

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и
строительства»

На правах рукописи

Фролов Михаил Владимирович

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

Направление 08.06.01 – Техника и технология строительства»

Направленность «Строительные материалы и изделия»

Научно-квалификационная работа (диссертация)

Научный руководитель:
д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой «Управление качеством
и технология строительного производства»
Логанина Валентина Ивановна

Пенза 2018

Оглавление

Оглавление.....	2
Введение	5
Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования.....	12
1.1 Анализ существующих тенденций развития рынка сухих строительных смесей и газобетона	12
1.2 Особенности эксплуатации отделочных покрытий для газобетона	16
1.3 Анализ влияния высокопористых наполнителей на свойства штукатурных составов	23
1.4 Обоснование возможности регулирования свойств теплоизоляционных известковых покрытий за счет использования модифицирующих добавок	27
1.5 Цели и задачи исследования	29
Глава 2. Характеристика материалов и методика проведения исследований	31
2.1 Характеристика материалов	31
2.2 Методика оценки физико-механических свойств сухих строительных смесей и покрытий на их основе	42
2.3 Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов	46
2.4 Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе разрабатываемой сухой строительной смеси.....	49
2.5 Методика оценки пуццоланической активности материалов	51
2.6 Методы оценки кинетики тепломассопереноса в отделочном покрытии	54
2.7. Прочие методы исследований.....	55
2.8 Статистическая обработка результатов испытаний	58
Глава 3. Обоснование выбора компонентов при создании теплоизоляционных сухих строительных смесей.....	60
3.1 Анализ влияния наполнителей на механизм передачи тепла в исследуемых растворных композитах	60
3.2 Оценка влияния наполнителей на кинетику влагопереноса в исследуемых растворных композитах	68

3.3 Определение активности наполнителей.....	72
3.3 Анализ распределения микросфер в структуре растворного композита.....	75
Выводы по главе 3	82
Глава 4. Разработка рецептуры теплоизоляционной сухой строительной смеси ...	84
4.1 Физико-химические свойства добавки на основе смеси алюмосиликатов и гидросиликатов кальция	84
4.2 Оценка влияния добавки на основе смеси алюмосиликатов и гидросиликатов кальция на свойства известковых композитов.....	92
4.3 Исследование возможности применения отходов производства газобетона в рецептуре разрабатываемой теплоизоляционной ССС	97
4.4 Реологические и технологические свойства разрабатываемой теплоизоляционной сухой строительной смеси	100
Выводы по главе 4	104
Глава 5. Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе теплоизоляционной сухой строительной смеси	106
5.1 Исследования влияния наполнителей на гидрофизические свойства теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов.....	106
5.2 Оценка влияния наполнителей на трещиностойкость теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов	111
5.3 Оценка влияния разрабатываемых теплоизоляционных отделочных составов на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции .	116
5.4 Прочность сцепления с газобетоном теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов	121
5.5 Исследование морозостойкости теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов	123
5.6 Техничко-экономические показатели и технологическая схема производства разрабатываемых теплоизоляционных ССС	127
5.7 Оценка экономической эффективности использования разрабатываемых теплоизоляционных ССС.....	142
Выводы по главе 5.....	145

Заключение	148
Список литературы	152
Приложение А. Акт опытно-производственного апробирования теплоизоляционной известково-цементной сухой строительной смеси смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов.....	168
Приложение Б. Проект СТО. Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные смеси для отделки газобетона. Технические условия.....	169

Введение

Актуальность темы исследования. Ужесточение требований к энергоэффективности вновь возводимых зданий вызвало увеличение объемов использования при строительстве газобетонных блоков марок D300-600, 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.

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 разработана рецептура эффективной теплоизоляционной сухой строительной смеси пониженной плотности для отделки газобетона марок D300-600, 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 сухих строительных смесей 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., Čáchová M., Vejmelková 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. 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 сухой строительной смеси для отделки газобетона марок D300-600, 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:

– обосновать выбор вяжущего и наполнителя в теплоизоляционных сухих строительных смесях для отделки газобетона марок D300-600;

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

Научная новизна работы. Обоснована возможность эффективного использования известкового вяжущего и зольных алюмосиликатных микросфер в теплоизоляционных сухих строительных смесях для отделки газобетона марок D300-600. Установлено, что применение в качестве вяжущего извести в теплоизоляционной сухой строительной смеси позволяет повысить паропроницаемость отделочного состава и улучшить теплозащитные качества получаемых покрытий за счет снижения содержания вяжущего и уменьшения средней плотности покрытия. Выявлено, что использование в качестве наполнителя зольных микросфер алюмосиликатных способствует повышению трещиностойкости покрытий за счет снижения усадочных деформаций в процессе твердения, увеличения предельной растяжимости и когезионной прочности отделочного покрытия. Установлено, что применение зольных микросфер алюмосиликатных в составе теплоизоляционной сухой строительной

смеси способствует более равномерному распределению влагосодержания по сечению покрытий в процессе увлажнения по сравнению с другими видами пористых наполнителей.

Установлены закономерности изменения реологических, технологических, физико-механических свойств известковых отделочных составов, полученных с использованием в качестве модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, заключающиеся в том, что введение добавки способствует снижению содержания свободной извести с 49,1% до 28,6%, повышению прочности при сжатии в 2,87 раза, ускорению набора пластической прочности спустя 5 часов после затворения в 9,9 раза, увеличению коэффициента