃	Прочее
1 стадия	43,76	37,61	-	16,71	1,38	-	0,54
2 стадия	37,05	31,07	10,98	9,80	0,99	9,84	0,26

Свойства образцов модифицирующих добавок, полученных на первой и второй стадиях, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Свойства образцов добавок, полученных на первой и второй стадиях

Стадия синтеза добавки	Внешний вид	Истинная плотность $\rho_{\text{ист}}$, кг/м ³	Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$, кг/м ³	Удельная поверхность $S_{\text{уд}}$, м ² /кг*
1 стадия	Порошок белого цвета	2100	380	<u>680</u> 57100
2 стадия	Порошок белого цвета	2140	240	<u>1380</u> 163300

Примечание.* Над чертой представлены данные по удельной поверхности $S_{\text{уд}}$, полученные на приборе ПСХ-12 методом фильтрации газа через пористые тела, под чертой – данные, полученные на приборе Sorbi – M по многоточечному методу БЭТ.

Анализ данных, представленных в таблице 4.3, свидетельствует, что в составе модифицирующей добавки, полученной на первой стадии, преобладают оксиды SiO_2 , CaO , Na_2O . Данный оксидный состав характерен для гидросиликатов кальция. В составе модифицирующей добавки, полученной на второй стадии синтеза, при сохранении значительной доли оксидов SiO_2 , CaO , Na_2O дополнительно появились оксиды Al_2O_3 , и SO_3 . Это позволяет предположить, что минералогический состав добавки дополнился гипсом и гидроалюмосиликатами кальция. Для оценки минералогического состава добавок, полученных на первой и второй стадиях синтеза, был проведен их РФА. Рентгенограмма образцов добавки, полученной на первой стадии, представлена на рисунке 4.1. Рентгенограмма образцов добавки, полученной на второй стадии, представлена на рисунке 4.2 [79].

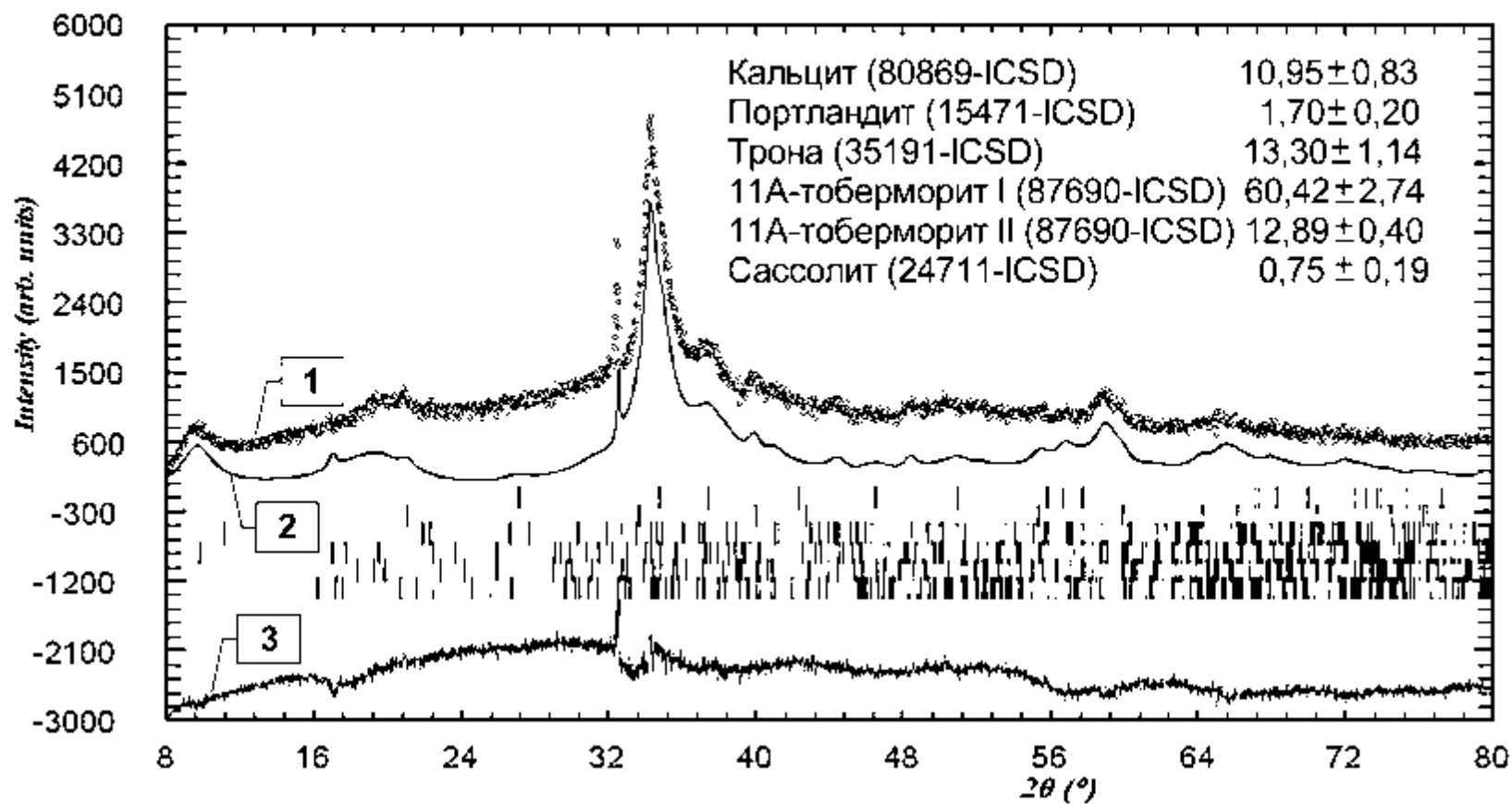


Рисунок 4.1 – Рентгенограмма образцов добавки, полученной на первой стадии синтеза

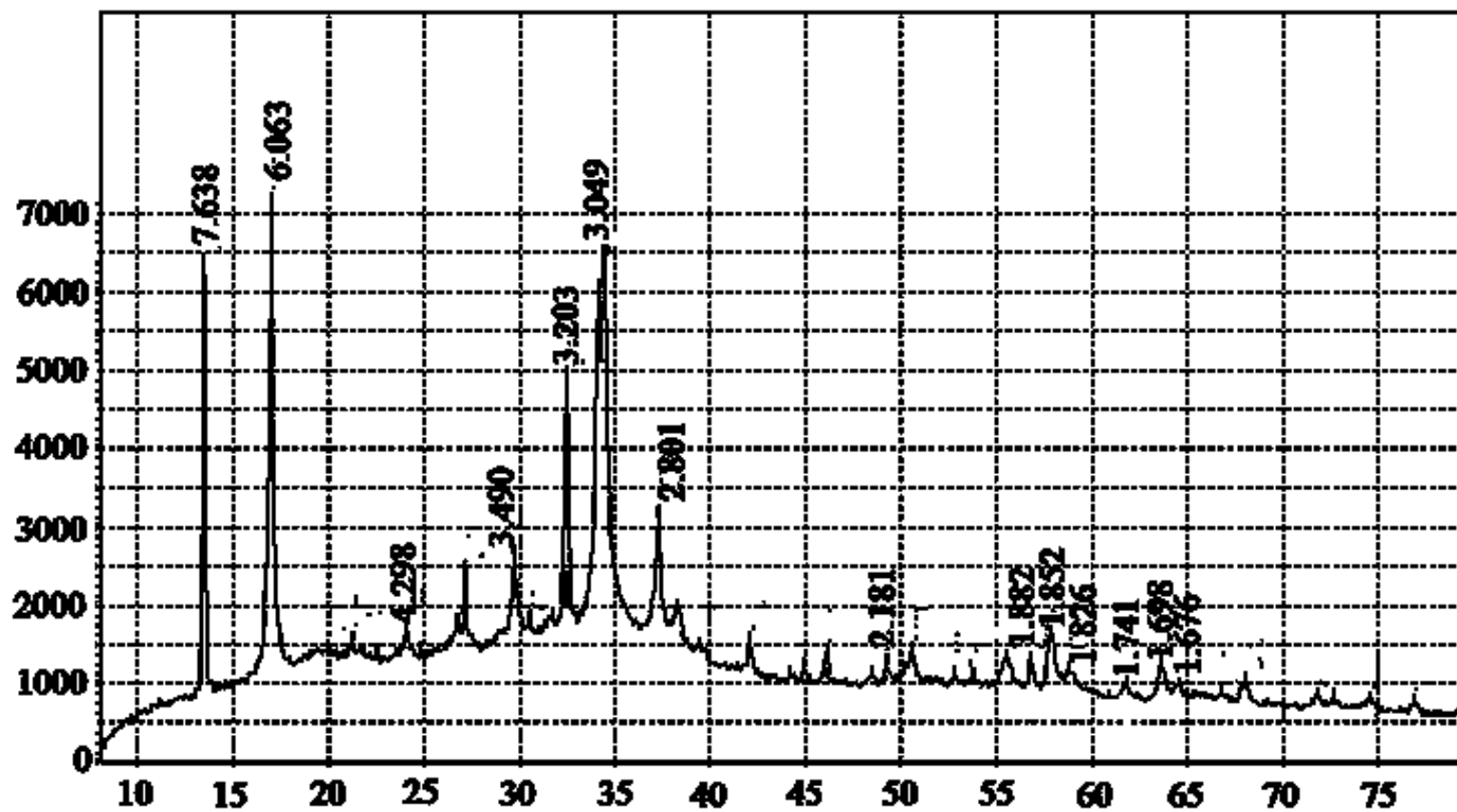


Рисунок 4.2 – Рентгенограмма образцов добавки, полученной на второй стадии синтеза

РФА показал, что минералогический состав добавки, полученной на первой стадии, представлен минералами тоберморитовой группы, Å ($d=3.037$, $d=3.201$, $d=1.818$), портландитом, Å ($d=2.631$, $d=4.940$, $d=1.681$), кальцитом, Å ($d=2.109$, $d=3.034$, $d=1.878$).

РФА добавки, полученной на второй стадии, показал, что в ее минералогическом составе сохранились гидросиликаты кальция, представленные минералами тоберморитовой группы, Å ($d=3.049$, $d=3.203$, $d=1.826$, $d=1.676$) и твердым раствором CSH(B) в виде слабозакристаллизованного геля, Å ($d=2.181$, $d=1.882$, $d=1.741$). Дополнительно в минералогическом составе добавки были обнаружены гипс, Å ($d=7.638$, $d=4.298$) и полуводный гипс, Å ($d=6.063$, $d=2.801$, $d=3.490$, $d=1.852$, $d=1.698$). Также учитывая то, что в оксидном составе добавки, полученной на второй стадии синтеза, обнаружено значительное содержание $Al_2O_3 - 10,98$, но в результате РФА не было обнаружено минералов, содержащих Al_2O_3 , можно предположить, что в добавке присутствует рентгеноаморфная фаза, содержащая гидроалюмосиликаты кальция [41].

На рисунке 4.3 представлены электронно-микроскопические снимки синтезируемых добавок, полученных на первой и второй стадиях синтеза.

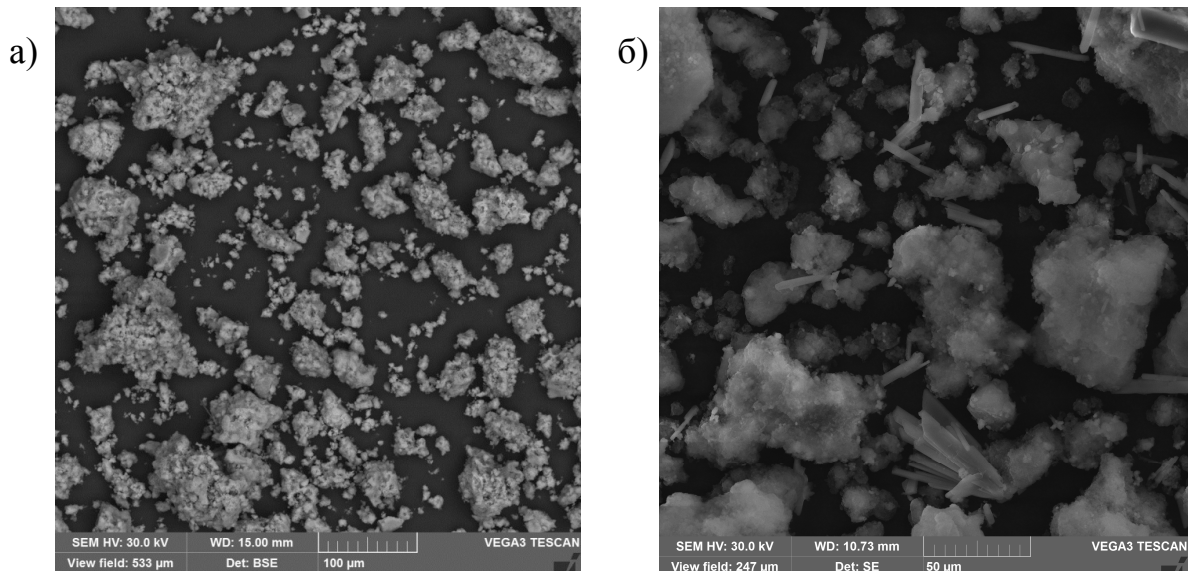


Рисунок 4.3 – Электронно-микроскопический снимок добавки: а – полученной на первой стадии синтеза; б – полученной на второй стадии синтеза

Анализ данных, представленных на рисунке 4.3, свидетельствует, что структура добавки состоит из частиц пластинчатой и игловатой форм различного размера.

Учитывая, что высокая пуццоланической активности по отношению к вяжущему является одним из основных требований, предъявляемых к модифицирующим добавкам, была оценена пуццоланическая активность добавок, полученных на первой и второй стадиях синтеза. Методика определения пуццоланической активности модифицирующих добавок основана на способности аморфного кремнезем поглощать известь из насыщенного известкового раствора, связывая ее в низкоосновные гидросиликаты кальция [6, 123]. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 4.4.

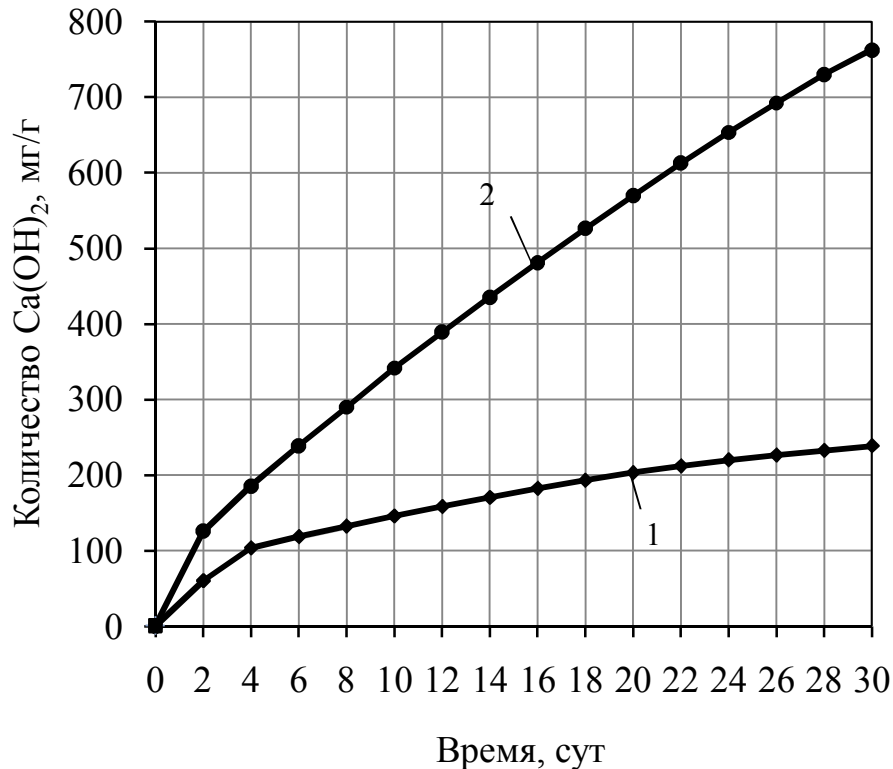


Рисунок 4.4 – Активность разработанных добавок по поглощению Ca(OH)₂ из известкового раствора: 1 – добавки, полученной на первой стадии синтеза; 2 – добавки, полученный на второй стадии синтеза

Установлено, что добавка, полученная на первой стадии синтеза, характеризуется довольно высокой пуццоланической активностью, составляющей 238,6 мг/г (рисунок 4.4, кривая 1). Пуццоланическая активность добавки,

полученной на второй стадии синтеза, выше в 3,2 раза и составляет 762,5 мг/г (рисунок 4.4, кривая 2).

Увеличение пуццоланической активности добавки, получаемой на второй стадии синтеза, можно объяснить появлением в ее составе гидроалюмосиликатов кальция и увеличением удельной поверхности добавки.

Эксперимент по определению пуццоланической активности для добавок, полученных на первой и второй стадиях, продолжали до того момента, когда количество гидроксида кальция, поглощенного добавками, не перестало увеличиваться. Добавка, полученная на первой стадии, продолжала активно поглощать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в течение 40 суток с начала эксперимента, затем скорость поглощения уменьшилась и спустя 90 суток с начала эксперимента активность достигла 285,0 мг/г. Добавка, полученная на второй стадии, продолжала активно поглощать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ значительно дольше, вплоть до 90 суток, при этом ее активность достигла 1280,0 мг/г.

4.2 Закономерности влияния добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция на свойства известковых композитов

Эффективность применения добавок, полученных на первой и второй стадиях, оценивали по изменению реологических свойств известковой смеси, а также по кинетике твердения. Пластическую прочность измеряли с помощью конического пластометра КП-3. В ходе проведения эксперимента по исследованию реологических свойств известковой смеси, содержание добавок, полученных на первых и второй стадиях синтеза, было принято равным 10 % от массы извести. Водоизвестковое отношение было принято равным $\text{В/И}=1,0$. Кривые кинетики набора пластической прочности приведены на рисунке 4.5.

Анализ пластограмм, представленных на рисунке 4.5, показал, что добавка, полученная на второй стадии синтеза, значительно ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси и спустя пять часов после затворения пластическая прочность составляет $\tau=30,7$ кПа (рисунок 4.5, кривая 3).

Пластическая прочность контрольного состава спустя пять часов составила $\tau=3,1$ кПа (рисунок 4.5, кривая 1). Добавка, полученная на первой стадии синтеза, ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси незначительно и спустя пять часов после затворения пластическая прочность составила $\tau=4,3$ кПа (рисунок 4.5, кривая 2) [68].

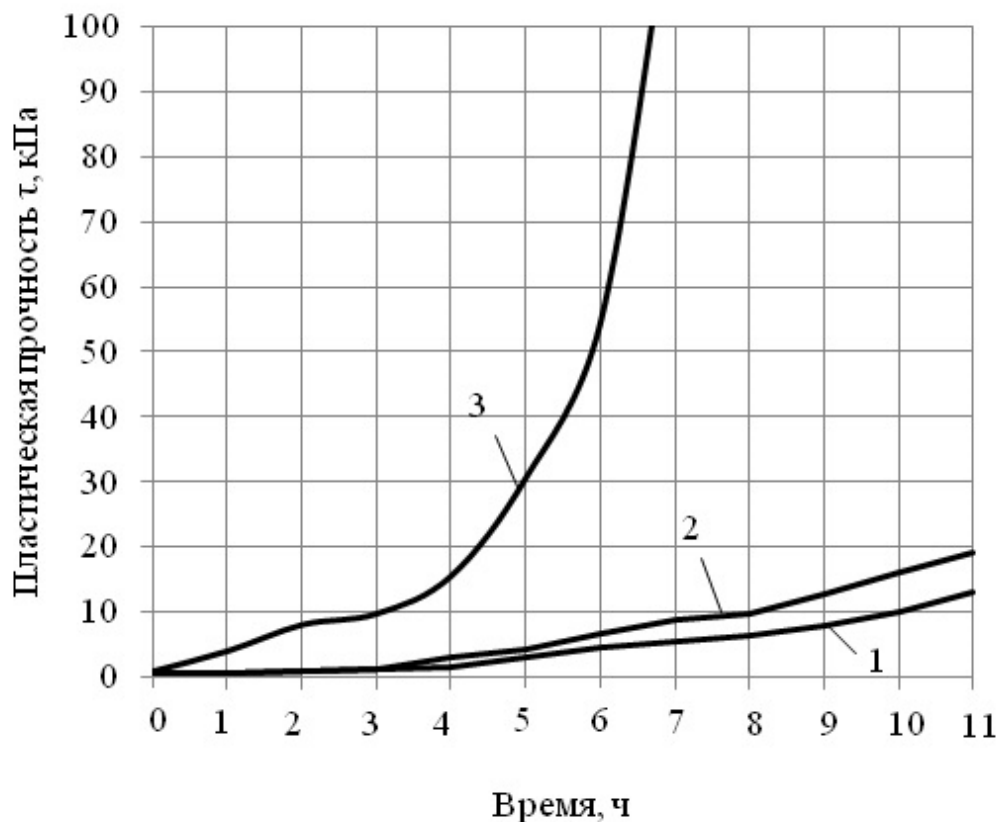


Рисунок 4.5 – Изменение пластической прочности известковой смеси: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза; 3 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза

Также для оценки эффективности применения добавок, полученных на первой и второй стадиях, исследовали кинетику набора прочности при сжатии получаемых с использованием добавок известковых композитов. В ходе проведения эксперимента по исследованию кинетики набора прочности при сжатии известковых композитов, содержание добавок, полученных на первой и второй стадиях синтеза, было принято равным 10 % от массы извести.

Водоизвестковое отношение было принято равным $V/I=1,0$. Результаты исследований представлены на рисунке 4.6.

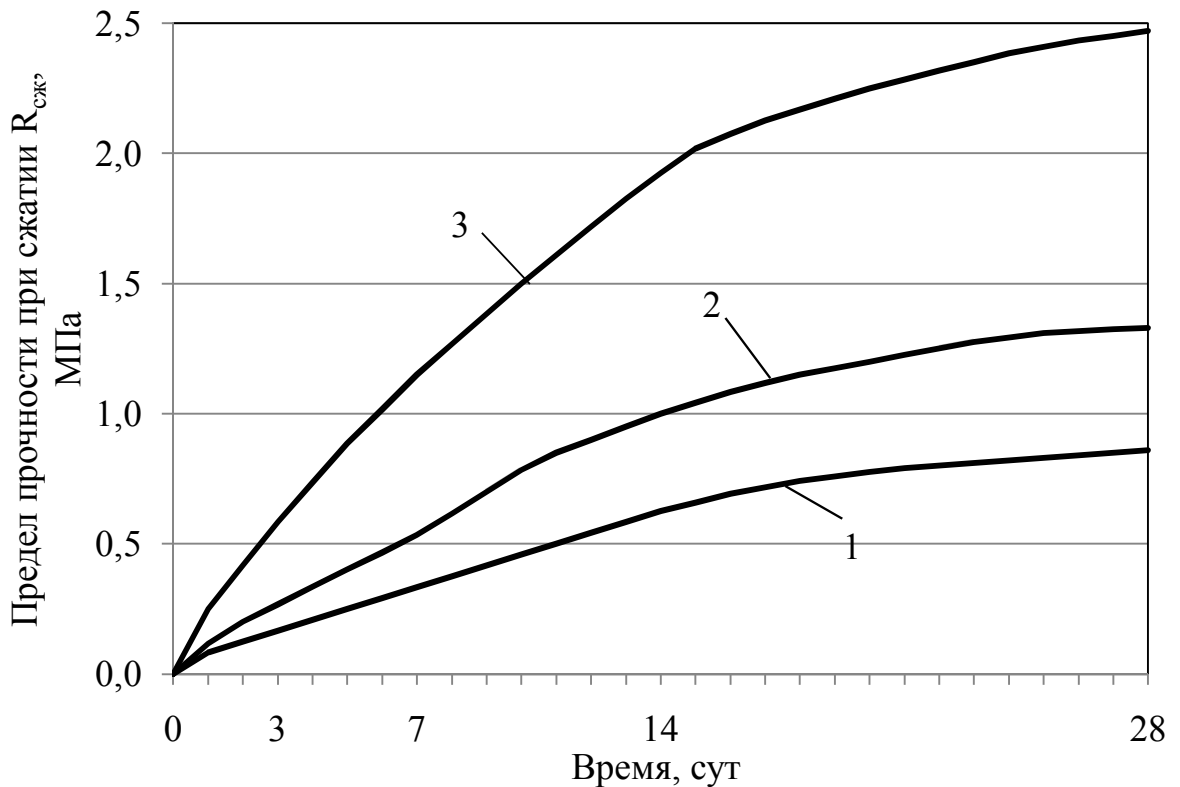


Рисунок 4.6 – Кинетика твердения известковых композитов: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза; 3 – состав с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза

При анализе экспериментальных данных, приведенных на рисунке 4.6, установлено, что введение в известковый состав разработанных добавок повышает прочность при сжатии получаемых известковых композитов. Введение в состав добавки, полученной на первой стадии синтеза, увеличивает прочность при сжатии образцов спустя 28 суток воздушно-сухого твердения на 54,7 % (рисунок 4.6, кривая 2) относительно контрольных образцов [79]. Введение в состав добавки, полученной на второй стадии синтеза, увеличивает прочность при сжатии образцов спустя 28 суток воздушно-сухого твердения на 187,2 % (рисунок 4.6, кривая 3) относительно контрольных образцов [79].

При этом выявлено, что в образцах, полученных с использованием разработанных добавок, снизилось содержание свободной извести по сравнению с

контрольными образцами. В известковых композитах после 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях содержание свободной извести составило 49,1 % (контрольный состав), в композитах с использованием добавки, полученной на первой стадии синтеза, содержание свободной извести составило 40,2 %, в композитах с использованием добавки, полученной на второй стадии синтеза, содержание свободной извести составило 28,6 % [122].

Представленные выше данные доказывают целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза. В дальнейшем в работе использовали добавку, полученную на второй стадии синтеза.

Был проведен ДТА анализ известковых образцов (контрольный состав) и известковых образцов, полученных с добавлением синтезируемой добавки с помощью установки «Термоскан-2». Анализ проводили в заданном интервале температур 20-1000 °С при скорости нагрева 5 °С/мин. На рисунке 4.7 представлены полученные в результате проведения эксперимента кривые дифференциально-термического анализа образцов.

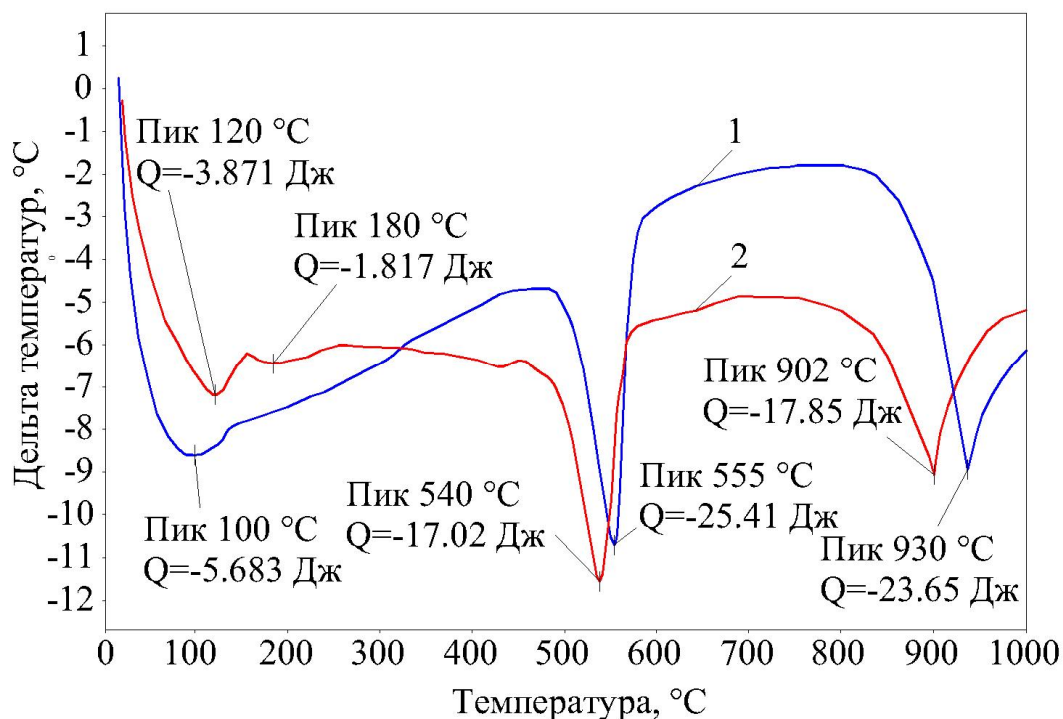


Рисунок 4.7 – Кривые дифференциально-термического анализа образцов: 1 – контрольный образец; 2 – образец с применением синтезированной добавки

При анализе кривых дифференциально-термического анализа образцов на обеих термограммах обнаружен тепловой эффект при температуре 80–150 °С, связанный с удалением из образцов свободной воды. На термограмме образца, полученного с использованием синтезированной добавки, наблюдается эндотермический эффект при температуре 150–210 °С, составляющий $Q=1,817$ Дж (рисунок 4.7, кривая 2), обусловленный дегидратацией двуводного гипса до полуводного. Интенсивный эндоэффект на обеих термограммах в интервале 500–560 °С связан с дегидратацией портландита. При сравнении термограмм выявлено, что тепловой эффект, связанный с дегидратацией портландита, в контрольных образцов больше и составляет $Q=25,41$ Дж (рисунок 4.7, кривая 2), что, видимо, вызвано большим содержанием в данных образцах портландита. Тепловой эффект при температуре 800–1000 °С характеризует диссоциацию кальцита в обоих образцах.

Для определения оптимального содержания полученной синтезируемой добавки в известковом составе исследовали кинетику набора прочности при сжатии получаемых с использованием добавки известковых композитов. Содержание добавки варьировалось от 0 до 15 %. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Прочность известкового композита с синтезируемой добавкой

Содержание добавки, % от массы извести	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа, сут		
	7	14	28
0	0,33	0,63	0,86
2	0,67	1,21	1,45
5	0,85	1,62	1,95
10	1,15	1,93	2,47
15	1,19	1,98	2,58

При анализе экспериментальных данных выявлено, что максимальный прирост прочности в известковых композитах наблюдается при использовании

синтезируемой добавки в количестве 15 % от массы извести. При этом прочность известковых композитов, полученных при использовании синтезируемой добавки в количестве 15 % от массы извести всего на 4,5 % выше прочности известковых композитов, полученных при использовании синтезируемой добавки в количестве 10 % от массы извести. Поэтому увеличение содержания синтезируемой добавки в рецептуре разрабатываемой ССС выше 10 % не целесообразно.

4.3 Исследование возможности применения отходов производства газобетона в рецептуре разрабатываемой теплоизоляционной сухой строительной смеси

Согласно закону сродства структур, использование в рецептуре разрабатываемой ССС материалов, близких по структуре к газобетону, позволит повысить сродство структуры получаемого отделочного покрытия и подложки – газобетона [42, 61, 62, 115]. При производстве газобетонных блоков образуется большое количество отходов (сырец от калибровки, дробленый брак). Исходя из закона сродства структур, предложено использовать размолотые отходы производства газобетона в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС.

Отходы производства газобетона размалывались в мельницах различной конструкции. Варьированием времени помола получили молотый газобетон с различной удельной поверхностью $S_{уд}$. Для выбора оптимальной тонкости помола и дозировки отходов производства газобетона оценивали влияние данных факторов на прочность известковых композитов. Содержание молотого газобетона изменяли от 0 до 30 % от массы извести. Результаты исследований представлены на рисунке 4.8.

Установлено, что при использовании размолотых отходов производства газобетона повышается прочность получаемых растворных композитов. Выявлено, что при увеличении тонкости помола молотого газобетона повышается прочность известковых композитов. При добавлении молотого газобетона в количестве 20 % от массы извести прирост прочности максимальный и в зависимости от тонкости помола газобетона составляет от 19 до 35 % (рисунок

4.8) [69]. Дальнейшее увеличение содержания молотого газобетона вызывает снижение прочности.

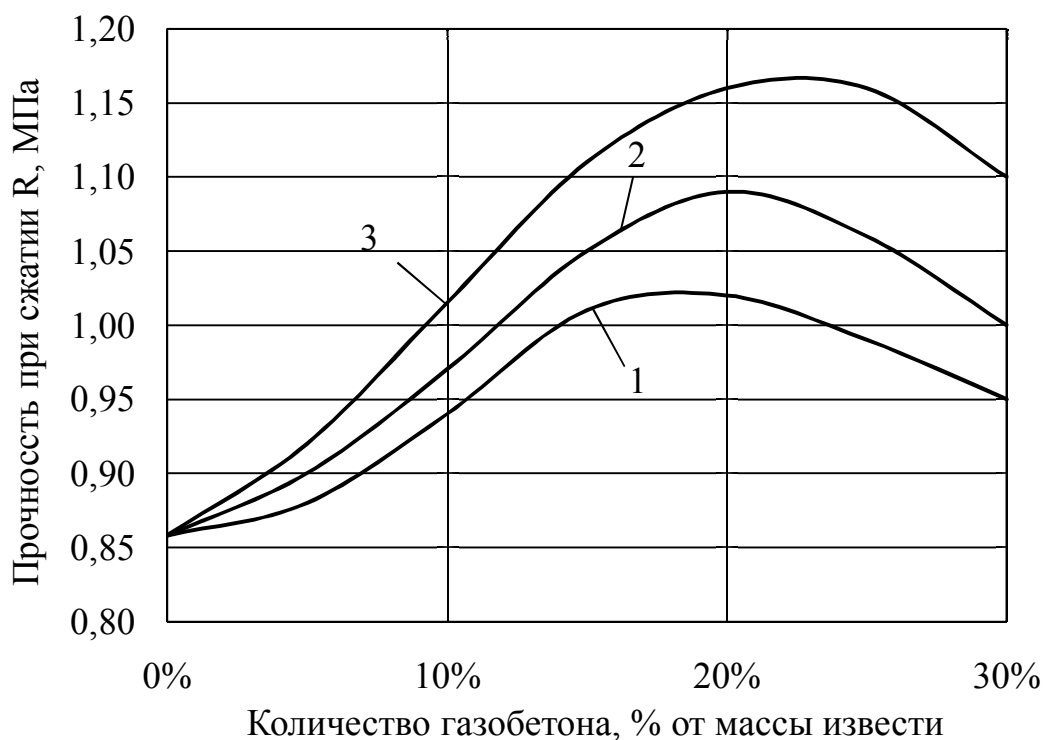


Рисунок 4.8 – Зависимость прочности при сжатии растворяемых композитов от количества используемых молотых отходов производства газобетона, В/И=1: 1 – удельная поверхность молотого газобетона $S_{уд}=375 \text{ м}^2/\text{кг}$; 2 – удельная поверхность молотого газобетона $S_{уд}=635 \text{ м}^2/\text{кг}$; 3 – удельная поверхность молотого газобетона $S_{уд}=1082 \text{ м}^2/\text{кг}$

Эффективность применения размолотых отходов производства газобетона также оценивали по изменению реологических свойств получаемой растворной смеси. Содержание молотого газобетона составляла 20 % от массы извести. Результаты исследований представлены на рисунке 4.9.

В результате анализа пластограмм, представленных на рисунке 4.9, установлено, что растворная смесь с добавлением молотого газобетона характеризуется ускоренным набором пластической прочности. При этом выявлено, что с увеличением тонкости помола молотого газобетона скорость набора пластической прочности растворной смеси увеличивается. Спустя девять часов после затворения пластическая прочность контрольного состава была равна

$\tau=0,70$ кПа (рисунок 4.9, кривая 1), состава с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=375$ м²/кг составила $\tau=2,90$ кПа (рисунок 4.9, кривая 2), состава с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=635$ м²/кг – $\tau=5,02$ кПа (рисунок 4.9, кривая 3), состава с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=1082$ м²/кг – $\tau=8,48$ кПа (рисунок 4.9, кривая 4) [69].

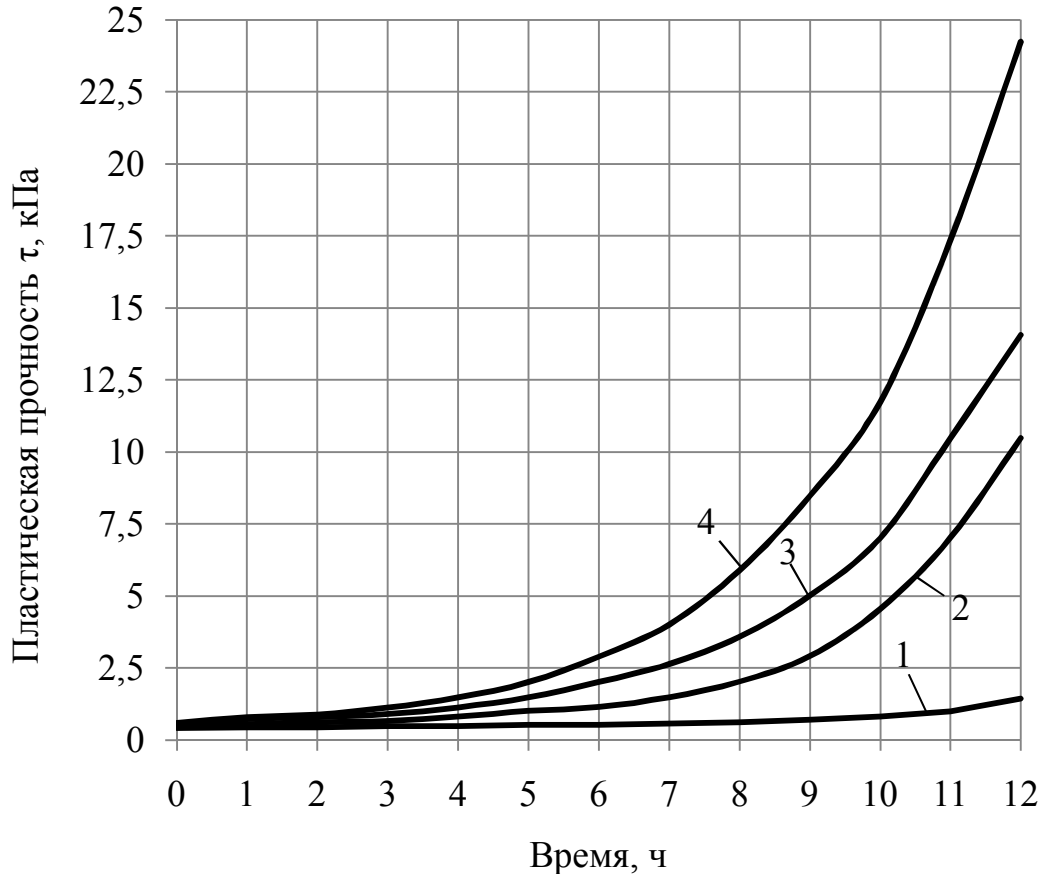


Рисунок 4.9 – Изменение пластической прочности растворной смеси, В/И=1: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=375$ м²/кг; 3 – состав с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=635$ м²/кг; 4 – состав с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=1082$ м²/кг

В дальнейшем в работе использовали молотый газобетон с удельной поверхностью $S_{уд}=635$ м²/кг при его содержание в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС в количестве 20 % от массы извести. Молотый газобетон

с удельной поверхностью $S_{уд}=1028 \text{ м}^2/\text{кг}$ не использовали, т.к. его измельчение до данного размера связано со значительными энергетическими затратами.

4.4 Реологические и технологические свойства разрабатываемой теплоизоляционной сухой строительной смеси

Разрабатываемую теплоизоляционную ССС предлагается использовать как для внутренней, так и для наружной отделки стен. Поэтому покрытия на основе разрабатываемой ССС должны быть водостойкими, то есть их коэффициент размягчения должен составлять не менее 0,80.

Установлено, коэффициент размягчения $K_{разм}$ контрольных образцов на основе извести составляет 0,35. Добавление в известковый состав 10 % синтезируемой добавки позволяет повысить водостойкость известкового состава. Водостойкость полученных композитов составила $K_{разм}=0,77$. Для повышения водостойкости получаемых композитов до нормативной было принято решение использовать в составе разрабатываемой ССС белый цемент.

Для оценки эффективности применения в составе разрабатываемой ССС белого цемента и определения оптимальной его дозировки были определены прочность при сжатии и водостойкость получаемых с использованием разрабатываемой добавки и белого цемента растворных композитов. При этом содержание белого цемента варьировалось от 0 до 30 % от массы извести. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 4.10.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что использование в составе разрабатываемой ССС белого цемента позволяет повысить прочность получаемых растворных композитов. Оптимальным содержанием белого цемента в составе ССС было принято 20 % от массы извести, т.к. при дальнейшем увеличении содержания белого цемента рост прочности не значителен. Кроме того увеличение содержания белого цемента выше 20 % может привести к значительному снижению паропроницаемости, увеличению плотности и теплопроводности покрытий на основе разрабатываемой ССС.

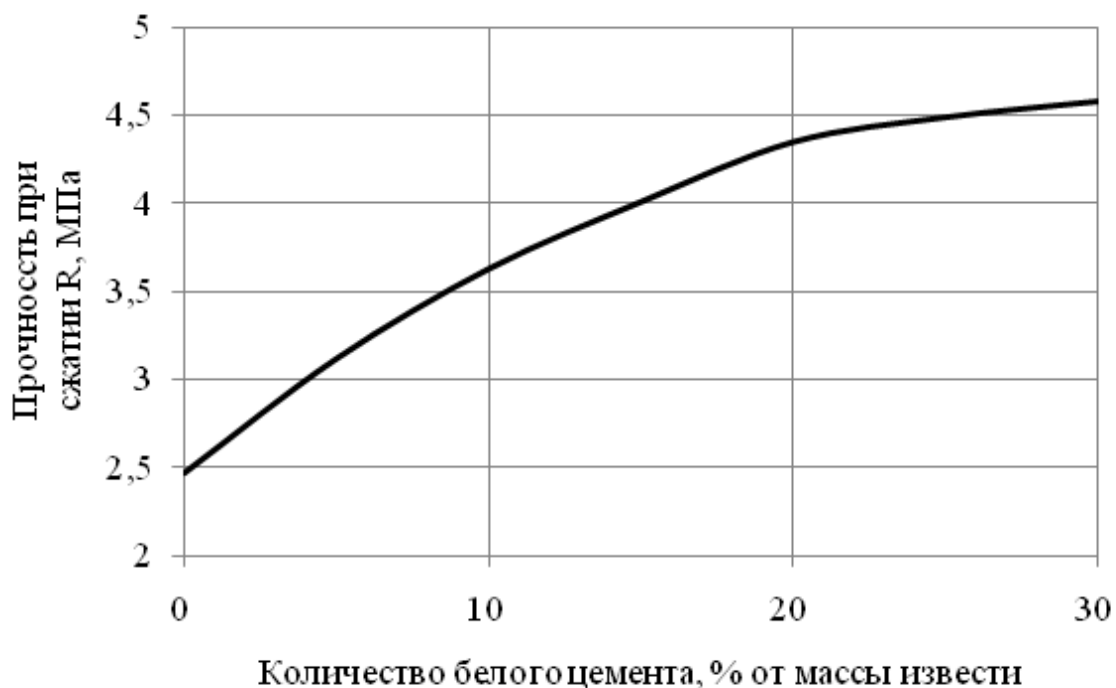


Рисунок 4.10 – Зависимость прочности при сжатии растворных композитов от содержания белого цемента

Добавлением в известковый состав одновременно синтезируемой добавки и белого цемента в количестве 20 % от массы извести позволяет повысить водостойкость отделочного состава и увеличить $K_{разм}$ полученных композитов до 0,84.

Исходя из того, что разрабатываемый состав, включающий известь, модифицирующую добавку, белый цемент и молотые отходы производства газобетона, характеризуется достаточно быстрым набором пластической прочности, для замедления структурообразования предложено включить в него дополнительно пластифицирующую добавку. Различные пластифицирующие добавки вводились в количестве 1 % от массы извести. Водоизвестковое отношение В/И было принято равным 1,0. Результаты исследований представлены на рисунке 4.11.

Анализ пластограмм (рисунок 4.11) показал, что использование пластифицирующих добавок позволяет снизить скорость структурообразованию. Так, в возрасте трех часов с момента затворения пластическая прочность состава с

добавкой Melflux 2651 F составила $\tau = 0,66$ кПа (рисунок 4.11, кривая 2), а состава без пластифицирующих добавок $\tau = 38,03$ кПа (рисунок 4.11, кривая 1).

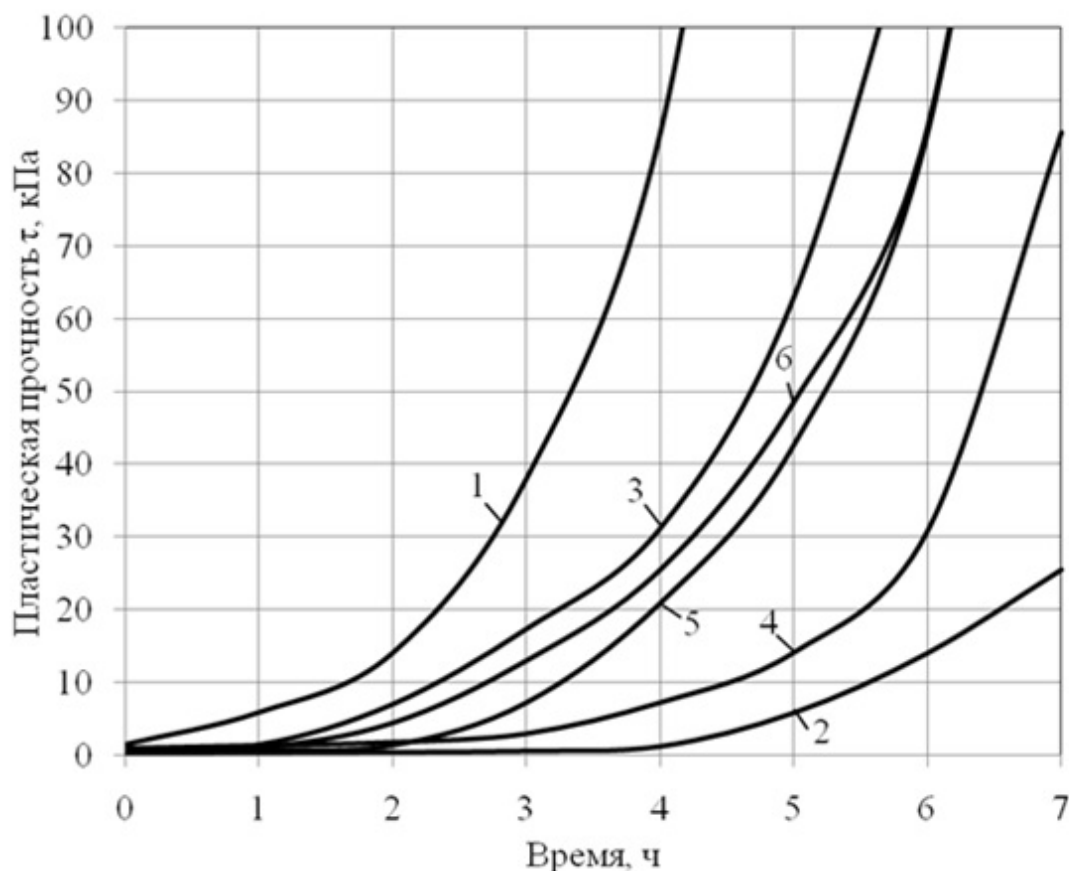


Рисунок 4.11 – Изменение пластической прочности растворной смеси с добавлением различных пластифицирующих добавок: 1 – разрабатываемый состав (известь, белый цемент, модифицирующая добавка, молотые отходы производства газобетона); 2 – разрабатываемый состав с добавкой Melflux 2651 F; 3 – разрабатываемый состав с добавкой С-3; 4 – разрабатываемый состав с добавкой Melment F 15; 5 – разрабатываемый состав с добавкой Sika-3180; 6 – разрабатываемый состав с добавкой Кратасол ПФМ

Пластическая прочность спустя три часа после затворения состава с добавкой С-3 составила $\tau = 17,36$ кПа (рисунок 4.11, кривая 3), состава с добавкой Melment F 15 составила $\tau = 2,90$ кПа (рисунок 4.11, кривая 4), состава с добавкой Sika-3180 составила $\tau = 7,17$ кПа (рисунок 4.11, кривая 5), состава с добавкой Кратасол ПФМ составила $\tau = 13,06$ кПа (рисунок 4.11, кривая 6).

Приведенные данные (рисунок 4.11) свидетельствуют, что добавки на основе поликарбоксилатов (Melflux 2651 F, Melment F 15, Sika-3180) обеспечивают больший пластифицирующий эффект относительно добавок на основе лигносульфоната нафталина (С-3, Кратасол ПФМ). Это подтверждается полученными значениями водоредуцирующих эффектов, приведенными в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Значение водоредуцирующего коэффициента

Наименование пластификатора	Содержание добавки, % от массы извести	
	0,7	1,0
Melflux 2651 F	1,49	1,58
Melment F 15	1,31	1,38
Кратасол ПФМ	1,21	1,26
Sika-3180	1,27	1,34
С-3	1,24	1,29

Учитывая, что добавка Melflux 2651 F показала наилучший пластифицирующий эффект, было принято решение использовать ее в дальнейшем при разработке теплоизоляционной ССС.

Для улучшения когезионных и адгезионных свойств и увеличения прочности разрабатываемых покрытий, в рецептуру ССС предложено вводить редиспергируемые порошки. Для оценки эффективности применения различных редиспергируемых порошков в составе разрабатываемой ССС измеряли прочность при сжатии спустя 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях растворных композитов, полученных на основе следующего состава: известь-пушонка; синтезируемая добавка в количестве 10 % от массы извести, 20% белый цемент в количестве 20 % от массы извести, молотые отходы производства газобетона в количестве 20 % от массы извести, пластификатора Melflux 2651 F в количестве 1 % от массы извести, редиспергируемый порошок в количестве 5 % от массы извести. Результаты проведенных исследований сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Прочность при сжатии растворных композитов

Наименование ретиспергируемого порошка	Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа
Контрольный состав (без ретиспергируемого порошка)	4,35
Neolith 7200	5,30
VINNAPAS 5044 N	5,21
VINNAPAS 8031 H	5,67

Наибольшую прочность после 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях, составляющую $R_{сж} = 5,67$ МПа, показал композит с добавкой VINNAPAS 8031 H в количестве 5 % от массы извести. Ретиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 H использовали в работе дальнейшем при разработке состава теплоизоляционной ССС.

Выводы по главе 4

1. Предложено использовать в теплоизоляционных ССС модифицирующую добавку, получаемую по двустадийной технологии синтеза. Определен химический и минералогический состав добавок, получаемых на первой и второй стадии синтеза модифицирующей добавки. Установлено, что в составе добавки, полученной на первой стадии синтеза, преобладают оксиды SiO_2 , CaO , Na_2O . Минералогический состав добавки, полученной на первой стадии синтеза, в основном представлен гидросиликатами тоберморитовой группы. В составе добавки, полученной на второй стадии синтеза при сохранение значительного доли оксидов SiO_2 , CaO , Na_2O дополнительно обнаружены оксиды Al_2O_3 , и SO_3 . Минералогический состав добавки, полученной на второй стадии синтеза, представлен гидросиликатами тоберморитовой группы, гипсом, гидроалюмосиликатами кальция.

2. Доказана целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза модифицирующей добавки. Определена пуццоланическая активность добавок, полученных после первой и второй стадии, методом поглощения извести из известкового раствора. Установлено, что добавка, полученная после первой стадии синтеза, характеризуется пуццоланической активностью, составляющей 238,6 мг/г. Пуццоланическая активность добавки, полученной после второй стадии синтеза, выше в 3,2 раза и составляет 762,5 мг/г. Установлены закономерности твердения известковых растворов в присутствии добавок, полученных на первой и второй стадиях синтеза. Выявлено, что введение в состав добавки, полученной на первой стадии синтеза, повышает прочность при сжатии известковых композитов в 1,55 раза. Введение в состав добавки, полученной на второй стадии синтеза, повышает прочность при сжатии известковых композитов в 2,87 раза. Установлено, что добавка, полученная на второй стадии синтеза, ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси через пять часов после затворения в 9,9 раза. Подобрана оптимальная концентрация предлагаемой модифицирующей добавки, составляющая 10 % от массы извести.

3. Обоснована целесообразность применения в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС размолотых отходов производства газобетона. Определена оптимальная тонкость помола молотого газобетона и его дозировка, составляющая 20 % от массы извести.

4. Для регулирования структурообразования разрабатываемого состава ССС предложено включить в его рецептуру пластифицирующую добавку на основе поликарбоксилатных эфиров Melflux 2651 F. Значение водоредуцирующего коэффициента при использовании добавки Melflux 2651 F в количестве 1 % от массы извести составило 1,58. Оценена эффективность использования различных редиспергируемых порошков в составе разрабатываемой ССС. Установлено что добавка VINNAPAS 8031 H позволяет на 30 % повысить прочность получаемых композитов.

Глава 5. Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе теплоизоляционной сухой строительной смеси

5.1 Гидрофизические свойства теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов

Физико-механические свойства отделочных покрытий в значительной степени зависят от их капиллярно-пористой структуры. Ее особенности определяют характер взаимодействия материала с влагой, проникающей в покрытие при его нахождении в воздушно-влажной среде. Также влага может попадать в материал покрытия в результате непосредственного контакта с водой из-за действия косых дождей.

Для выбора наиболее эффективного высокопористого наполнителя для разрабатываемой теплоизоляционной ССС были исследованы гидрофизические свойства получаемых покрытий. В качестве высокопористых наполнителей использованы ПСМ, ЗМА, ВВП, ВПП. Наполнители взяты в количестве 40 % от массы извести. Проведена оценка кинетики водопоглощения покрытий. Определены коэффициенты диффузии влаги D , $\text{м}^2/\text{с}$, коэффициенты паропроницаемости μ , $\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$, коэффициенты размягчения $K_{\text{разм}}$, и оценена способность покрытий противостоять воздействию косых дождей.

Зависимость водопоглощения по массе покрытий W_m от времени влагонасыщения представлена на рисунке. 5.1.

Установлено, что композиты, наполненные ВВП и ВПП, характеризуются высокими значениями водопоглощения по массе W_m . После 24 часов водонасыщения для композитов, наполненных ВПП, водопоглощение по массе составило $W_m = 50,64 \%$ (рисунок 5.1 кривая 3), для композитов наполненных ВВП, водопоглощение по массе составило $W_m = 69,11 \%$ (рисунок 5.1 кривая 4) [66].

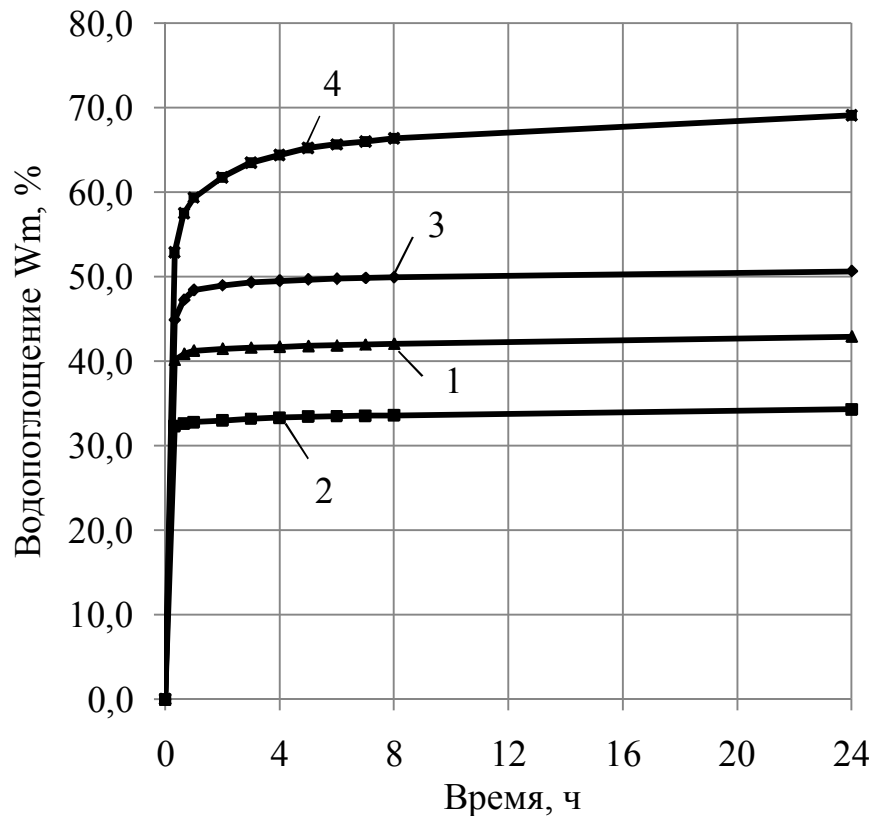


Рисунок 5.1 – Кинетика водопоглощения покрытий: 1 – ПСП; 2 – ЗМА; 3 – ВПП; 4 – ВВП

Композиты, наполненные ПСП и ЗМА, характеризуются более низкими значениями водопоглощения по массе W_m . После 24 часов водонасыщения для композитов, наполненных ЗМА, водопоглощение по массе составило $W_m = 34,31$ % (рисунок 5.1 кривая 2), для композитов, наполненных ПСП, водопоглощение по массе составило $W_m = 42,92$ % (рисунок 5.1 кривая 1). У всех образцов покрытий основной рост водопоглощения по массе W_m наблюдался в первые 20 минут влагонасыщения за счет насыщения водой мелких капиллярных пор. В дальнейшем в основном заполнялись водой условно-замкнутые сферические поры и скорость водопоглощения значительно замедлилась [66].

В ходе эксплуатации здания в месте контакта отделочного покрытия с конструкцией стены может происходить образование конденсата. Из-за этого снижается срок службы данного покрытия, на его поверхности появляются трещины и иные повреждения. Для предотвращения конденсации влаги материалы, применяемые для отделки стен, должны обладать достаточно высокой

паропроницаемостью. Но с ростом коэффициента паропроницаемости μ у данных материалов, как правило, увеличивается коэффициент диффузии влаги D , что является одной из причин снижения водостойкости получаемых покрытий. Поэтому материалы, используемые для отделки газобетона, должны обладать коэффициентом паропроницаемости μ , близким к коэффициенту паропроницаемости μ газобетона, и высокой водостойкостью, позволяющей применять их для наружной отделки стен зданий.

В работе были определены коэффициент диффузии влаги D , коэффициенты паропроницаемости μ , коэффициент размягчения, $K_{\text{разм}}$ для отделочных покрытий, наполненных различными высокопористыми наполнителями. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Гидрофизические свойства покрытий

Наполнитель	Характеристика		
	Коэффициент диффузии влаги, $D \cdot 10^{-9}, \text{ м}^2/\text{с}$	Коэффициент паропроницаемости, $\mu, \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$	Коэффициент размягчения, $K_{\text{разм}}$
ПСМ	4,19	0,157	0,82
ЗМА	3,43	0,154	0,84
ВВП	7,67	0,202	0,67
ВПП	5,88	0,186	0,72

В покрытиях, наполненных ПСМ и ЗМА, преобладает закрытая пористость (глава 3), поэтому данные покрытия характеризуются большей водостойкостью по сравнению с покрытиями, наполненными ВВП и ВПП

Используемые для наружной отделки газобетона материалы должны обеспечивать защиту стены от воздействия влаги в результате косых дождей. Отдача влаги отделочным покрытием за счет диффузии должна быть выше его возможного капиллярного водопоглощения. Способность разрабатываемых отделочных покрытий защищать стену от воздействия косых дождей оценивали

согласно DIN 4108-3-2014 [138]. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Свойства, характеризующие способность покрытий противостоять воздействию косых дождей

Характеристика	Нормативные требования *	Наполнитель			
		ПСМ	ЗМА	ВВП	ВПП
Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{\text{КП}}$, кг/(м ² · ч ^{0,5})	Не более 0,5	0,449	0,376	0,912	0,764
Эквивалентный воздушный промежуток S_d , м	Не более 2,0	0,080	0,081	0,062	0,067
$W_{\text{КП}} \cdot S_d$, кг/(м · ч ^{0,5})	Не более 2,0	0,036	0,031	0,056	0,051

Примечание. * по DIN 4108-3-2014

Для наружной отделки газобетона допускается использовать отделочные составы, характеризующиеся водопоглощением при капиллярном подсосе $W_{\text{КП}}$ не более 0,5 кг/(м · ч^{0,5}) [102]. Покрытия, наполненные ПСМ и ЗМА, относятся к классу водоотталкивающих, что позволяет использовать данные покрытия для наружной отделки газобетона. Покрытия, наполненные ВВП и ВПП, относятся к классу водостойких.

5.2 Трещиностойкость теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов

Трещиностойкость отделочных покрытий является одним из важных показателей, позволяющим оценить их долговечность. Главная причина появления трещин в теплоизоляционных покрытиях – значительные усадочные деформации. Они возникают из-за высокой водопотребности отделочных составов, в которых в качестве наполнителей используются материалы с высокой

открытой микропористостью, такие как ВПП и ВВП. Использование в качестве наполнителей в составе теплоизоляционных ССС для отделки газобетона ПСМ и ЗМА позволяет снизить водопотребность получаемых отделочных составов (глава 3). Поэтому использование данных наполнителей должно увеличить трещиностойкость разрабатываемых отделочных покрытий.

В работе была оценена трещиностойкость покрытий, получаемых с использованием разрабатываемой теплоизоляционной ССС, в составе которой использованы различные высокопористые наполнители. Трещиностойкость покрытий оценивали по значениям усадочных деформаций и значению предельной растяжимости.

Измерение усадочных деформаций образцов проводили с помощью оптического компаратора ИЗА-2. Результаты исследований представлены на рисунке 5.2 [72].

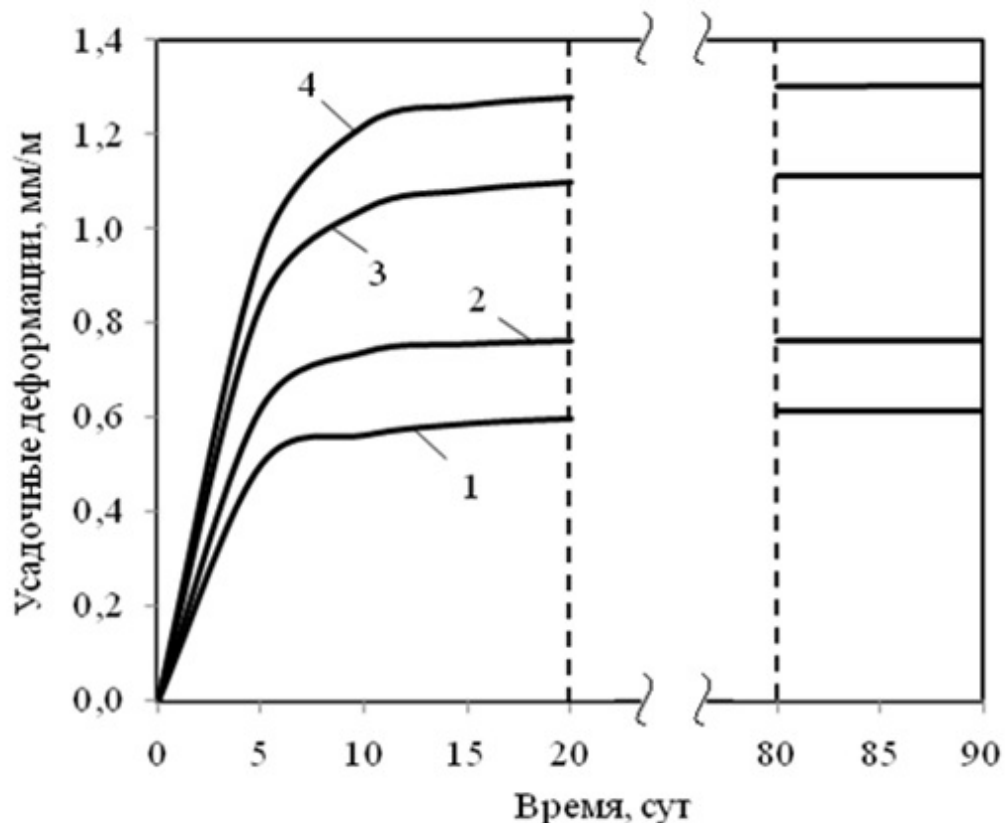


Рисунок 5.2 – Изменения усадочных деформаций покрытий: 1 – ПСМ; 2 – ЗМА; 3 – ВПП; 4 – ВВП

Установлено, что наиболее интенсивный рост усадочных деформаций образцов покрытий с применением ПСМ (рисунок 5.2, кривая 1) и ЗМА (рисунок 5.2, кривая 2) происходит в течение первых шести суток твердения, после чего наблюдается стабилизация. Усадочные деформации спустя 90 суток у покрытий, наполненных ПСМ, составили $\varepsilon_{yc} = 0,62$ мм/м, у покрытий наполненных ЗМА, составили $\varepsilon_{yc} = 0,74$ мм/м.

У образцов с применением ВВП (рисунок 5.2, кривая 4) и ВПП (рисунок 5.2, кривая 3) стабилизация роста усадочных деформаций наблюдается только после 11 суток твердения. При этом у композитов, наполненных ВВП и ВПП, усадочные деформации значительно выше и спустя 90 суток их величина составила $\varepsilon_{yc} = 1,30$ мм/м и $\varepsilon_{yc} = 1,11$ мм/м соответственно [72].

Значения предельной растяжимости и когезионной прочности образцов покрытий определяли при помощи разрывной машине ИР 5057-50. Результаты экспериментов представлены на рисунке 5.3.

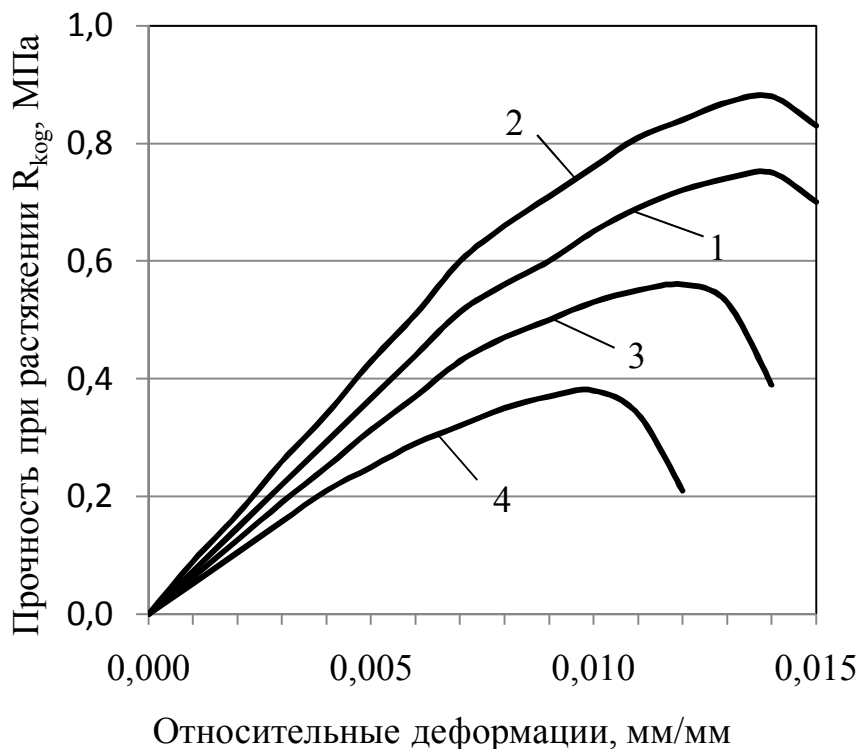


Рисунок 5.3 – Изменение относительных деформаций при растяжении образцов покрытий; 1 – ПСМ; 2 – ЗМА; 3 – ВПП; 4 – ВВП

Установлено, что образцы покрытий, полученные с использованием в качестве наполнителя ВВП (рисунок 5.3, кривая 4) и ВПП (рисунок 5.3, кривая 3), характеризуются меньшей прочностью при растяжении, составляющей $R_{\text{ког}}=0,38$ МПа и $R_{\text{ког}}=0,56$ МПа соответственно. Снижение прочности покрытий вызвано неравномерным распределением концентраций напряжений вокруг частиц данных наполнителей из-за их сложной не изометрической формы. Большую прочность показали образцы на основе составов, наполненных ПСМ (рисунок 5.3, кривая 1) и ЗМА (рисунок 5.3, кривая 2). Прочность при растяжении образцов на основе состава, наполненного ПСМ, составила $R_{\text{ког}}=0,75$ МПа, на основе состава, наполненного ЗМА, – $R_{\text{ког}}=0,88$.

Для оценки трещиностойкости покрытий использовали коэффициент трещиностойкости $K_{\text{тр}}$, определяемый по формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{\varepsilon_{\text{пред}}}{\varepsilon_{\text{ус}}}, \quad (5.1)$$

где $\varepsilon_{\text{пред}}$ – предельная растяжимость, мм/мм;

$\varepsilon_{\text{ус}}$ – усадочные деформации в процессе твердения, мм/мм.

Модуль упругости $E_{\text{упр}}$ разрабатываемых отделочных покрытий вычисляли по диаграмме «напряжение – деформация». Для этого определяли тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы.

Деформативные свойства покрытий на основе разрабатываемого состава теплоизоляционной ССС приведены в таблице 5.3.

Данные, приведенные в таблице 5.3, показывают, что за счет использования в качестве наполнителей ПСМ и ЗМА возможно увеличить трещиностойкость получаемых отделочных покрытий за счет снижения усадочных деформаций в процессе твердения, увеличения предельной растяжимости и когезионной прочности отделочного покрытия.

Таблица 5.3 – Деформативные свойства покрытий

Наполнитель	Относительные деформации			Модуль упругости при растяжении $E_{упр}$, МПа	Прочность при растяжении $R_{ког}$, МПа	Коэффициент трещиностойкости $K_{тр}$
	$\epsilon_{упр}$ мм/мм	$\epsilon_{пл}$ мм/мм	$\epsilon_{пред}$ мм/мм			
ПСМ	0,007	0,009	0,016	73,33	0,75	26,1
ЗМА	0,007	0,009	0,016	85,71	0,88	20,9
ВПП	0,06	0,08	0,014	61,67	0,56	12,6
ВВП	0,004	0,008	0,012	52,50	0,38	9,21

При наполнении теплоизоляционного композита легкими высокопористыми материалами снижается его прочность при сжатии и плотность. Для выбора оптимального содержания исследуемых высокопористых наполнителей был проведен следующий эксперимент. Изготавливали образцы отделочных покрытий с различным содержанием высокопористых наполнителей. Спустя 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях определяли прочность при сжатии и среднюю плотность растворных композитов. Затем определяли удельную прочность. Результаты исследований приведены на рисунке 5.4.

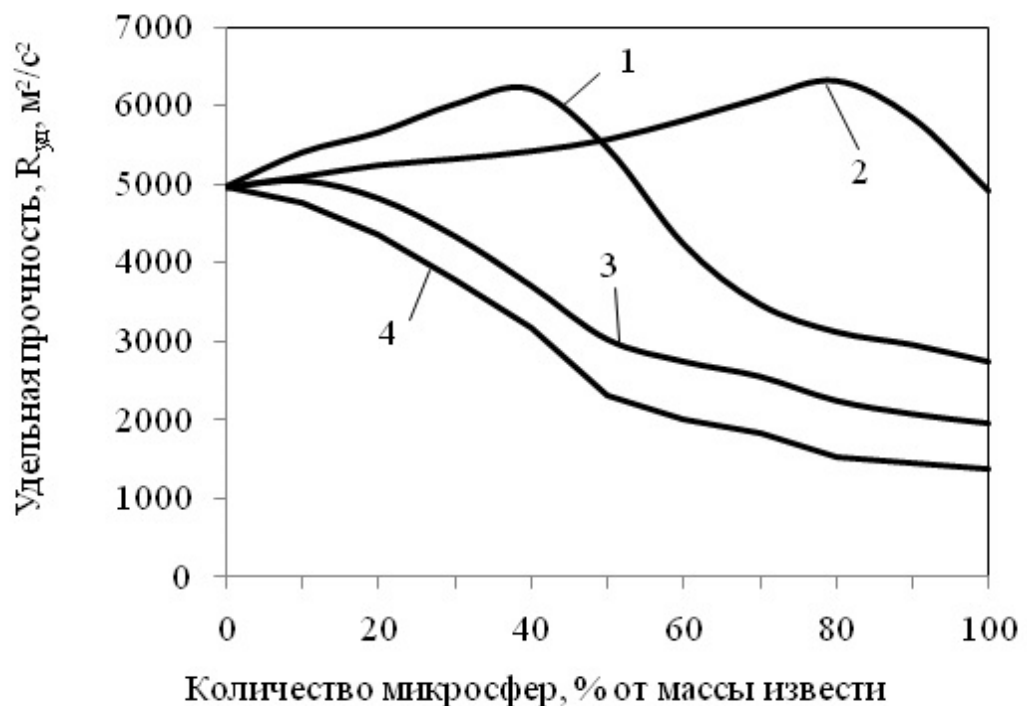


Рисунок 5.4 – Зависимость удельной прочности растворных композитов от содержания наполнителей: 1 – ПСМ, 2 – ЗМА, 3 – ВПП, 4 – ВВП

Установлено, что композиты, полученные с использованием ПСМ и ЗМА, характеризуются большей удельной прочностью по сравнению с композитами, полученными с использованием ВВП и ВПП. При росте содержания ПСМ от 0 до 40 % наблюдается рост удельной прочности получаемых растворных композитов (рисунок 5.4, кривая 1). При содержании ПСМ в составе ССС в количестве 40 % от массы извести прирост максимальный и составляет 24,9 %. Дальнейшее увеличение количества ПСМ вызывает сброс удельной прочности из-за нехватки

вяжущего для создания устойчивого конгломерата. Такая же закономерность наблюдалась и для растворных композитов, полученных с использованием в качестве наполнителей ЗМА. Максимальный прирост удельной прочности, равный 26,9 %, наблюдалась при содержании ЗМА 80 % от массы извести (рисунок 5.4, кривая 2). Наполнение состава высокопористыми наполнителями с высокой влагоемкостью приводит к снижению удельной прочности композитов. Использование ВПП в составе ССС в количестве 40 % от массы извести снижает удельную прочность на 25,3 % (рисунок 5.3, кривая 3), использование ВВП в количестве 40 % от массы извести снижает удельную прочность на 36,0 % (рисунок 5.3, кривая 4).

Данные, приведенные в п. 5.1 – 5.2 данной работы, доказывают более высокую эффективность использования в качестве высокопористых наполнителей в разработанной ССС для отделки газобетона ПСМ и ЗМА, по сравнению с ВПП и ВВП. Подобрана оптимальная дозировка в разработанной ССС ПСМ, равная 40 % от массы извести. Подобрана оптимальная дозировка в разработанной ССС ЗМА, равная 80 % от массы извести.

5.3 Оценка влияния отделочных покрытий на основе разрабатываемых составов на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции

В течение всего периода эксплуатации стен из газобетона часто можно наблюдать отслоение фрагментов наружного отделочного покрытия и фиксировать появление на поверхности покрытия сетки из мелких волосяных трещин. Конденсация влаги на границе штукатурка – газобетон является причиной частичного разрушения отделочного покрытия. В ходе эксплуатации стены материалы в составе ее конструкции увлажняются из-за диффузии водяного пара и влаги через ограждения, а также из-за сорбции водяных паров и влаги в капельно-жидком состоянии. Степень увлажнения материалов стеновой конструкции зависит от конструктивного исполнения ограждающей конструкции,

от климатической зоны, в которой расположено здание, и от влажностного режима внутри помещения.

Для снижения вероятности появления влаги и минимизации количества конденсирующейся влаги в толще ограждающей конструкции, каждый последующий слой в наружной стене в направлении от внутренней к наружной поверхности должен обладать большей паропроницаемостью и меньшей теплопроводностью по сравнению с предыдущим [84]. Избытки влаги в стене из газобетона чаще всего возникают из-за использования для наружной отделки отделочных покрытий, имеющих высокие значения сопротивления паропроницанию и низкие значения сопротивления теплопередаче [8, 10, 54].

В работе представлены результаты оценки влияния вида наружного отделочного покрытия на изменение влажностного режима газобетонной стены на примере г. Пенза.

Расчетные параметры наружного воздуха приняты в соответствие с требованиями «СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99» [113]:

- средняя температура отопительного периода $t_{on} = -4,1$ °С;
- продолжительность отопительного периода $z_{om} = 200$ сут;
- средняя температура декабря $t_{дек} = -7,8$ °С;
- средняя температура января $t_{янв} = -9,8$ °С;
- средняя температура февраля $t_{дек} = -9,7$ °С;
- средняя влажность наиболее холодного месяца $\varphi_{х.м.} = 83$ %.

Расчетные параметры внутреннего воздуха приняты по «СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» для жилых зданий [112]:

- расчетная температура внутреннего воздуха $t_e = 20,0$ °С;
- относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_v = 55$ %.

Расчетная схема конструкции исследуемой стены представлена на рисунке 5.5.

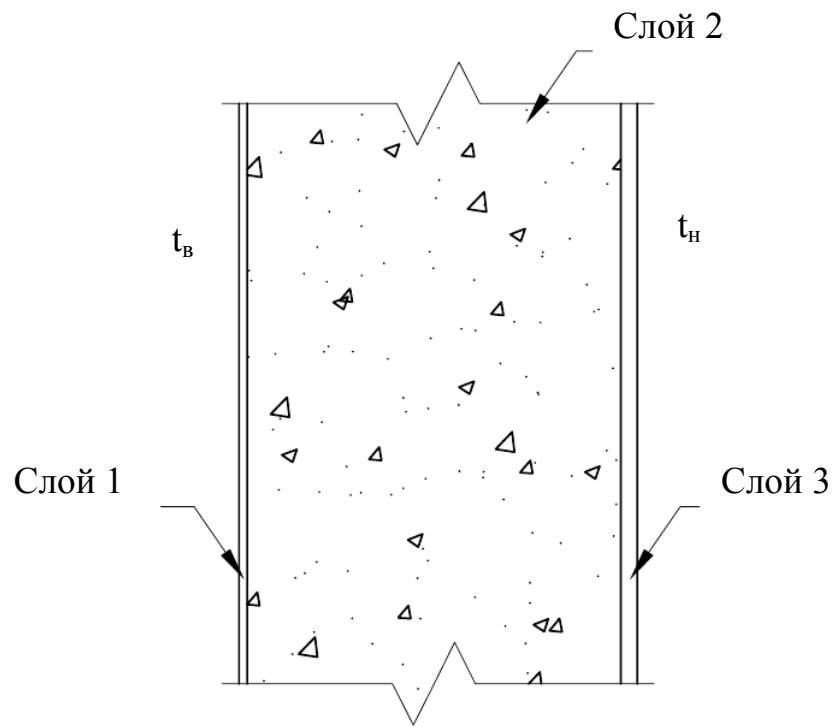


Рисунок 5.5 – Расчетная схема ограждающей конструкции стены

В ходе исследования в качестве внутреннего отделочного слоя (рисунок 5.5, слой 1) для всех вариантов была принята цементно-шлаковая штукатурка. В качестве основного материала стены (рисунок 5.5, слой 2) принимали газобетонные блоки различных марок: D350, D400, D500, D600. При использовании газобетонных блоков данных марок возможно получить однослойные ограждающие конструкции, которые будут характеризоваться высокими теплозащитными качествами.

В качестве наружного отделочного слоя (рисунок 5.5, слой 3) использовали ССС, позволяющие получить покрытия различной плотности. В работе оценивали влажностный режим в газобетонной стене, отделанной цементно-песчаной штукатуркой. Покрытия, получаемые при использовании данной штукатурки, характеризуются плотностью 1800 кг/м^3 , что согласно нормативной документации не позволяют рекомендовать использовать данный материал для отделки газобетонных блоков [25, 102, 114].

Так же оценивали влажностный режим в газобетонной стене, отделанной теплоизоляционной ССС Кнауф GRUNBAND [126]. Покрытия, получаемые при использовании данной ССС, характеризуются плотностью 1100 кг/м^3 , что

согласно нормативной документации позволяет рекомендовать использовать данный материал для отделки газобетонных блоков. Выбор данной ССС объясняется тем, что большинство ССС, на данный момент используемых для отделки газобетона, позволяют получить покрытия, плотность которых варьируется в пределах 1000-1300 кг/м³ [60, 134]. Таким образом, влажностный режим в газобетонной стене, отделанной ССС Кнауф GRUNBAND, будет близок к влажностному режиму в газобетонных стенах, отделанных другими ССС для отделки газобетона, представленными на рынке.

Аналогично оценивали влажностный режим в газобетонной стене, отделанной разрабатываемыми ССС, полученными с использованием в качестве наполнителя ПСМ и ЗМА.

Конструктивное исполнение исследуемых ограждающих конструкций и расчетные значения коэффициентов теплопроводности и коэффициентов паропроницаемости исследуемых материалов представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Характеристики используемых в рассматриваемой ограждающей конструкции материалов

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Средняя плотность материала, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м·К)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
1	2	3	4	5	6
1	цементно-шлаковая штукатурка	0,01	1200	0,470	0,140
2	газобетон D350	0,40	350	0,13	0,250
	газобетон D400	0,45	400	0,14	0,230
	газобетон D500	0,55	500	0,18	0,200
	газобетон D600	0,65	600	0,22	0,170

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4	5	6
3	цементно-песчаная штукатурка	0,02	1800	0,760	0,090
	Кнауф GRUNBAND		1100	0,350	0,100
	разрабатываемая ССС, наполнитель – ЗМА		650	0,155	0,150
	разрабатываемая ССС, наполнитель – ПСМ		570	0,135	0,157

Для упрощения в дальнейшем в работе примем следующие условные обозначения различных вариантов исполнения ограждающих конструкций:

$$x / y, \quad (5.2)$$

где x – плотность газобетона;

y – плотность наружного отделочного слоя.

Расчетные значения сопротивления теплопередаче наружных стен R_0^Φ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ для всех вариантов ограждающих конструкций удовлетворяют требованиям «СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» и представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расчетные значения сопротивления R_0^Φ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ для различных вариантов исполнения ограждающих конструкций

350/1800	3,28	400/1800	3,42	500/1800	3,26	600/1800	3,16
350/1100	3,31	400/1100	3,45	500/1100	3,29	600/1100	3,19
350/650	3,39	400/650	3,52	500/650	3,36	600/650	3,26
350/570	3,41	400/570	3,54	500/570	3,38	600/570	3,28

Для оценки влажностного режима рассматриваемых ограждающих конструкций предложено использовать $t_{н.к.}$ – температуру наружного воздуха, при понижении до которой в стене начинается конденсация. Для определения данной

температуры в стеновой конструкции строили профили давления насыщенного водяного пара E_i и парциального давления водяного пара e_i в исследуемом ограждении [80]. Давление насыщенного водяного пара E_i определяли по профилю температуры t в соответствии с зависимостями 5.3 и 5.4:

$$E_i = 610.5 \exp\left(\frac{17,269 \cdot t}{237,3 + t}\right), t \geq 0^\circ \text{C}; \quad (5.3)$$

$$E_i = 610.5 \exp\left(\frac{21,875 \cdot t}{265,5 + t}\right), t < 0^\circ \text{C}. \quad (5.4)$$

Температурой начала конденсации $t_{н.к}$ считали такую температуру, при понижении до которой в стене появлялась зона конденсации, т.е. в ограждающей конструкции появлялся фрагмент, на котором выполнялось условие конденсации влаги (5.5):

$$e_i > E_i. \quad (5.5)$$

Результаты проведенных расчетов представлены на рисунке 5.6.

В ограждающей конструкции 600/1800 конденсация начинается при температуре $-8,0^\circ \text{C}$ (рисунок 5.6, кривая 1). При использовании в качестве отделки штукатурного состава Кнауф GRUNBAND температура начала конденсации $t_{н.к}$ понижается всего на 1°C до $-9,0^\circ \text{C}$ (рисунок 5.6, кривая 2). При использовании разрабатываемых ССС, полученных с использованием в качестве наполнителей ЗМА и ПСМ температура начала конденсации $t_{н.к}$ относительно температуры начала конденсации в ограждающей конструкции 600/1100 понижается соответственно на $2,4$ и $2,9^\circ \text{C}$ – до $-11,4$ и $-11,9^\circ \text{C}$ (рисунок 5.6, кривая 3,4).

При снижении плотности газобетонных блоков температура начала конденсации $t_{н.к}$ увеличивается. При этом также наблюдается значительное увеличение разницы между температурами начала конденсации $t_{н.к}$ в стенах, отделанных цементно-песчаной штукатуркой и ССС Кнауф GRUNBAND, и в стенах, отделанных разрабатываемыми ССС.

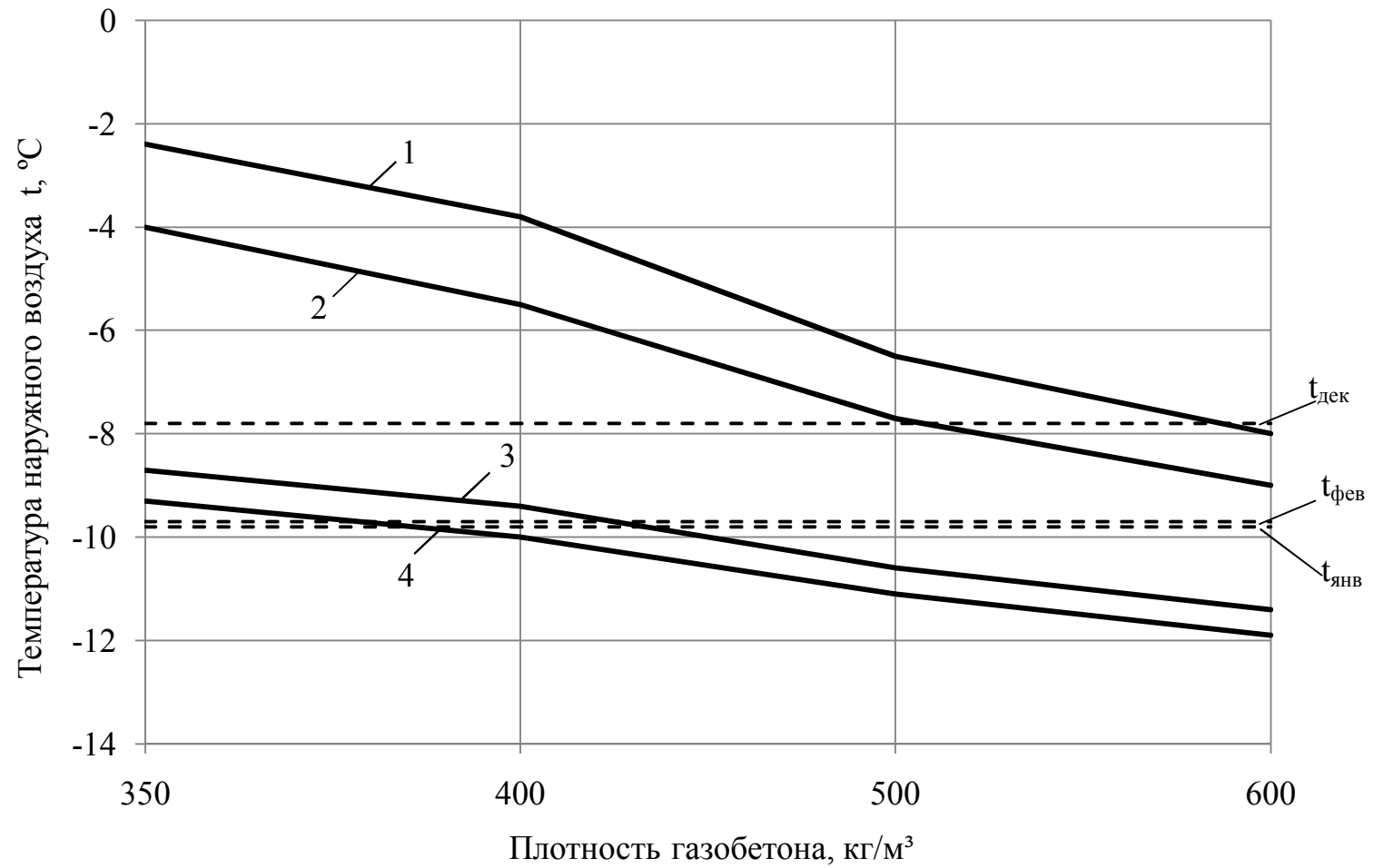


Рисунок 5.6 – Зависимость температуры начала конденсации $t_{н.к}$ от плотности газобетона: 1 – цементно-песчаная штукатурка, 2 – Кнауф GRUNBAND, 3 – разрабатываемая ССС, наполнитель – ЗМА, 4 – разрабатываемая ССС, наполнитель – ПСМ

Температура начала конденсации $t_{н.к.}$ в ограждающей конструкции 350/650 и в ограждающей конструкции 350/570 ниже на 5,3 и 4,7 °С, чем температура начала конденсации $t_{н.к.}$ в ограждающей конструкции 350/1100.

Оценим, будут ли создаваться в рассматриваемых ограждающих конструкциях условия для образования конденсата при среднемесячных температурах зимних месяцев в г. Пенза. Для этого на рисунке 5.6 проведем линии, соответствующие среднемесячным температурам трех зимних месяцев.

Установлено, что в ограждениях, отделанных цементно-песчаной штукатуркой и теплоизоляционной ССС Кнауф GRUNBAND, будут создаваться условия для образования конденсата при среднемесячных температурах декабря, января и февраля в стенах из газобетонных блоков марок D350, D400, D500, января и февраля в стенах из газобетонных блоков марки D600. В ограждениях, отделанных разрабатываемой ССС, наполненной ЗМА, будут создаваться условия для образования конденсата при среднемесячных температурах января и февраля только в стенах из газобетонных блоков марок D350, D400. В ограждениях, отделанных разрабатываемой ССС, наполненной ПСМ, будут создаваться условия для образования конденсата при среднемесячных температурах января и февраля только в стенах из газобетонных блоков марок D350.

Наибольшую опасность для стеновой газобетонной конструкции создают избытки влаги в месте сцепления отделочного покрытия с газобетоном [37]. Поэтому дополнительно определяли температуру $t_{н.к.г.}$ начала конденсации на границе отделочное покрытие – газобетон. Результаты проведенных расчетов представлены на рисунке 5.7.

Установлено, что в ограждающей конструкции 350/1800 конденсация на границе отделочное покрытие – газобетон начинается при температуре $-2,4$ °С, в ограждающей конструкции 400/1800 при температуре $-3,8$ °С (рисунок 5.7, кривая 1), в ограждающей конструкции 350/1100 при температуре $-4,0$ °С, в ограждающей конструкции 400/1100 при температуре $-5,5$ °С (рисунок 5.7, кривая 2).

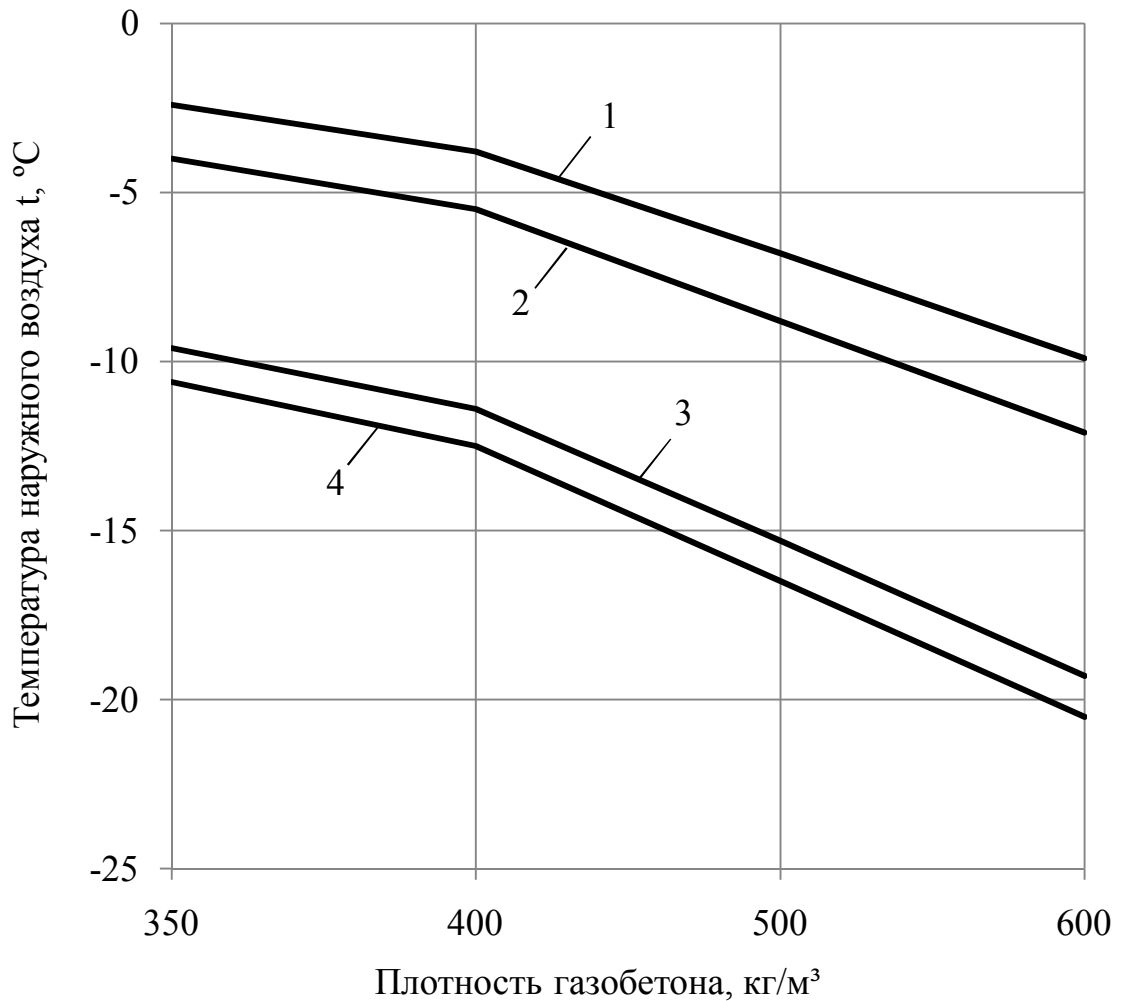


Рисунок 5.7 – Зависимость температуры начала конденсации $t_{н.к.г.}$ на границе отделочное покрытие – газобетон от плотности газобетона: 1 – цементно-песчаная штукатурка, 2 – Кнауф GRUNBAND, 3 – разрабатываемая ССС, наполнитель – ЗМА, 4 – разрабатываемая ССС, наполнитель – ПСМ

У данных ограждений температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ равна температуре начала конденсации $t_{н.к.г.}$ на границе отделочное покрытие – газобетон, т.е. конденсация в ограждение начинается сразу на границе отделочное покрытие – газобетон. В ограждающих конструкциях 500/1800, 600/1800, 500/1100, 600/1100 разница между $t_{н.к.г.}$ и $t_{н.к.}$ варьируется в пределах 0,3–3,1 °C.

При использовании разрабатываемых ССС, полученных с использованием в качестве наполнителей ЗМА и ПСМ температуры начала конденсации $t_{н.к.г.}$ на границе отделочное покрытие – газобетон значительно ниже, чем температура начала конденсации $t_{н.к.}$. Разница между $t_{н.к.г.}$ и $t_{н.к.}$ варьируется от 0,9 °C и 1,3 °C,

соответственно в ограждающих конструкциях 350/650 и 350/570, до 7,9 °С и 8,6 °С, соответственно в ограждающих конструкциях 600/650 и 600/570 (рисунок 5.7, кривая 3,4).

Проведенные исследования доказывают, что за счет использования для отделки газобетонных блоков марок D300-D600 теплоизоляционных ССС, позволяющих получить покрытия с плотностью менее 800 кг/м³, снижается наружная температура воздуха, при которой начинается конденсация влаги в стене. Также за счет использования разрабатываемых покрытий значительно снижается наружная температура воздуха, при которой начинается конденсация на границе отделочное покрытие – газобетон. Это позволит минимизировать количество конденсирующейся влаги в толще ограждающей конструкции и продлить срок службы как отделочного покрытия, так и всей стены в целом.

5.4 Прочность сцепления с газобетоном теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов

В нормативной документации предъявляются требования к прочности сцепления отделочного покрытия и газобетона. В соответствии с [25, 114] прочность сцепления покрытий должна быть не менее 0,6 МПа. При этом для отделки газобетона сейчас широко используют ССС, характеризующиеся более низкой адгезией к газобетону 0,3–0,4 МПа. В работе представлены результаты оценки прочности сцепления покрытий на основе разрабатываемой ССС, полученных с применением в качестве высокопористых наполнителей: ПСМ и ЗМА. Учитывая закон сродства структур, также оценивали возможность использования в состав разработанной ССС молотых отходов производства газобетона с целью повышения прочности сцепления получаемых отделочных покрытий с газобетонной поверхностью [61].

Для оценки адгезии разработанных отделочных покрытий с газобетоном определяли величину прочности сцепления покрытия на основе разрабатываемой ССС с газобетоном методом отрыва штампа. Рецептуры

исследованных ССС отличались друг от друга видом использованных микросфер и содержанием молотых отходов производства газобетона. Результаты исследований представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Адгезионные свойства отделочных покрытий

Особенности рецептуры ССС	Адгезионная прочность, $R_{адг}$, МПа
ПСМ в количестве 40 % от массы извести	0,49
ПСМ в количестве 40 % от массы извести, молотые отходы производства газобетона в количестве 20 % от массы извести	0,65
ЗМА в количестве 80 % от массы извести	0,53
ЗМА в количестве 80 % от массы извести, молотые отходы производства газобетона в количестве 20 % от массы извести	0,71

Установлено, что отделочный состав, наполненный ЗМА, обладает большей адгезионной прочностью, чем состав, наполненный ПСМ. Также выявлено, что использование в составе разработанных ССС молотых отходов производства газобетона позволяет повысить прочность сцепления получаемых покрытий с газобетоном за счет увеличения сродства структуры подложки и покрытия [61].

Согласно ГОСТ 11118-2009 [25], адгезия к ячеистому бетону отделочных покрытий должна составлять не менее 0,6 МПа. Полученные с использованием в составе ССС молотых отходов производства газобетона в количестве 20 % от массы извести отделочные покрытия соответствуют нормативным требованиям.

5.5 Морозостойкость теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов

Оценку морозостойкости штукатурного раствора на основе разработанных рецептур теплоизоляционной ССС производили методом попеременного

замораживания и оттаивания образцов отделочного состава размером $0,07 \times 0,07 \times 0,07$ м после 28 суток воздушно-сухого твердения [12]. Результаты проведенных испытаний на морозостойкость разработанного отделочного состава представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Морозостойкость теплоизоляционных отделочных покрытий

Наполнитель	Результат испытаний образцов, циклы					
	0	10	15	25	35	50
ПСМ	3,60	<u>3,58</u> *	<u>3,55</u>	<u>3,48</u>	<u>3,38</u>	<u>3,14</u>
		0,56	1,39	3,33	6,11	12,8
ЗМА	4,10	<u>4,08</u>	<u>4,04</u>	<u>3,98</u>	<u>3,88</u>	<u>3,66</u>
		0,49	1,46	2,93	5,37	10,7

* Над чертой указана средняя прочность образцов отделочного состава (МПа), под чертой – изменение средней прочности отделочного состава (%).

В результате проведенных испытаний образцов покрытий разработанной ССС на морозостойкость установлено, что они обладают маркой по морозостойкости F35, т.е. выдерживают 35 циклов замораживания-оттаивания, после которых прочность на сжатие образцов уменьшилась менее, чем на 10 % по сравнению с прочностью на сжатие контрольных образцов (до испытаний) [32].

Внешний вид разработанных покрытий после 35 циклов испытаний не претерпел значительных изменений. Цвет покрытий значительно не изменился, отслаивания и шелушения верхнего слоя покрытий не наблюдалось, трещины, видимые невооруженным глазом, на покрытиях не наблюдались. После 40 циклов испытаний внешний вид покрытий, наполненных ПСМ, изменился. Цвет покрытий значительно изменился, наблюдалось отслаиванием и шелушения верхнего слоя на площади до 5 % поверхности образцов, на поверхности образцов появились трещины, видимые невооруженным глазом. Такие же изменения внешнего вида у покрытий, наполненных ЗМА, наблюдались после 45 циклов испытаний.

Согласно ГОСТ 11118-2009 [25], у отделочных покрытий для газобетона

нормируется снижение прочности на отрыв после 35 циклов замораживания и оттаивания. Оценку прочности сцепления разработанного отделочного состава с газобетоном проводили методом отрыва штампа по ГОСТ 11118-2009 [12]. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Прочность сцепления отделочного покрытия с газобетоном

Наполнитель	Результат испытаний образцов, циклы					
	0	10	15	25	35	50
ПСМ	0,65	<u>0,63</u> *	<u>0,61</u>	<u>0,58</u>	<u>0,54</u>	<u>0,46</u>
		3,07	6,15	10,8	16,9	29,3
ЗМА	0,71	<u>0,70</u>	<u>0,68</u>	<u>0,66</u>	<u>0,62</u>	<u>0,53</u>
		1,41	4,22	7,04	12,7	25,4

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

Установлено, что марка по морозостойкости контактной зоны покрытий, наполненных ПСМ и ЗМА, составила $F_{кз}$ 35. Данные покрытия соответствуют требованиям ГОСТ 11118-2009 [25] и их можно рекомендовать использовать для наружной отделки газобетона.

Рецептуры разработанных теплоизоляционных ССС для отделки газобетона представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Рецептуры теплоизоляционных ССС для отделки газобетона

Наименование компонентов	Массовая доля компонентов, %	
	Состав 1	Состав 2
1	2	3
Известь-пушонка	50,76	42,19
Добавка на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция	5,08	4,22
Молотые отходы производства газобетона	10,15	8,44

Продолжение таблицы 5.9

1	2	3
Белый цемент	10,15	8,44
ПСМ	20,30	0,00
ЗМА	0,00	33,76
Пластифицирующую добавку Melflux 2651F	0,51	0,42
Гидрофобизатор олеат натрия	0,51	0,42
Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	2,54	2,11
ИТОГО:	100,00	100,00

В таблице 5.10 приведены основные эксплуатационные и технологические свойства теплоизоляционных составов для отделки газобетона на основе разработанных рецептур ССС.

В качестве прототипа 1 выбрана легкая цементная штукатурка «Кнауф GRUNBAND», производимая компанией ООО «КНАУФ ГИПС», в качестве прототипа 2 – теплоизоляционная штукатурка для газобетона «УМКА UF-2», производимая компанией ООО «Экотермогрупп», в качестве прототипа 3 – штукатурка «Известково-цементная» для отделки газобетона фирмы «Боларс».

Анализ данных, приведенных в таблице 5.10, показал, что разработанные составы теплоизоляционных ССС для отделки газобетона обладают рядом преимуществ по сравнению с аналогами: высокая паропроницаемость, высокая прочность сцепления с поверхностью газобетона, высокая водоудерживающая способность.

Таблица 5.10 – Технологические и эксплуатационные свойства разработанных теплоизоляционных ССС

Параметр	Величина показателя для состава				
	Состав 1	Состав 2	Прототип 1	Прототип 2	Прототип 3
Средняя плотность покрытия, кг/м ³	580	650	1100	550	1550
Насыпная плотность, кг/м ³	380	440	1100	550	1500
Прочность при сжатии, МПа	3,6	4,1	3,4	3,0	4,0
Расход ССС при нанесении слоя толщиной в 10 мм, кг/м ²	5,9	6,6	12,0	5,5	14,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,119	0,137	0,350	0,130	0,400
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	0,157	0,150	0,100	0,110	0,100
Водоудерживающая способность, %	99,0	99,1	97,0	97,0	97,8
Прочность сцепления с основанием, МПа	0,65	0,71	0,40	0,30	0,40
Морозостойкость, марка	F35	F35	F35	F50	F50
Удобоукладываемость	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая

5.6 Техничко-экономические показатели и технологическая схема производства разрабатываемых теплоизоляционных сухих строительных смесей

Апробация разработанных составов теплоизоляционных ССС для отделки газобетона показала возможность их выпуска, а полученные покрытия на их основе удовлетворяют требованиям нормативной документации на теплоизоляционные отделочные составы для отделки газобетона.

Технологическая линия по производству разработанных теплоизоляционных ССС включают следующие технологические модули:

- модуль приготовления размолотых отходов производства газобетона;
- модуль производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция;
- модуль хранения сырья;
- смесительный модуль;
- модуль упаковки и выдачи готовой продукции.

Технологическая схема модуля приготовления модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция для разработанной ССС представлена на рисунке 5.8.

Технологический процесс производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция идет в ниже описанной последовательности. Нумерация производственного оборудования принята по рисунку 5.8. На первой стадии производства модифицирующей добавки раствор жидкого натриевого стекла из емкости (1) подается в нагревательную ванну (2), где нагревается до 60 °С. Негашенная известь из силоса (4) винтовыми конвейерами (5, 7) через дозатор (6) поступает в нагревательную ванну (8), наполненную водой, нагретой до 60 °С. Полученный раствор доводится до кипения. Растворы из нагревательных ванн (2, 8) подаются в вертикальный смеситель (3), оборудованный встроенными дозаторами компонентов. Затем

полученная в вертикальном смесителе (3) пульпа обезвоживается с помощью фильтра (9).

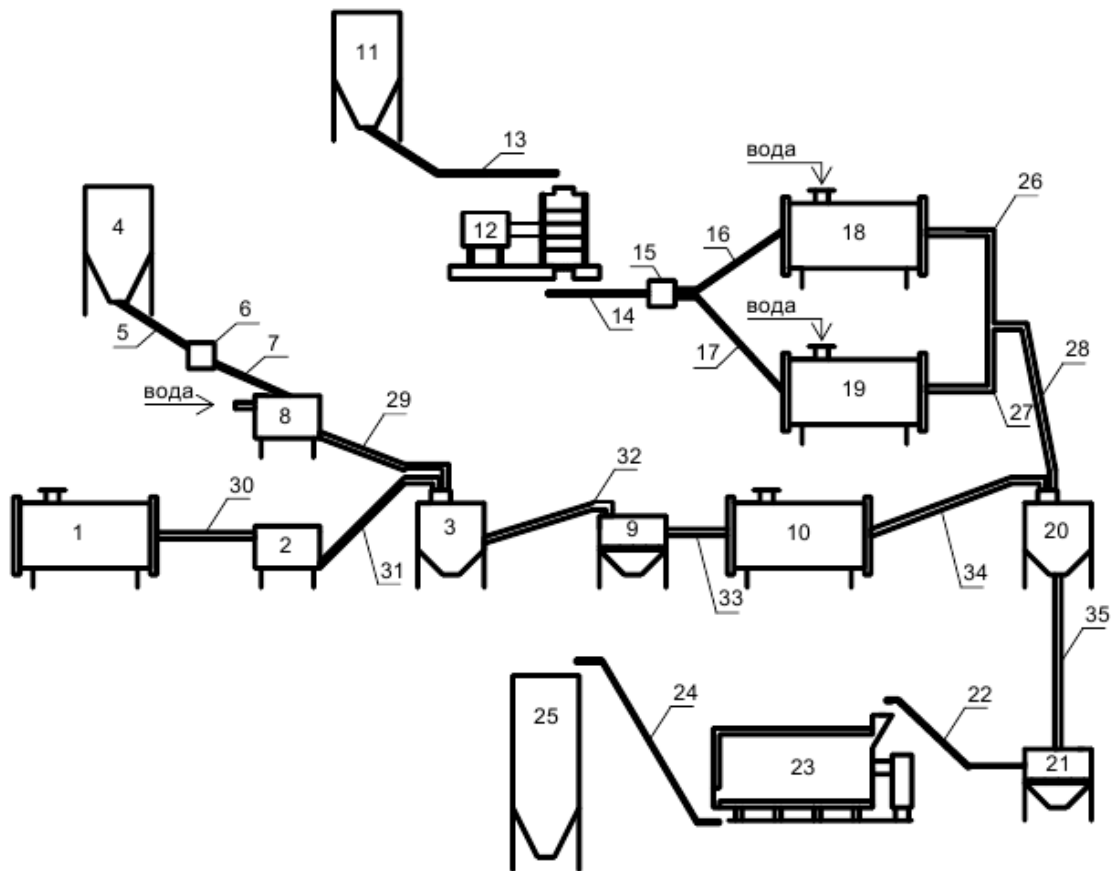


Рисунок 5.8 – Технологическая схема модуля производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция: 1 – емкость для хранения раствора жидкого стекла; 2 – ванна для нагрева раствора жидкого стекла; 3, 20 – вертикальный смеситель с встроенным дозатором компонентов; 4 – силос для хранения негашеной извести; 5, 7, 14, 16, 17, 22, 24 – винтовой конвейер; 6 – дозатор негашеной извести; 8 – ванна для нагрева известкового раствора; 9, 21 – фильтр для вакуумного обезвоживания осадков; 10 – емкость для хранения осадка, полученного на первой стадии; 11 – силос для хранения сульфата алюминия; 12 – молотовая дробилка для сульфата алюминия; 13 – конвейер складской; 15 – дозатор сульфата алюминия; 18, 19 – емкость для хранения раствора жидкого стекла; 23 – барабан сушильный непрямого нагрева; 25 – силос добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция; 26–35 – прочее оборудование

Образовавшийся на первой стадии производства модифицирующей добавки осадок поступает в емкость (10).

На второй стадии производства модифицирующей добавки сульфат алюминия кусковой из силоса (11) по складскому конвейеру (13) подается в молотовую дробилку (12). Измельченный сульфат алюминия через дозатор (15) по винтовым конвейерам (14, 16) подается в емкость (18), где заливается водой. Для обеспечения непрерывности технологического процесса производства модифицирующей добавки используется две емкости для хранения раствора сульфата алюминия (18, 19), в одной из которых хранится готовый к использованию раствор сульфата алюминия, а в другой происходит растворение сульфата алюминия. Раствор сульфата алюминия и осадок полученный на первой стадии синтеза подаются в вертикальный смеситель (20), оборудованный встроенными дозаторами компонентов. Затем образовавшаяся в вертикальном смесителе (20) пульпа обезвоживается с помощью фильтра (21). Полученный осадок с помощью винтового конвейера (22) поступает в барабан сушильный непрямого нагрева (23), откуда по винтовому контейнеру (24) подается на хранение в силос (25).

Перечень затрат на приобретение необходимого для производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция оборудования представлен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Перечень затрат на оборудование для производства модифицирующей добавки

Наименование оборудования	Цена за шт., руб.	Количество, шт.	Стоимость, руб.
Силос	415006	2	830012
Емкость для хранения растворов	89910	4	359640
Вертикальный смеситель с встроенным дозатором компонентов	342000	2	684000
Винтовой конвейер	114283	7	799981

Продолжение таблицы 5.11

Ванна для нагрева	59800	2	119600
Фильтр для вакуумного обезвоживания осадков	199400	2	398800
Молотовая дробилка	99500	1	99500
Конвейер складской	155996	1	155996
Барaban сушильный непрямого нагрева	494000	1	494000
Прочее оборудование			400000
Итоговая стоимость оборудования:			4 341 529

Для работы по производству модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в одну смену потребуются технолог цеха и рабочий дозировочно-смесительного поста.

Технологическая схема производства разработанной ССС представлена на рисунке 5.9.

Технологический процесс производства теплоизоляционной ССС идет в ниже описанной последовательности. Нумерация производственного оборудования принята по рисунку 5.9.

Отходы производства газобетона со склада (19) по складскому конвейеру (20) подаются в шнековую дробилку для предварительного (грубого) помола газобетона (21). Размер допустимой фракции на входе в шнековую дробилку до 0,8 м, что позволяет размалывать в ней любые возможные по размеру отходы производства газобетона. Из размолотых отходов газобетона удаляется лишняя влага в барабане сушильном непрямого нагрева (23). Затем по складскому конвейеру (24) высушенные отходы производства газобетона поступают в молотовую дробилку (25), в которой максимальный размер фракций газобетона уменьшается с 50 мм до 1 мм. В дисковой мельнице (27) отходы производства газобетон измельчаются до необходимого для его дальнейшего использования размера – удельной поверхности 635,0 м²/кг. Из мельницы размолотые отходы производства газобетона по винтовому конвейеру (28) подаются в силос (1).

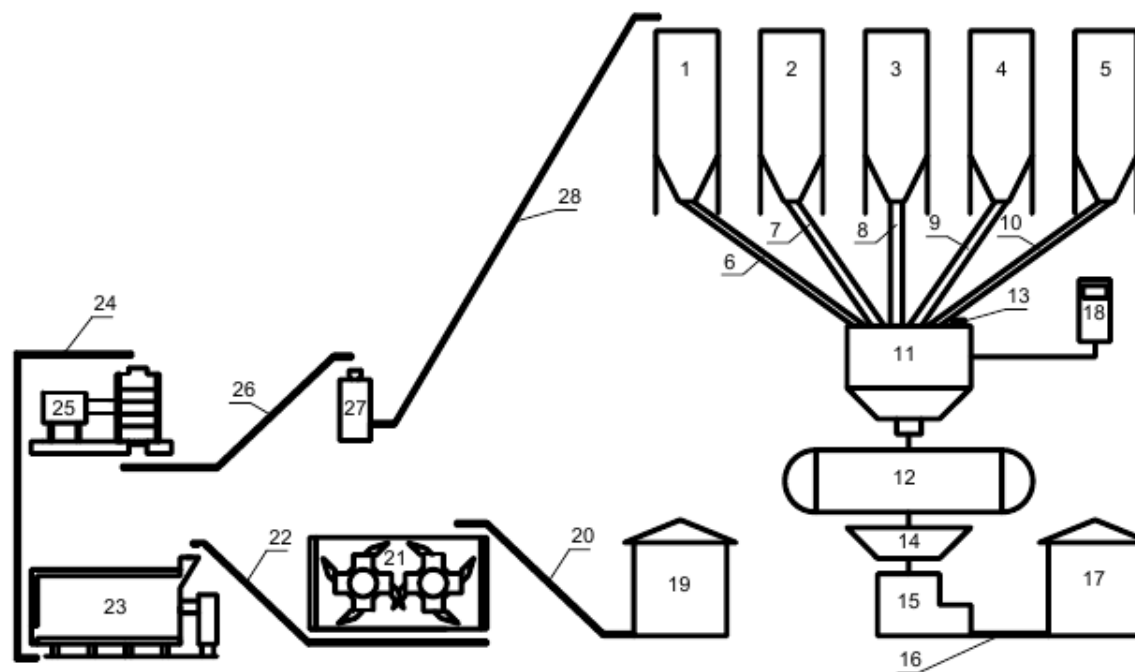


Рисунок 5.9 – Технологическая схема производства разработанных составов теплоизоляционных ССС: 1 – силос молотых отходов производства газобетона; 2 – силос белого цемента; 3 – силос добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция; 4 – силос микросфер; 5 – силос извести-пушонки; 6, 7, 8, 9, 10, 26, 28 – винтовой конвейер; 11 – дозатор групповой; 12 – смеситель; 13 – приемник микродобавок; 14 – бункер фасовщика ССС с вибростенкой; 15 – фасовочная машина полуавтоматическая; 16, 20, 22, 24 – конвейер складской; 17 – склад готовой продукции; 18 – комбинированный шкаф управления; 19 – склад отходов производства газобетона; 21 – шнековая дробилка для предварительного (грубого) помола газобетона; 23 – барабан сушильный непрямого нагрева; 25 – молотовая дробилка для газобетона; 27 – мельница дисковая

Размолотые отходы производства газобетона из силоса (1) подаются винтовым конвейером (6) в многокомпонентный дозатор (11). После достижения заданного веса их подача прекращается. Таким же образом при помощи винтовых конвейеров (7, 8, 9, 10) загружаются материалы из других силосов (2, 3, 4, 5). Затем оператор установки с площадки обслуживания через приемник микродобавок (13) загружает непосредственно в дозатор заранее взвешенные в необходимом количестве добавки (пластифицирующую добавку Melflux 2651 F, гидрофобизатор олеат натрия, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 H). Далее компоненты выгружаются в смеситель (12). В том случае, если смеситель все еще перемешивает компоненты ССС и еще не произвел выгрузку их в бункер готовой смеси, дозатор переходит в режим ожидания разрешения выгрузки. Затем происходит процесс перемешивания компонентов ССС, который длится необходимое количество времени. Затем производится упаковка готовой ССС с помощью фасовочной машины (15) в мешки массой от 5 до 50 кг в одной единице продукции. Для упаковки используются бумажные трёх-, четырёхслойные крафт-мешки с полиэтиленовым пакетом-вкладышем, который исключает попадание влаги и посторонних примесей. Наполненные мешки по ленточному конвейеру (16) поступают в помещение склада (17), где складываются на поддоны. Хранение и транспортировку полученной ССС необходимо осуществлять при положительных температурах и относительной влажности воздуха не более 70 %.

Перечень затрат на приобретение необходимого для производства разработанной ССС оборудования представлен в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Перечень затрат на оборудование для производства разработанной ССС

Наименование оборудования	Цена за шт., руб.	Количество, шт.	Стоимость, руб.
Силос	415006	5	2075030
Дозатор групповой	81125	1	81125
Смеситель	321019	1	321019

Продолжение таблицы 5.12

Приемник микродобавок	17995	1	17995
Бункер фасовщика ССС с вибростенкой	45135	1	45135
Фасовочная машина полуавтоматическая	186735	1	186735
Шнековая дробилка для предварительного (грубого) помола газобетона	990000	1	990000
Барaban сушильный непрямого нагрева	494000	1	494000
Молотковая дробилка для газобетона	99500	1	99500
Мельница дисковая	350000	1	350000
Комбинированный шкаф управления	159300	1	159300
Конвейер складской	150000	4	600000
Винтовой конвейер	100000	7	700000
Итоговая стоимость оборудования:			6119839

Для работы по производству разработанной теплоизоляционной ССС в одну смену потребуются технолог цеха, грузчик, упаковщик и рабочий дозировочно-смесительного поста.

Перед использованием разработанные ССС необходимо засыпать в емкость с чистой водой и перемешать до однородной консистенции. После этого ее можно наносить на специально подготовленное основание.

Для качественной отделки поверхности газобетона разработанным составом ССС основание должно соответствовать определенным требованиям [52, 82]. Основание должно быть сухим и крепким, очищенным от грязи, пыли, старой штукатурки, остатков красок. Очистка поверхности газобетона может производиться механизировано при помощи пескоструйных аппаратов или вручную стальными щетками. Поверхность газобетона, предназначенная для оштукатуривания, должна иметь шероховатую структуру и обладать положительной температурой. Непосредственно перед проведением отделочных работ поверхность газобетона необходимо хорошо увлажнить или обработать специализированными грунтовочными составами.

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО РСУ «Спецработ». Акт опытно-производственного апробирования разработанной теплоизоляционной ССС приведен в приложении А.

Для расчета калькуляции себестоимости производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция требуются учитывать показатели, приведенные в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Показатели для расчета себестоимости модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция

Показатель	Значение показателя
1	2
Количество рабочих в смену, чел.	2
Количество смен	2
Длительность смены, ч	8
Производительность оборудования, т/год	475
Установленная мощность оборудования, кВт/ч	21,7
Аренда помещения за год, руб.	240000
Необходимая площадь производственного помещения, м ²	100
Затраты на отопление за год, руб. (для г. Пензы, величина потерь тепла принята равной 200 Вт/м ² площади производственного помещения)	63680
Затраты на тепло для технологических нужд за год, руб.	940420
Средняя основная заработная плата рабочих, руб./месяц	26000
Расход жидкого топлива, т/год	71,1
Себестоимость 1 кг модифицирующей добавки за кг, руб.	26,98

Для расчета калькуляции себестоимости производства разработанной теплоизоляционной ССС для отделки газобетона требуется учесть показатели, представленные в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Показатели для расчета себестоимости производства разработанной теплоизоляционной ССС

Показатель	Значение показателя
1	2
Количество рабочих в смену, чел.	4
Количество смен	2
Длительность смены, ч	8
Производительность оборудования, т/год	7900
Установленная мощность оборудования, кВт/ч	34,8
Аренда помещения за год, руб.	600000
Необходимая площадь производственного помещения, м ²	250
Затраты на отопление за год, руб. (для г. Пензы, величина потерь тепла принята равной 200 Вт/м ² площади производственного помещения)	159180
Затраты на отопление за год, руб. (для г. Пензы, величина потерь тепла принята равной 200 Вт/м ² площади производственного помещения)	159180
Средняя основная заработная плата рабочих, руб./месяц	26000
Расход жидкого топлива, т/год	7,11
Себестоимость продукции (состав 1) за кг, руб.	86,91
Себестоимость продукции (состав 2) за кг, руб.	23,41
Цена реализации ССС (состав 1) за кг, руб.	112,98
Цена реализации ССС (состав 2) за кг, руб.	30,43

Калькуляция себестоимости производства модифицирующей добавки по предлагаемой технологии представлена в таблице 5.15. Калькуляция себестоимости производства разработанной теплоизоляционной ССС для состава 1 и состава 2 по предлагаемой технологии представлена в таблице 5.16. Стоимость материалов, используемых при производстве теплоизоляционной ССС, принята по реальным ценам 2018 года.

Таблица 5.15 – Калькуляция себестоимости модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция

Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения, руб.	Норма расхода на калькуляционную единицу	Затраты на калькуляционную единицу, руб.
1	2	3	4	5
Сырье и материалы:				
Негашеная известь	т	5000	0,45000	2250
Жидкое стекло	т	6200	1,40000	8680
Сульфат алюминия	т	16000	0,37000	5920
Вода	т	25	16,6667	416,67
Вспомогательные материалы	руб.			500
Итого:	руб.			17766,67
Амортизация основного оборудования	руб.			948
Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	4,00	180,83	723,32
Затраты на тепло для технологических нужд	руб.			1979,84
Затраты на отопление	руб.			134,1
Затраты на аренду помещения	руб.			505,26

Продолжение таблицы 5.15

1	2	3	4	5
Затраты на жидкое топливо	руб.			1422
Основная заработная плата для производственных рабочих	руб.			2627,37
Дополнительная заработная плата для производственных рабочих	руб.			262,74
Отчисления на социальное страхование	руб.			462,42
Заводская себестоимость 1 т	руб.			26980,53
Заводская себестоимость 1 кг	руб.			26,98

134

Таблица 5.16 – Калькуляция себестоимости разработанной теплоизоляционной ССС для отделки газобетона

Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения, руб.	Норма расхода на калькуляционную единицу	Затраты на калькуляционную единицу, руб.
1	2	3	4	5
Сырье и материалы (состав 1):				
Известь-пушонка	т	5000	0,5076	2538

Продолжение таблицы 5.16

1	2	3	4	5
Добавка на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция	т	26800	0,0508	1370
Белый цемент	т	7000	0,1015	711
Отходы производства газобетона	т	5000	0,1015	508
Пластифицирующая добавка Melflux 2651 F	т	660000	0,0051	3350
Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 Н	т	220000	0,0254	5584
Гидрофобизатор олеат натрия	т	220000	0,0051	1117
ПСМ	т	350000	0,2030	71066
Итого:	руб.			86243
Сырье и материалы (состав 2):				
Известь-пушонка	т	5000	0,4219	2110
Добавка на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция	т	26800	0,04220	1138
Белый цемент	т	7000	0,0844	591
Отходы производства газобетона	т	5000	0,0844	422

Продолжение таблицы 5.16

1	2	3	4	5
Пластифицирующая добавка Melflux 2651 F	т	660000	0,0042	2785
Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 Н	т	220000	0,0211	4641
Гидрофобизатор олеат натрия	т	220000	0,0042	928
ЗМА	т	30000	0,3376	10127
Итого:	руб.			22741
Амортизация основного оборудования	руб.			92,96
Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	4,00	17,4	69,6
Затраты на отопление	руб.			20,15
Затраты на аренду помещения	руб.			75,95
Затраты на жидкое топливо	руб.			8,55
Основная заработная плата для производственных рабочих	руб.			315,95
Дополнительная заработная плата для производственных рабочих	руб.			31,60
Отчисления на социальное страхование	руб.			55,61

Продолжение таблицы 5.16

1	2	3	4	5
Заводская себестоимость 1 т (состав 1)	руб.			86913,37
Заводская себестоимость 1 кг (состав 1)	руб.			86,91
Заводская себестоимость 1 т (состав 2)	руб.			23411,37
Заводская себестоимость 1 кг (состав 2)	руб.			23,41

5.7 Оценка экономической эффективности использования разрабатываемых теплоизоляционных сухих строительных смесей

В работе была оценена экономическая эффективность использования разработанных ССС в качестве теплоизоляционного штукатурного слоя для внутренней и наружной отделки газобетона.

Оценку экономической эффективности проводили путем сравнения рыночной стоимости разработанных рецептов теплоизоляционной ССС и аналогов известных производителей теплоизоляционных ССС для отделки газобетона. За рыночную стоимость разработанных рецептов теплоизоляционных ССС принимали себестоимость их производства с добавкой 30 % от нее.

Результаты оценки представлены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Рыночная стоимость ССС

Наименование ССС	Стоимость ССС за кг, руб.	Расход ССС при нанесении слоя толщиной в 10 мм, кг/м ²	Стоимость 1 м ² при толщине слоя в 10 мм, руб.
Разработанная ССС (состав 1)	112,98	5,9	666,58
Разработанная ССС (состав 2)	30,43	6,6	200,84
КНАУФ-Грюнбанд	11,92	12,0	143,04
УМКА UF-2	103,5	5,5	569,25
Боларс известково-цементная	14,60	14,0	204,40

Также для оценки экономической эффективности сравнивали затраты на тепло, необходимое для компенсации теплотерь через стену здания, отделанную различными ССС.

Конструкция стены представлена на рисунке 5.5 в п. 5.3 данной диссертации. Слой 1 и 3 – различные покрытия, полученные с использованием ССС, представленных в таблице 5.17. Толщина слоя 1 и толщина слоя 3 принята равной 0,02 м; слой 2 – газобетон марки D500, толщиной 0,40 м.

Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха приняты такие же, как в п 5.3 данной диссертации.

Потери теплоты через 1 м² ограждающей конструкции стены за отопительный период Q, Вт, определяли по формуле:

$$Q = n_{\text{оп}} \cdot z \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н.ср}}) \cdot k \quad (5.6)$$

где $n_{\text{оп}}$ – продолжительность отопительного периода, принимаем равной 200 суток;

z – время работы системы отопления в сут., принимаем 24 часа;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха в помещении, принимаем равной 20 °С;

$t_{\text{н.ср}}$ – средняя температура воздуха за отопительный период, принимаем –4,1 °С;

k – коэффициент теплопередачи наружного ограждения, Вт/(м²·°С).

Затраты на тепловую энергию, необходимую для компенсации потерь теплоты через ограждение за отопительный период T, руб./год, определяли по формуле:

$$T = Q \cdot 1,163 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Ц}_{\text{х(т)}}, \quad (5.7)$$

где $\text{Ц}_{\text{т}}$ – стоимость тепловой энергии, принимаемая равной 1500 руб./Гкал (в соответствии с Приказом №156 от 18 декабря 2015 года «Об установлении тарифов на тепловую энергию (мощность) для потребителей теплоснабжающих организаций на территории Пензенской области на 2016-2018 гг.»).

Теплотехнические характеристики исследуемой ограждающей конструкции, отделанной различными ССС, приведены в таблице 5.18 [73].

Таблица 5.18 – Энергоэффективность ограждающей конструкций

Оцениваемый показатель	Наименование используемой ССС				
	Разработанная ССС (состав 1)	Разработанная ССС (состав 2)	КНАУФ-Грюнбанд	УМКА UF-2	Боларс известково-цементная
Термическое сопротивление ограждающей конструкции R, м ² ·°С/Вт	3,321	3,281	3,119	3,145	3,106
Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции k, Вт/(м ² ·°С)	0,3011	0,3048	0,3206	0,3035	0,3219
Потери теплоты через 1 м ² ограждающей конструкции стены за отопительный период Q, Вт	34831	35258	37083	35105	37238
Затраты на тепловую энергию, необходимую для компенсации потерь теплоты через 1 м ² ограждающей конструкции стены за отопительный период T, руб./год	60,76	61,51	64,69	61,24	64,96

Анализируя данные таблицы 5.17 и таблицы 5.18, выявлено, что разработанная ССС (состав 2) является экономически эффективной. Стоимость за 1 кг данной ССС значительно выше стоимости за 1 кг ССС «КНАУФ-Грюнбанд» и «Боларс известково-цементная», но за счет ее меньшего расхода при нанесении, стоимость получаемого отделочного покрытия отличается незначительно. Использование в качестве отделочного состава ССС (состав 2) позволяет снизить затраты на тепловую энергию T на 4,9 % по сравнению с тепловыми затратами T при использовании «КНАУФ-Грюнбанд», и снизить затраты на тепловую энергию T на 5,3 % по сравнению с тепловыми затратами T при использовании «Боларс известково-цементная». Из-за высокой стоимости ПСМ, необходимых для производства ССС (состав 1), себестоимость получаемого покрытия возрастает в 3,32 раза по сравнению с покрытием, получаемым с использованием ССС (состав 2). Можно предположить, что разработанная ССС (состав 1) в настоящий момент на рынке будет являться неконкурентоспособной.

Выводы по главе 5

1. Разработан состав теплоизоляционной известковой ССС, предназначенный для отделки газобетона и содержащий известь-пушонку, ЗМА в количестве 80 % от массы извести, добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в количестве 10 % от массы извести, белый цемент в количестве 20 % от массы извести, молотые отходы производства газобетона в количестве 20 % от массы извести, Melflux 2651 F в количестве 1 % от массы извести, VINNAPAS 8031 H в количестве 5 % от массы извести, олеат натрия в количестве 1 % от массы извести. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность $\rho_{\text{ср}}=650$ кг/м³, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15$ мг/(м·ч·Па), коэффициент теплопроводности $\lambda=0,137$ Вт/(м·°С), прочность при сжатии $R_{\text{сж}} 4,1$ =МПа, марка по

морозостойкости F35.

2. Исследовано влияние вида используемого наполнителя на гидрофизические свойства покрытий на основе разрабатываемой теплоизоляционной ССС. Установлено, что покрытия, полученные с использованием в качестве наполнителя ВВП и ВПП, характеризуются высокими значениями водопоглощения по массе W_m , равными, соответственно, 69,11 % и 50,64 % и низкими значениями водостойкости: $K_{разм}$ соответственно равен 0,67 и 0,72. Покрытия, полученные при использовании в качестве наполнителя ПСМ и ЗМА, характеризуются более низкими значениями водопоглощения по массе W_m , равными, соответственно, 42,92 % и 34,31 % и более высокими значениями водостойкости: $K_{разм}$ соответственно равными 0,82 и 0,84.

3. Оценено влияние вида используемого наполнителя на трещиностойкость теплоизоляционных покрытий. Установлено, что покрытия, полученные с использованием ВВП и ВПП, спустя 90 суток твердения характеризуются усадочными деформации ε_y , составляющими соответственно 1,30 мм/м и 1,11 мм/м, а покрытия на основе ПСМ и ЗМА – 0,62 мм/м и 0,74 мм/м. Выявлено, что покрытия на основе ПСМ и ЗМА характеризуются более высокой трещиностойкостью. Коэффициенты трещиностойкости $K_{тр}$ данных покрытий составляют соответственно 26,1 и 20,9.

4. Выявлено, что за счет использования для отделки газобетонных блоков марок D300-D600 разрабатываемой ССС конденсация влаги начинается при существенно более низкой температуре наружного воздуха. Благодаря использованию разрабатываемых покрытий конденсация влаги на границе отделочное покрытие – газобетон так же начинается при существенно более низкой температуре наружного воздуха. Это позволит минимизировать количество конденсирующейся влаги в толще ограждающей конструкции.

5. Установлено, что использование в составе разрабатываемых ССС

молотых отходов производства газобетона позволяет увеличить прочность сцепления получаемых отделочных покрытий с газобетоном до 0,65–0,71 МПа в зависимости от вида высокопористого наполнителя.

6. Рассчитаны технико-экономические показатели и разработана технологическая схема производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона. Выполнена оценка экономической эффективности использования разрабатываемой теплоизоляционной ССС для отделки газобетона. Установлено, что разработанная ССС с использованием в качестве наполнителя ЗМА, является экономически эффективной. Себестоимость получаемого покрытия в 3,32 раза ниже по сравнению с себестоимостью покрытия, полученного с использованием ПСМ в рецептуре ССС. Рассчитаны затраты на тепло, необходимое для компенсации теплопотерь через стену здания, отделанную различными ССС. Установлено, что при использовании разработанной ССС снижаются потери теплоты через 1 м² ограждающей конструкции стены.

Заключение

Итоги выполненного исследования

1. Рассмотрена модель, позволяющая получить теплоизоляционный композит оптимальной структуры. Спрогнозирована средняя плотность теплоизоляционных композитов для различных пар «вяжущее – наполнитель»: известь – ПСМ; цемент – ПСМ; известь – ЗМА; цемент – ЗМА. Рассчитано оптимальное содержание микросфер для данных композитов.

2. Обоснована возможность снижения плотности, теплопроводности, повышения паропроницаемости покрытий на основе теплоизоляционных ССС для отделки газобетона марок D300-D600 за счет использования в качестве наполнителя ЗМА, в качестве вяжущего извести. Разработана рецептура теплоизоляционной ССС для отделки газобетона, включающая известь-пушонку, ЗМА, добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, белый цемент, молотые отходы производства газобетона, суперпластификатор Melflux 2651 F, редуцируемый порошок VINNAPAS 8031 H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность $\rho_{\text{ср}}=650 \text{ кг/м}^3$, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,137 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ прочность при сжатии $R_{\text{сж}}=4,1 \text{ МПа}$, марка по морозостойкости F35.

3. Исследовано влияние вида используемого высокопористого наполнителя в теплоизоляционной ССС на механизм передачи тепла через получаемое отделочное покрытие. Установлено, что способность отделочного покрытия отражать тепло и передавать его при помощи конвекции не зависит от вида используемого наполнителя. Коэффициент излучения, независимо от вида используемого наполнителя, составил $\epsilon=0,93$.

4. Установлен характер влияния наполнителя на поровую структуру отделочных покрытий. Выявлено, что при использовании ВВП и ВПП происходит увеличение общей пористости отделочного покрытия за счет роста количества открытых пор, образующихся из-за высокой водопотребности данных наполнителей. Рост общей пористости у отделочных покрытий при использовании ЗМА и ПСМ происходит за счет увеличения закрытой пористости из-за полой структуры данных наполнителей, при этом количество открытых пор уменьшается.

5. Обоснована целесообразность использования модифицирующей добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в рецептуре теплоизоляционных известковых ССС для отделки газобетона. Доказана целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза модифицирующей добавки. Пуццоланическая активность добавки составляет 762,5 мг/г. Установлены закономерности твердения известкового композита в присутствии добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, заключающиеся в том, что введение добавки ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси, повышает прочность при сжатии известковых композитов в 2,87 раза, снижает содержание свободной извести в 1,72 раза. Подобрана оптимальная концентрация модифицирующей добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, составляющая 10 % от массы извести.

6. Оценено влияние вида используемого высокопористого наполнителя на гидрофизические свойства покрытий на основе разрабатываемой теплоизоляционной ССС. Установлено, что покрытия на основе ВВП и ВПП характеризуются низкими значениями коэффициента водостойкости $K_{\text{разм}}$, равными соответственно 0,67 и 0,72. Покрытия на основе ПСМ и ЗМА являются водостойкими. Коэффициент размягчения $K_{\text{разм}}$ составляет соответственно 0,82 и 0,84.

7. Установлено, что покрытия на основе микросфер обладают повышенной трещиностойкостью по сравнению с покрытиями с

применением ВВП и ВПП за счет снижения усадочных деформаций, повышения когезионной прочности и предельной растяжимости. Коэффициенты трещиностойкости $K_{тр}$ покрытий на основе микросфер составляют 26,1 и 20,9 (для ПСМ и ЗМА соответственно).

8. Выявлено, что за счет использования для отделки газобетонных блоков марок D300-D600 разрабатываемой ССС конденсация влаги начинается при существенно более низкой температуре наружного воздуха.

9. Обоснована целесообразность применения в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС молотых отходов производства газобетона. При добавление размолотого до удельной поверхности $S_{уд}$ $635 \text{ м}^2/\text{кг}$ газобетона в разрабатываемую ССС, с применением ЗМА, наблюдается рост прочности сцепления отделочного покрытия с газобетоном $R_{адг}$ с 0,53 МПа до 0,71 МПа, с применением ПСМ с 0,49 МПа до 0,65 МПа.

10. Рассчитаны технико-экономические показатели и разработана технологическая схема производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона. Установлено, что разработанная ССС, полученная с использованием в качестве наполнителя ЗМА, является экономически эффективной. Себестоимость покрытия, полученного с использованием ЗМА, в 3,32 раза ниже себестоимости покрытия, полученного с использованием ПСМ. Разработан проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные смеси для отделки газобетона. Технические условия» (Приложение Б).

Рекомендации. Проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные смеси для отделки газобетона. Технические условия», а также рецептуру и технологию изготовления известковой теплоизоляционной ССС с применением в качестве наполнителя ЗМА, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, рекомендуется внедрить на предприятиях по производству ССС.

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

Перспективы дальнейшей разработки темы. Положения и выводы, изложенные в диссертации, могут представлять методологическую основу для продолжения исследований по разработке новых теплоизоляционных составов.

Список литературы

1. Акжигитова Э.Р. Сухие строительные смеси на основе местных материалов / Э.Р. Акжигитова, Е.Е. Симонов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 3. – С. 46-49.
2. Ахтямов Р.Я. Легкие строительные штукатурные растворы с вермикулитовым наполнителем / Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – №11. – С. 16-17.
3. А.с. 698923 Способ получения алюмосиликатного наполнителя. / В.С. Сажин, М.К. Мокшина, С.Д. Дементьева, Р.И. Калинина, А.И. Волковская, Н.В. Игнатъев, А.Н. Ющенко. Оpubл. 30.11.1979 Бюл. № 43.
4. Бабков В.В. Аморфный микрокремнезем в процессах структурообразования и упрочнения цементного камня / В.В. Бабков, А.И. Габитов, Р.Р. Сахибгареев // Башкирский химический журнал. – 2010. – № 17-3. – С. 206-210.
5. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. – М: Издательство АСВ, 2003. – 96 с.
6. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей / Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 60-62.
7. Бобрышев А.Н. Анализ распределения наполнителя в структуре композитов / А.Н. Бобрышев, П.А. Зубарев, П.И. Кувшинов [и др.] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2012. – №1 (20).
8. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов / В.Н. Богословский – М.: Книга по Требованию, 2013. – 416 с.
9. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов/ под ред. Ю.М. Бутта. М: Высшая школа. 1973. 504 с.

10. Ватин В.И., Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков / В.И. Ватин, А.С. Горшков, А.В. Глумов // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №1. – С.28-33.

11. Вернигорова В.Н. Кинетика взаимодействия оксида кремния с катионами кальция в системе $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ бетонной смеси / В.Н. Вернигорова, С.М. Саденко // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – № 6-2. – С. 122-128.

12. Вишневский, А.А. Текущее состояние производства автоклавного газобетона в России / А.А. Вишневский, Г.И. Гринфельд, А.С. Смирнова // Современный автоклавный газобетон: сборник докладов науч.-практ. конференции. г. Екатеринбург, 22–24 ноября 2017 г. – С. 10-12.

13. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1979. — 476 с.

14. Голубев, В.И. Новые продукты на рынке добавок для сухих строительных смесей и бетонов / В.И. Голубев, П.Г. Василик // Строительные материалы. – 2006. – № 3. – С. 24-25.

15. Гоманн М. Поробетон: руководство / пер. с нем. под ред. А.С. Коломацкого. Белгород : Изд-во ЛитКараВан, 2010. 272 с.

16. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова // Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 8-10.

17. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высш. шк., 1989. 384 с.

18. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стекло. Кристаллические материалы: структура и свойства: справочное пособие / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. – М.: Стройиздат, 1995. – 584 с.

19. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.

20. ГОСТ 6992-68 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Метод испытаний на стойкость в атмосферных условиях (с Изменениями N 1, 2) – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 10 с.

21. ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

22. ГОСТ 965-89 Портландцементы белые. Технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 6 с.

23. ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости. – М: Стандартинформ, 2014. – 23 с.

24. ГОСТ 10832-2009. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 20 с.

25. ГОСТ 11118-2009. Панели из автоклавных ячеистых бетонов для наружных стен зданий. Технические условия. – М.: МНТКС, 2010. – 49 с.

26. ГОСТ 12865-67. Вермикулит вспученный. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1995. – 5 с.

27. ГОСТ 12966-85 Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия (С Изменениями № 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 12 с.

28. ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия (С Изменениями № 1, 2). – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.

29. ГОСТ 18299-72* Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости. – М: Государственный стандарт союза СССР, 1989. – 10 с.

30. ГОСТ 19007-73*. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

31. ГОСТ 25898-2012 Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию / – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.

32. ГОСТ 31356-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 2008. – 16 с.

33. ГОСТ Р 54855-2011. Материалы и изделия строительные. Определение расчетных значений теплофизических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2012. – 8 с.

34. ГОСТ Р 57336-2016/EN 998-1:2010 Растворы строительные штукатурные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2017. – 20 с.

35. ГОСТ Р ИСО 18434-1-2013 Контроль состояния и диагностика машин. Термография. Часть 1. Общие методы. М.: Изд. Стандартинформ – 39 с.

36. Государственная программа «Обеспечение доступным и комфортным жильём и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» в 2018-2025 гг. <http://government.ru/programs/204/events/>

37. Гринфельд, Г.И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона : учеб. Пособие / Г.И. Гринфельд. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. – 130 с.

38. Добавки для производства сухих строительных смесей. Каталог ООО «Еврохим-1 Функциональные добавки». Изд. 11, переработанное. – 68 с.

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

40. Дьяконов В.Г., Лонцаков О.А. Основы теплопередачи. Изд. Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011. 230 с.

41. Жерновский, И.В. Структурообразование известковых композитов в присутствии гидросиликатов и алюмосиликатов кальция / И.В. Жерновский, В.И. Логанина, С.Н. Кислицина [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №4 (25). – С. 42-47.

42. Загороднюк Л.Х. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур / Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик, Д.А. Беликов // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. 2014. – №18. – С. 112-119.

43. Загороднюк Л.Х. Сухие теплоизоляционные смеси на композиционных вяжущих: монография / Л.Х. Загороднюк. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 216с.

44. Загороднюк Л.Х. Эффективные строительные смеси для теплоизоляционных работ: монография / Л.Х. Загороднюк, Н.В. Ширина. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 181с.

45. Захаров, С.А. Высокоактивный метакаолин – современный активных минеральный модификатор цементных систем / С.А. Захаров, Б.С. Калачик // Строительные материалы. – 2007. – № 5. – С. 56-57.

46. Зельдович Я.Б., К теории реакции на пористом или порошкообразном материале, ЖФХ, т.13, 1939, с.163.

47. Зырянов М.С. Определение пуццолановой активности метакаолина / М.С. Зырянов, А.М. Ахметжанов, А.С. Манушина [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. ТОМ XXX. – 2016. – № 7. – С. 44-46.

48. ИЗОЛТЕКО — полистиролбетонная теплоизоляционная штукатурка. [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.stroyunion.ru/i_store/item_707335/izolteko-polistirolbetonnaya-teploizolyacionnaya-shtukaturka-shtukaturki.html.

49. Иноземцев А.С. Полые микросферы – эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №10. – С.80-83.

50. Итоги отрасли в 2017 году. Прогноз балансов спроса и предложения в промышленности строительных материалов / Конференция производителей сухих строительных смесей DRY MIX OPEN, г. Москва, 28 февраля – 1 марта 2018 г.

51. Кириллов К.И. Облегченный кладочный раствор / К.И. Кириллов, А.А. Пашкевич, Е.Г. Первушин [и др.] // Сб. докл. Научно-техн. конф. с межд. участием «Строительная физика в XXI веке». – М.: НИИСФ, 2006. – С. 134-139.

52. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси / В.В. Козлов // М.: Изд-во АСВ, 2000. – 96 с.

53. Корнеев, В.И. Ускоритель схватывания портландцемента на основе аморфного гидроксида алюминия ОАО "Бокситогорский глинозем" / В.И. Корнеев, И.Н. Медведева, А.Г. Илясов // 3-я международная конференция "Сухие строительные смеси для XXI века: технология и бизнес" – СПб: 2003 – С.16-17.

54. Корниенко С.В. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений – 2015 – №6 (33). – С.19-33.

55. Кошев, А.Н. Закономерности массопереноса в отделочном слое на основе теплоизоляционной сухой строительной смеси в процессе увлажнения. / А.Н. Кошев, В.И. Логанина, В.С. Демьянова [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – №1 (36). – С. 136-140.

56. Крайнов Д.В. Влияние влагосодержания на теплозащитные свойства ограждающей конструкции из ячеистого бетона / Д.В. Крайнов, Р.А. Садыков // Вестник МГСУ. – 2011. – №3. – С. 403-410.

57. Кретьова У.Е. Инновационный наполнитель для цементных систем - керамические микросферы // Вестник МГСУ. – 2010. – №4. – С. 37-39.

58. Кудинов И.В., Стефанюк Е.В. Теоретические основы теплотехники. Часть II. Математическое моделирование процессов теплопроводности в многослойных ограждающих конструкциях. Изд. Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. 422 с.

59. Кузнецова, Т. В. Получение и свойства цеолитосодержащих цементов / Т.В. Кузнецова, Е.Н. Потапова, А.С. Горелик [и др.] // Цемент, 1989. – №7. – С. 22-23.

60. Легкая штукатурка для ячеистого бетона ATLAS KB-TYNK. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.atlasplus.ru/catalog/atlas/atlas-kb-tynk.html>.

61. Лесовик, В.С. Закон сродства структур в материаловедении. / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, И.Л. Чулкова // Фундаментальные исследования. – 2014. – №3. Часть 2. – С. 267-271.

62. Лесовик В.С. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, Д.А. Беликов [и др.] // Строительные материалы. – 2014. – №7 – С. 82-85.

63. Литовский Е.Я., Пучкелевич Н.А. Теплофизические свойства огнеупоров: Справочное издание М.: Изд. Металлургия. 1982. 150 с.

64. Логанина В.И. Активность высокопористых наполнителей для теплоизоляционных сухих строительных смесей / В.И. Логанина, С.Н. Кислицина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений «Строительство». – 2017. – № 5 (701). – С. 43-48.

65. Логанина В.И. Влияние вида наполнителя на механизм передачи тепла в теплоизоляционных штукатурках / В.И. Логанина, М.В. Арискин, М.В. Фролов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 5. – С. 6-10.

66. Логанина, В.И. Гидрофизические свойства покрытий для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство – 2016. – № 3 (28). – С. 33-37

67. Логанина, В.И. Добавка на основе синтетических алюмосиликатов для известкового композиционного вяжущего. / В.И. Логанина, П.А. Полубояринов, А.Д. Рыжов // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 3 (28). – С. 28-32.

68. Логанина, В.И. Известковое композиционное вяжущее с применением добавки на основе алюмосиликатного наполнителя / В.И.

Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2015. – №6. – С. 70-73.

69. Логанина, В.И. Известковый состав для отделки стен зданий из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – №2. – С. 33-37.

70. Логанина, В.И. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – №3. – С. 6-8.

71. Логанина, В.И. Исследование процесса тепломассопереноса в штукатурных покрытиях / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 1. – С. 19-24.

72. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости покрытий на основе теплоизоляционного состава для отделки газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1 (30). – С. 30-35.

73. Логанина, В.И. Оценка экономической эффективности использования теплоизоляционных отделочных составов. / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №3 (32). – С. 80-83.

74. Логанина, В.И. Разработка добавки на основе смеси синтезированных гидросиликатов кальция и алюмосиликатов для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов [и др.] // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – №2. – С. 93-95.

75. Логанина, В.И. Структура и свойства тонкодисперсных наполнителей на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2 (31). – С. 167-169.

76. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые составы для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство – 2016. – № 2 (27). – С. 75-80.

77. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые составы, наполненные стеклянными полыми микросферами / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений «Строительство». – 2016. – № 4 (688). – С. 47-52.

78. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник МГСУ. – 2016. – №5. – С. 82-92.

79. Логанина, В.И. Тонкодисперсный наполнитель на основе силикатов кальция для известковых смесей / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №5 (52). – С. 144-147.

80. Логанина, В.И. Эффективность применения теплоизоляционной штукатурки с применением микросфер для отделки газобетонной ограждающей конструкции / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений «Строительство». – 2016. – № 5 (689). – С. 55-62.

81. Лыков А.В., Тепломассообмен. М., Энергия, 1972, 558 с.

82. Макаревич, М.С. Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Макаревич М.С. – Томск, 2005. – 22 с.

83. Макаренкова Ю.В. Цементные растворы с различной объемной долей цементной матрицы / Ю.В. Макаренкова, К.В., Беляев // Научные чтения, посвященные памяти 24 Горчакова Г.И. и 75-летию с момента основания кафедры "Строительные материалы" МГСУ. – Москва. – 2009. – С. 153-155.

84. Малявина Е.Г. Строительная теплофизика: Учебное пособие / Мос. гос. строит. ун-т. – М.: МГСУ, 2011. 152 с.

85. Нациевский С.Ю. Производство сухих строительных смесей с применением вспученного перлита / С.Ю. Нациевский, Л.В. Алексеева // Сухие строительные смеси. – 2012. – № 6. – С. 26-27.

86. Низовцев М.И. Влияние градиента температуры на влагоперенос в пористых материалах / М.И. Низовцев, А.Н. Стерлягов, В.И. Терехов // Ползуновский вестник. – 2012. – №3/1 – С.17-21.

87. Орешкин Д.В. Моделирование и разработка оптимальной структуры сверхлёгкого цементного раствора / Беляев К.В., Макаренко Ю.В. // Строительные материалы. – 2011. – № 5. – С. 42-43.

88. Орешкин Д.В., Первушин Г.Н. Изменение влажности и теплопроводности цементного тампонажного камня с полыми стеклянными микросферами во времени. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 2 . – С. 41-43.

89. Павлюкевич, Н.В. Введение в теорию тепло- и массопереноса в пористых средах. - Минск: Ин-т тепло- и массообмена НАНБ, 2002. – 140 с.

90. Пат. RU23948006 Российская федерация, C01B38/08, C01B38/10, C01B24/24. Состав теплоизоляционной штукатурной смеси для внешних и внутренних работ [Текст] / Ю.М. Сидоренко (RU), О.А. Макаренко (RU), В.Ю. Синельников (RU) патентообладатели Ю.М. Сидоренко (RU), О.А. Макаренко (RU), В.Ю. Синельников (RU) – 3 с.

91. Пат. RU2525536 Российская федерация, C04B 26/04 (2006.01) C09D 5/02, C04B 111/20, C04B 111/40, C09D 109/08 Состав для теплоизоляции строительных конструкций [Текст] / В.И. Ларионов (RU), Н.Я. Смирнов (RU), Г.Е. Нерсинян (RU), Д.В. Ларионов(RU) патентообладатели В.И. Ларионов (RU), Н.Я. Смирнов (RU), Г.Е. Нерсинян (RU), Д.В. Ларионов(RU) – 19 с.

92. Пат. RU2586354 Российская федерация, C04B 28/04, C04B 38/08, C04B 111/20 Облегчённая сухая кладочная смесь [Текст] / В.С. Семенов (RU), Т.А. Розовская (RU) патентообладатель ФГБОУ ВПО "Московский

государственный строительный университет" (ФГБОУ ВПО "МГСУ") (RU) – 7 с.

93. Пат. RU2662741 Российская федерация, C04B 28/04, C04B 28/10, C04B 28/12, C04B 38/00, C04B 38/00 Состав изоляционного строительного раствора [Текст] / Каролин Мира Перманер (ES), Давид Гонсало Санс (ES) патентообладатель Сэн-Гобэн Вебер (FR) – 2с.

94. Пашкевич А.А. Эффективные цементные штукатурные растворы с полыми стеклянными микросферами: диссертация кандидата технических наук: 05.23.05. – Москва, 2009.– 141 с.

95. Постановление Правительства РФ от 20.05.2017 № 603 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18».

96. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2018 год и на плановый период 2019 и 2020 годов http://economy.gov.ru/wps/wcm/connect/2e83e62b-ebc6-4570-9d7b-ae0beba79f63/prognoz2018_2020.pdf?MOD=AJPERES

97. Протасевич А.М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. Изд. Высшэйшая школа, 2015. 240 с.

98. Пухаренко, Ю.В. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей / Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина [и др.] // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1 (26). – С. 98-103.

99. Пышкина, И.С. Разработка режима синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция для известковых отделочных составов / И.С. Пышкина // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 9. – С. 50-52.

100. Пышкина, И.С. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением силикатосодержащих наполнителей / И.С. Пышкина // Молодой ученый. – 2014. – № 3. – С. 337-339.

101. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. Теоретические аспекты улучшения теплотехнических характеристик пористых систем / Ш.М. Рахимбаев, Т.В. Аниканова // Строительные материалы. – 2007. – №4 – С. 26-28.

102. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения. 1 редакция. Белгород.: Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона, 2010. 3 с.

103. Рынок сухих строительных смесей России: состояние и краткосрочный прогноз. / Конференция производителей сухих строительных смесей DRY MIX OPEN, г. Москва, 28 февраля – 1 марта 2018 г.

104. Саградян А.А. Исследование пуццоланической активности зольных микросфер / А.А. Саградян, Г.А. Зимакова // Известия. Высших учебных заведений. «Строительство» – 2012. – № 2 (638). – С. 43-47.

105. Садовникова, М.А. Свойства синтезированной добавки на основе алюмосиликатов для известковых сухих строительных смесей. / М.А. Садовникова // Молодой ученый. – 2014. – № 3. – С. 342-344.

106. Садовникова, М.А. Синтезированные алюмосиликаты и их применение в сухих строительных смесях // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 11. – С. 19-22.

107. Сафронова Т.Ю. Исторический опыт и современные перспективы производства метакаолина в России и за рубежом / Т.Ю. Сафронова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Познание. – 2012 – № 3. – С. 15-16.

108. Сафронова Т.Ю. Эффективность модифицирующих добавок для смешанного воздушного вяжущего / Т.Ю. Сафронова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Познание. – 2012 – № 3. – С. 17-19.

109. Семенов В.С. Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций с применением облегченных кладочных растворов /

В.С. Семенов, Т.А. Розовская // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 16-19.

110. Семенов В.С. Энергоэффективные сухие кладочные смеси на основе полых микросфер / В.С. Семенов, Т.А. Розовская, Д.В. Орешкин // Сб. науч. труд. III (XII) Всероссийской (Международной) конференция «Бетон и железобетон – взгляд в будущее». – М.: МГСУ, 2014 г. – С. 344-352.

111. Соломатов, В. И., Селяев В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / под ред. В. И. Соломатов. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.

112. СП 50.13330.2012. «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

113. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменениями N 1, 2)».

114. СТО 501-52-01-2007 Проектирование и возведение ограждающих конструкций из ячеистых бетонов Часть 1.

115. Строкова, В.В. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом изоморфизма сырья; дис. на соис. уч. степ. докт. техн. наук./ В.В. Строкова. Белгород, 2004. – 440 с.

116. Сумской Д.А. Физико-химические основы проектирования теплоизоляционных растворов / Сумской Д.А. [и др.]. // Научные технологии и инновации (XXI научные чтения) Белгород, 06 октября 2017 – 07 октября 2016 г.– С. 399-405.

117. Теплоизоляционная штукатурка с полистиролом LB-KNAUF ISOPUTZ EXTRA. [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://file.knauf.ua/Tekhnichna_dokumentatsiya/Fasadni_systemy/Tekhnichni_1_ysty/Lasselsberger%20Knauf/LB%20Izoputz%20Extra%200407.pdf.

118. Теплоизоляционная штукатурка Tirotherm. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://tirotherm-ru.1gb.ru/about.html>

119. Трофимов Б.Я. Теплоизоляционные штукатурные растворы с вермикулитовым наполнителем / Б.Я. Трофимов, Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов // Цемент и его применение. – 2002. – № 6. – С. 16-19.

120. Уэндландт У. Термические методы анализа / У. Уэндландт. М.: Мир, 1978. С. 145-212.

121. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 1.01.2018).

122. Фролов, М.В. Структурообразование известковых композитов в присутствии модифицирующей добавки / М.В. Фролов // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – №7. – С. 51-54.

123. Халиуллин М.И. Пуццоланическая активность керамзитовой пыли и её зависимость от удельной поверхности / М.И. Халиуллин, Р.З. Рахимов, А.Р. Гайфуллин // Известия КГАСУ. – 2013. – №3 (25). – С.98-104.

124. Шангина Н.Н. Особенности производства и применения сухихстроительных смесей для реставрации памятников архитектуры / Н.Н. Шангина, А.М. Харитонов // Сухие строительные смеси. – 2011. – № 4. – С. 16-19.

125. Шахова Л.Д. Оценка активности минеральных добавок для композиционных цементов/ Л.Д. Шахова, Д.Е. Кучеров, Ю.А. Аксютин // Сухие строительные смеси. – 2012. – № 4. – С. 29-32.

126. Штукатурка цементная теплоизоляционная фасадная КНАУФ-Грюнбанд [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.knauf.ru/catalog/find-products-and-systems/knauf-grjunband.html#showtab-tab_1054_1

127. Abidia S. Impact of perlite, vermiculite and cement on the Young modulus of a plaster composite material: Experimental, analytical and numerical approaches / S. Abidia, Y. Joliffb, C. Favottoa // Composites Part B: Engineering. – 2016. – № 92. – pp. 28-36. (<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.02.034>)

128. Allen, W. I. Lime as a building material. / W. Allen, I. Allen, L.A. McDonald // The structural engineer. – 2003. – № 17. – 317 p.
129. Ashurst, J. The technology and use of hydraulic lime /J. Ashurst // Lime news. – 1997. – № 5. – pp. 51-58.
130. Cachim, P. Effect of Portuguese metakaolin on hydraulic lime concrete using different curing conditions / P. Cachim, A. Velosa, F. Rocha // Construction and Building Materials. – 2010. – № 24. – pp. 71-78.
131. Cachova, M. Application of Ceramic Powder as Supplementary Cementitious Material in Lime Plasters / M. Cachova, E. Vejmelkova, D. Konakova [et al.] // Materials science-medziagotyra. – 2016. – № 22-3. – pp. 440-444. <https://doi.10.5755/j01.ms.22.3.7433>
132. Cachova, M. Hygric properties of lime-cement plasters with the addition of a pozzolana / M. Cachova, J. Kot'atkova, D. Konakova [et al.] // Procedia Engineering: Ecology and new building materials and products. – 2016. – № 151. – pp. 127-132. <https://doi.10.1016/j.proeng.2016.07.403>
133. Cachova, M. Ternary binder based plasters with improved thermal insulating ability / M. Cachova , D. Konakova , E . Vejmelkova [et al.] // 3rd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies (IMST 2017) 27 – 29 September 2017, Riga, Latvia, № 251. (<https://doi:10.1088/1757-899X/251/1/012008>)
134. Ceresit СТ 24. Штукатурка для ячеистого бетона [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.ceresit.ru/ru/products/vnutrennyay_otdelka/shtukaturki/ct-24-smoothing-plaster11.html.
135. Chen, J. P. Experimental Study of External Thermal Insulation Mortar Based on Fly Ash Floating Bead / J. P. Chen // Advanced Materials Research. – 2012. – № 476-478. – pp. 1643-1646.
136. Colangeloab, F. Mechanical and thermal properties of lightweight geopolymer composites / F. Colangeloab, G. Rovielloab, L.Ricciottiab [et al.] //

Cement and Concrete Composite. – 2018. – № 86. – pp. 266-272.
(<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.11.016>)

137. Courard L. Durability of mortars modified with metakaolin / L. Courard, A. Darimont, M. Schouterden [et al.] // Cement and Concrete Research. – September 2003. – Volume 33. Issue 9. – pp 1473-1479.

138. DIN 4108-3-2014. Thermal protection and energy economy in buildings - Part 3: Protection against moisture subject to climate conditions - Requirements and directions for design and construction. 2014. – 77 pp.

139. Fangac Shi Qiang The identification of organic additives in traditional lime mortar / Shi Qiang Fangac, Hui Zhangb, Bing Jian Zhangab [et al.] // Journal of Cultural Heritage. – March–April 2014. – Volume 15. Issue 2. – pp 144-150.
(<https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.001>)

140. Govaertsa, Y. Performance of a lime-based insulating render for heritage buildings / Y. Govaertsa, R. Hayenb, M. Bouwc, A. Verdoncka [et al.] // Construction and Building Materials. – 2018. – № 159. – pp. 376-389.
(<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.115>)

141. Koksala, F. Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures / F. Koksala, O. Gencelb, M. Kayac // Construction and Building Materials. – 2015. – № 88. – pp. 175-187. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.021>)

142. Koňákováa, D. Lime-based plasters with combined expanded clay-silica aggregate: Microstructure, texture and engineering properties/ D. Konakova, M. Cachova, E. Vejmelkova [et al.] // Cement and Concrete Composites. – 2017. – № 83. – pp. 374-383.
(<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.08.005>)

143. Lagazzoa A. Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar / A.Lagazzoa, S.Vicinib, C.Cattaneoc [et al.] // Construction and Building. – Materials Volume 116, 30 July 2016. – pp. 384-390.
(<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.122>)

144. Lee Jeong-Bae Physical properties of polymer-modified cement mortars by the functional additives and modification of polymerization / Jeong-Bae Lee, Seung-Ho Park, Seong-Soo Kim // Journal of Ceramic Processing Research. – 2017. – Vol. 18, № 3. – pp. 220-229.

145. Lesovik, V.S. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works / V.S. Lesovik, L.L. Chulkova, L.K. Zagordnyuk [et al.] // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Volume: 9. – Issue: 12, pp.1100-1105.

146. Okiemute, R. Influence of slag composition and temperature on the hydration and microstructure of slag blended cements/ R. Okiemute, L. Black // Construction and Building Materials. – 2016. – № 126. – pp. 496-507. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.057>)

147. Palomar, I. A multiscale model for pervious lime-cement mortar with perlite and cellulose fibers / I. Palomar, G. Barluenga // Construction and Building Materials. – 2018. – № 160. – pp. 136-144. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.032>)

148. Palomar, I. Lime–cement mortars for coating with improved thermal and acoustic performance // I. Palomar, G. Barluenga, J. Puentes // Construction and Building Materials. – 2015. – № 75. – pp. 306-314. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.012>)

149. Pavlíka, Z. Modified lime-cement plasters with enhanced thermal and hygric storage capacity for moderation of interior climate / Z. Pavlíka, J. Forta, M. Pavlíkováa [et al.] // Energy and Buildings – 2016. – № 126. – pp. 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.004>

150. Pat. CN103086653(A) C04B28/00 Thermal insulation anti-cracking mortar / Hu Jiaming [CN], assignee Hu Jiaming [CN].

151. Pat. CN103803930(A) C04B28/14 Light composite noise reduction and thermal insulation cement mortar / Sun Gaijin, Zou XiaoxiaI [CN], Xu Aixiu[CN], assignee Anhui Meiyu Energy Saving Environmental Protection Technology Application Co., Ltd. [CN].

152. Pat. CZ20100305 (A3) C04B28/10 Dry plaster mixture / Terzian Sergej [CZ], Sarkisjan Aram Artasesovic [CZ], assignee Terzian Sergej [CZ], Sarkisjan Aram Artasesovic [CZ].

153. Pat. EP2380861(A2) C04B28/02, C04B28/04, C04B28/14, C04B41/50 Ready-mix mortar / Terzian Sergej [CZ], Sarkisjan Aram Artasesovic [CZ], assignee Terzian Sergej [CZ], Sarkisjan Aram Artasesovic [CZ].

154. Pat. JP2014152072(A) C04B28/02, C04B14/18, C04B16/08, C04B18/08, C04B18/20, C04B20/00, C04B24/08, C04B24/38 Cement composition, mortar composition, and mortar cured product / Oshima Masanori [JP], assignee UBE IND Ltd. [JP].

155. Pat. KR20120091696(A) C04B16/08, C04B24/02, C04B28/16, C04B38/00 Gypsum based lightweight mortar composition / Noh Wook Hwan, Shin Young Hoon [KR], Kim Sung Hoon [KR] assignee Samsung Fine Chemicals Co., Ltd. [KR].

156. Pat. SI23608(A) C04B28/00, C04B24/00 Technological process of production of mineral vapor permeable thermal mortar / Klanecek s Ivan [SI], Koppermann Ulrich [SI] assignee Klanecek s Ivan [SI].

157. Pat. WO2014004943(A1) C04B28/06 Dry mix for composite cement / Pike Clinton Wesley [US], Gaubert Gerald Thomas jr. [US], Barcenas Armando Perez [US], assignee Oldcastle APG, inc [US].

158. Pat. WO2014162097(A1) C04B28/04, C04B28/10, C04B28/12 Insulating mortar composition / Mira Permanyer Caroline [ES]; Gonzalo Sanz David [ES], assignee Saint Gobain Weber [FR].

159. Reactive Aluminas [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.almatis.com/market-en/refractories/reactive-aluminas/>

160. Saad B.H. Farid Practicable activated aluminosilicates mortar / Farid Saad B.H. // *Ceramics International*. – November 2014. – Volume: 9 Issue: 12. – pp. 15027-15032. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.06.106>

161. Seputyte-Jucike, J. The effects of modifying additives and chemical admixtures on the properties of porous fresh and hardened cement paste /

J. Seputyte-Jucike, M. Kligys, M. Sinica // Construction and building materials. – 2016. – № 127. – pp. 679-691. <https://doi.10.1016/j.conbuildmat.2016.10.014>

162. Shoukrya, H. Enhanced physical, mechanical and microstructural properties of lightweight vermiculite cement composites modified with nano metakaolin / H. Shoukrya, M. F. Kotkatab, S. A. Abo-EL-Eneinc, M. S. Morsya, S.S. Shebla // Construction and Building Materials. – 2016. – № 112. – pp. 276-283. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.209>)

163. The European Standard EN 998-1:2010, Specification for Mortar for Masonry Rendering and Plastering Mortar, European Committee for Standardization, Bruxelles, 2011.

Приложение А

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Ремонтно-строительное управление «Спецработ»

Юридический адрес: 440028, г. Пенза, ул. Г.Титова, 1

Почтовый адрес: 440052, г. Пенза, ул. Чкалова, 40

Тел. Факс: (8412) 32-28-21, 32-28-22.

ИНН 5835025043, КПП 583501001, Р/с 10702810948000110814 Отделение №8624

Сбербанка России г. Пенза БИК 045655635, к/с 30101810000000000635

«4» мая 2018г.

АКТ

опытно-производственного апробирования теплоизоляционной известково-цементной сухой строительной смеси

Мы, нижеподписавшиеся, генеральный директор ООО РСУ «Спецработ» Пшестилевский В.А., начальник ПТО ООО РСУ «Спецработ» Алешина Т.А., профессор ПГУАС Логанина В.И., аспирант ПГУАС Фролов М.В., составили настоящий акт о том, что нами было произведено опытно-производственное апробирование теплоизоляционной известково-цементной сухой строительной смеси для отделки газобетона с применением в качестве наполнителя зольных микросфер алюмосиликатных, в качестве добавки - смесь гидросиликатов и алюмосиликатов кальция. Состав теплоизоляционной сухой строительной смеси для отделки газобетона включает известь-пушонку, зольные микросферы алюмосиликатные, белый цемент, добавку на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, размолотые отходы производства газобетона, пластификатор Melflux 2651 F, релаксифицируемый порошок Vinnapas 8031 H, гидрофобизатор олеат натрия.

Отделочный состав готовили перемешиванием сухой строительной смеси с водой в барабане лопастной мешалки.

Были отделаны поверхности стен из газобетонных блоков складского помещения. Перед нанесением поверхность очищалась от пыли и грязи. Состав наносился ручным способом. При нанесении отделочного состава отмечалась его хорошая удобоаносимость и высокая водоудерживающая способность. Расход смеси составил 6,6 кг/м² при нанесении слоя толщиной 10 мм. Общая площадь отделанной поверхности составила 480 м².

При визуальном осмотре отслаивания и растрескивания отделочного слоя не зафиксировано.

Генеральный директор
ООО РСУ «Спецработ»

Начальник ПТО
ООО РСУ «Спецработ»

Профессор ПГУАС

Аспирант ПГУАС



В.А. Пшестилевский

Т.А. Алешина

В.И. Логанина

М.В. Фролов

Приложение Б

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



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО РСУ «Спецработ»
В.А.Пшестилевский
« 4 » _____ 2018 года

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ИЗВЕСТКОВО-ЦЕМЕНТНЫЕ СУХИЕ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ГАЗОБЕТОНА**
Технические условия

2018 г.

ПРОЕКТ СТО

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 29.06.2015 № 162-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "О стандартизации в Российской Федерации" 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» Фролов М.В.

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

II

2

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	8
5.1 Требования к материалам.....	9
5.2 Характеристики смеси.....	9
6 Характеристика исходного сырья и материалов	11
7 Технология изготовления известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси для отделки газобетона.....	13
7.1 Рецептура известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести для отделки газобетона	13
7.2 Технология изготовления теплоизоляционной сухой строительной смеси для отделки газобетона.....	14
8 Контроль производства.....	15
9 Методы испытаний.....	16
10 Правила приемки.....	18
11 Требования безопасности и охраны окружающей среды.....	20
12 Упаковка.....	22
13 Маркировка.....	22
14 Транспортирование и хранение	23
15 Гарантии изготовителя.....	23

ПРОЕКТ СТО

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

III

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ИЗВЕСТКОВО-
ЦЕМЕНТНЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
СМЕСИ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ГАЗОБЕТОНА**

Введён
впервые

Технические условия

Дата введения 7 июня 2018

1 Назначение и область применения

Настоящий стандарт устанавливает организацию, порядок и контроль производства известково-цементной теплоизоляционной сухой строительной смеси (далее смеси) для отделки газобетона с применением в качестве наполнителя зольных микросфер алюмосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алюмосиликатов кальция.

Стандарт распространяется на штукатурные составы, применяемые в качестве теплоизоляционного слоя для отделки стен зданий и сооружений, построенных с использованием газобетонных блоков.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом регламенте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы;

ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы;

ГОСТ Р 1.0-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения (с Изменением N 1);

ПРОЕКТ СТО

ГОСТ Р 1.4-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения;

ГОСТ 4.233-86* Система показателей качества продукции. Строительство. Растворы строительные. Номенклатура показателей;

ГОСТ Р 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Аттестация испытательного оборудования. Основные положения (с Изменением N 1);

ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1);

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2);

ГОСТ 12.4.021-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы вентиляционные. Общие требования (с Изменением N 1);

ГОСТ 12.4.034-2001 (ЕН 133-90) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка;

ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме;

ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия (с Изменением N 1);

ГОСТ 24544-81 Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести (с Изменением N 1)

ГОСТ 31356-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний

ГОСТ 31357-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия;

ГОСТ 5802-86 Растворы строительные. Методы испытаний;

ГОСТ 33757-2016 Поддоны плоские деревянные. Технические условия;

ПРОЕКТ СТО

ГОСТ 10354-82 Пленка полиэтиленовая. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5);

ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов (с Изменениями N 1, 2, 3);

ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия;

ГОСТ 5382-91 Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа;

ГОСТ 965-89 Портландцементы белые;

ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия (с Изменениями N 1, 2);

ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия;

ГОСТ 28013-98 Растворы строительные. Общие технические условия (с Изменением N 1);

ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности;

СП 82-101 - 98 Приготовление и применение растворов строительных;

СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. (Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003).

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

ПРОЕКТ СТО

отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения, обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие термины, обозначения и сокращения:

3.1 водопоглощение: Свойство материала, характеризующее его способность самопроизвольно впитывать и удерживать воду при контакте с водой без приложения давления (при смачивании).

3.2 водоудерживающая способность: Способность растворных смесей удерживать воду в слое смеси при ее контакте с пористым влагопоглощающим материалом.

3.3 жизнеспособность: Максимальный период времени, в течение которого свежеприготовленная растворная смесь (после дополнительного перемешивания без добавления воды) сохраняет свои технологические свойства.

3.4 наполнители: Природные (молотый природный камень, пески природные и молотые и др.) и искусственные вещества различной крупности, прочности и твердости, создающие совместно с вяжущими веществами структуру затвердевшего раствора.

3.5 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.

3.6 морозостойкость: Способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности.

3.7 прочность сцепления с подложкой (адгезия): Способность контактной зоны, не разрушаясь, сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям, возникающим в условиях растяжения при отрыве.

ПРОЕКТ СТО

3.8 паропроницаемость: Способность материала пропускать водяные пары при наличии разницы абсолютной влажности воздуха (парциального давления пара в воздухе) по обе стороны материала.

3.9 прочность при сжатии: Способность материала в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям, возникающим под влиянием механических напряжений.

3.10 теплопроводность: Способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий под влиянием разности температур на поверхностях, ограничивающих его

3.11 растворная смесь: Смесь тщательно перемешанных вяжущего, мелкого заполнителя, необходимых добавок и воды для затворения, готовая к применению.

3.12 сухая строительная смесь: Смесь сухих компонентов, содержащие вяжущие, наполнители, заполнители и модифицирующие добавки

3.13 усадка: Уменьшение объема строительного материала, возникающее в результате влагоотдачи при высыхании.

4 Общие положения

4.1 Состав представляет собой смесь, состоящую из извести, зольных микросфер алюмосиликатных, белого цемента, добавки на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, размолотых отходов производства газобетона, пластификатора, редицергируемого порошка, гидрофобизатора.

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

5 Технические требования

Теплоизоляционные известково-цементные смеси для отделки газобетона должны соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

5.1 Требования к материалам

5.1.1 Для приготовления смесей следует применять материалы:

- белый цемент по ГОСТ 965-89;
- добавка пластифицирующая Melflux 2651F;
- редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H;
- добавка модифицирующая на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция;
- размолотые отходы производства газобетона;
- зольные микросферы алюмосиликатные (ТУ 5951-001-87368958-2015);
- гидрофобизатор олеат натрия;
- известь гидратная (пушонка) по ГОСТ 9179-77.

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

5.1.3 Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ($A_{эфф}$) материалов, а также готовых смесей должна соответствовать требованиям ГОСТ 30108 для 1 класса и быть не более 370 Бк/кг.

5.1.4 Химические добавки не должны выделять в окружающую среду вредные вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК). Добавки вводят в сухие смеси в виде водорастворимого порошка или гранул.

5.2 Характеристики смеси

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

5.2.2 Основные технические характеристики теплоизоляционной известково-цементной смеси для отделки газобетона, с применением в качестве наполнителя зольных микросфер алюмосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алюмосиликатов кальция должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

ПРОЕКТ СТО

Таблица 1 - Нормы и требования, предъявляемые к смесям

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1	Влажность	Не более 0,30%	ГОСТ 31357-2007
2	Наибольшая крупность зерен заполнителя	Не более 0,63	ГОСТ 31357-2007
3	Содержание зерен наибольшей крупности	Остаток на сите 0,63 не более 0,50%	ГОСТ 31357-2007

5.2.3 Основные технические характеристики теплоизоляционной известково-цементной смеси для отделки газобетона, готовой к применению и покрытий на ее основе, с применением в качестве наполнителя зольных микросфер алюмосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Нормы и требования, предъявляемые к строительным смесям, готовым к применению и покрытиям на их основе

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Метод испытаний
1	2	3	4
1	Прочность при сжатии после 28 суток твердения	От 1,5 МПа до 7,5 МПа	ГОСТ 5802-86
2	Прочность сцепления покрытия при отрыве после 28 суток твердения	Не менее 0,6 МПа	ГОСТ 31356-2007
3	Средняя плотность	Не более 800 кг/м ³	ГОСТ 5802-86
4	Морозостойкость отделочного слоя	Не менее F35	ГОСТ 31356-2007
5	Водопоглощение при капиллярном подсосе	Не более 0,4 кг/м ² ·ч ^{0,5}	ГОСТ 31356-2007
6	Сопротивление паропроницанию	Не более 0,5 м ² ·ч·Па/мг	ГОСТ 25898-2012

ПРОЕКТ СТО

1	2	3	4
7	Водоудерживающая способность	Не менее 98 %	ГОСТ 5802-86
8	Деформация усадки	Не более 1 мм/м	ГОСТ 24544-81
9	Коэффициент теплопроводности	Не более 0,2 Вт/м·К	ГОСТ 7076-99

При необходимости могут быть установлены дополнительные показатели по ГОСТ 4.233 или условиям контракта.

5.2.4 Нормируемые показатели качества затвердевших растворов должны быть обеспечены в проектном возрасте в условиях естественного твердения при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 50 % - 60 %.

6 Характеристика исходного сырья и материалов

Качество исходного сырья для производства теплоизоляционной известково-цементной смеси для отделки газобетона, с применением в качестве наполнителя зольных микросфер алумосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алумосиликатов кальция, 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	2	3	4
1	Белый портландцемент	ГОСТ 5382-91; ГОСТ 965-89	-предел прочности при сжатии, растяжении, изгибе; -сроки схватывания; -химический состав клинкера.
2	Известь-пушонка	ГОСТ 9179-77	- активность; - температура и время гашения; - содержание непогасившихся зерен; - тонкость помола

ПРОЕКТ СТО

1	2	3	4
3	Зольные микросферы алюмосиликатные	ТУ 5951-001- 87368958-2015	- содержание микросфер размером более 500 мкм; - влажность; - содержание посторонних примесей;
4	Отходы производства газобетона		- удельная поверхность; - влажность;
5	Пластификатор Melflux 2651F	Технический паспорт компании BASF Construction Polymers GmbH от 03.2008	Принимается по паспорту поставщика
6	Добавка модифицирующая на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция		- удельная поверхность; - активность
7	Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	Технический паспорт компании Wacker Chemie AG. от 24.10.2017	Принимается по паспорту поставщика
8	Олеат натрия	Единый справочник и классификатор МТР МХК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика

ПРОЕКТ СТО

1	2	3	4
9	Вода	ГОСТ 23732	-водородный показатель рН. -окисляемость - грубодисперсные примеси в воде -максимально допустимое содержание ионов SO ₄

7 Технология изготовления теплоизоляционной смеси для отделки газобетона

7.1Рецептура теплоизоляционной известково-цементной смеси для отделки газобетона содержит такие компоненты как: известь гидратная (пушонка), белый портландцемент, размолотые отходы производства газобетона с $S_{уд}=635 \text{ м}^2/\text{кг}$, зольные микросферы алюмосиликатные, пластификатор Melflux 2651F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор олеат натрия и добавку на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция в массовых долях, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Рецепттура теплоизоляционной сухой строительной смеси на основе извести

№ п/п	Наименование компонентов	Состав, массовая доля, %
1	2	3
1.	Белый портландцемент	8,44
2.	Известь-пушонка	42,19
3.	Зольные микросферы алюмосиликатные	33,76
4.	Пластификатор Melflux 2651F	0,42
5.	Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	2,11
6.	Гидрофобизатор олеат натрия	0,42

ПРОЕКТ СТО

1	2	3
7.	Размолотые отходы производства газобетона	8,44
8.	Добавка на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция	4,22
ИТОГО:		100,00

7.2 Технология изготовления теплоизоляционной смеси для отделки газобетона.

7.2.1 Известь-пушонка из силосов поступает в смеситель.

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

7.2.3 Зольные микросферы алюмосиликатные из силосов поступает в смеситель.

7.2.4 Модифицирующая добавка на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция из силосов поступает в смеситель.

7.2.5 Размолотые отходы производства газобетона из силосов поступает в смеситель.

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

7.2.7 Подача редиспергируемого порошка, гидрофобизирующей добавки, гиперпластификатора к дозаторам осуществляется вручную через приемник микродобавок.

7.2.8 Процесс приготовления составов заключается в совместном смешивании отдозированных компонентов в смесительном модуле. Для смешивания возможно применяют смесители циклического действия.

7.2.9 Перед фасовкой смесь проверяется на соответствие нормативным документам.

7.2.10 При несоответствии отдельных показателей теплоизоляционной смеси для отделки газобетона требованиям стандарта ПТО ООО РСУ

ПРОЕКТ СТО

«Спецработ» производится постановка смеси на коррекцию состава с обязательным последующим перемешиванием.

7.2.11 Готовая теплоизоляционная смесь для отделки газобетона, соответствующая требованиям стандарта ПТО ООО РСУ «Спецработ», направляют на фасовку. Фасовка теплоизоляционной смеси для отделки газобетона предусмотрена как в крупную, так и в мелкую тару.

7.2.12 Из смесительного модуля готовая смесь поступает в модуль упаковки и выдачи, где предусматривается ее дозирование и расфасовка. Предусматривается фасовка одного вида: готовая смесь в тару различной емкости. Смесь упаковывается в мешки емкостью от 5 до 50 кг. Упакованная продукция на тележках отправляется на склад готовой продукции.

8 Методы испытаний

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

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

8.3 Пробы сухих смесей для проведения испытаний отбирают в соответствии с ГОСТ 31356-2007.

8.4 Водоудерживающую способность растворяемых смесей определяют по ГОСТ 5802-86 путем испытания уложенной на промокательную бумагу растворной смеси толщиной 12 мм.

8.5 Водопоглощение при капиллярном подсосе затвердевших растворяемых смесей определяют по ГОСТ 31356-2007.

8.6 Морозостойкость затвердевших растворов определяют по ГОСТ 31356-2007.

8.7 Паропроницаемость затвердевшего раствора определяют по ГОСТ 25898-2012.

ПРОЕКТ СТО

8.8 Теплопроводность затвердевшего раствора определяли по ГОСТ 7076-99.

8.9 Эффективность применяемых добавок определяют по ГОСТ 30459-2008.

8.10 Прочность сцепления покрытия определяют по ГОСТ 31356-2007.

8.11 Деформация усадки определяется по ГОСТ 24544-81.

8.12 Прочность при сжатии затвердевшего раствора определяли по ГОСТ 5802-86.

9 Контроль производства

9.1 Методы контроля производства теплоизоляционной смеси для отделки газобетона представлены в таблице 5.

ПРОЕКТ СТО

Таблица 5 – Контроль производства теплоизоляционной смеси для отделки газобетона

№	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	Все оборудование перед началом работы. Место осмотра - цех.	Состояние и чистота оборудования	Перед загрузкой сырья	Должно быть чистым, исправным, герметичным	Визуально	Инженер по качеству
2	Загрузка сырья в смеситель	Точность дозирования загружаемого сырья; время перемешивания;	Периодически, до полного смешивания	Согласно нормам технологического режима	Визуально	Инженер по качеству
3						
4	Тара	Чистота и исправность	Каждая партия	Должна быть чистой и исправной	Визуально	Бригадир
5	Фасовка	Точность дозировки; правильность оклейки; правильность нанесенной маркировки.	Через каждый час	- наименование изготовителя; - дата и место отбора проб; - номер партии; - дата изготовления.	ГОСТ 30515; ГОСТ 14192; визуально	Инженер по качеству

ПРОЕКТ СТО

10 Правила приемки

10.1 Теплоизоляционная смесь для отделки газобетона должна приниматься техническим контролером или лицом, ответственным за качество, предприятия-изготовителя.

10.2 Теплоизоляционная смесь для отделки газобетона принимается партиями. За партию принимают количество теплоизоляционной смеси для отделки газобетона одной рецептуры, изготовленной в течение одной смены из материалов одного вида и качества.

10.3 Приемку теплоизоляционной смеси для отделки газобетона осуществляют по результатам приемо-сдаточных и периодических испытаний.

10.4 Для проведения приемо-сдаточных испытаний отбирается проба в соответствии с требованиями ГОСТ 30515-2013.

10.5 Приемку по показателям для теплоизоляционных смесей для отделки газобетона: прочность, теплопроводность, паропроницаемость, средняя плотность 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), капиллярное водопоглощение, морозостойкость, трещиностойкость.

10.9 Периодичность испытаний по показателям:

- прочность сцепления с основанием – один раз в месяц;

ПРОЕКТ СТО

- капиллярное водопоглощение, удельная эффективная активность естественных радионуклидов – один раз в шесть месяцев;

- морозостойкость, трещиностойкость – один раз в год.

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

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

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

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

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

10.14 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;

ПРОЕКТ СТО

- 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, не радиоактивны, относятся к веществам IV класса опасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.007-76.

11.2 Помещение, в котором изготавливаются сухие смеси, должно быть оснащено приточно-вытяжной вентиляцией с механическим побуждением, в соответствии со СП 60.13330.2012 и ГОСТ 12.4.021-75.

11.3 Работники, занятые в производстве сухих смесей, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.034-2001 (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 12.1.005-88 и составлять не более 4 мг/м³.

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, извести, заполнителей, наполнителей) оценивают по содержанию

ПРОЕКТ СТО

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 10354-82.

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.

ПРОЕКТ СТО

12 Упаковка

12.1 Упаковка теплоизоляционных смесей для отделки газобетона 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 33757-2016.

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

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

14.3 Теплоизоляционные сухие строительные смеси должны храниться в упаковке предприятия-изготовителя, в сухих помещениях с влажностью воздуха не более 70 %, при температуре не ниже +5°C в условиях, обеспечивающих сохранность упаковки и предохранения от увлажнения.

14.4 При хранении мешки с сухими смесями следует укладывать на деревянные поддоны на расстоянии 0,15 м от земли в ряды по высоте не более 1,8 м, 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 12 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.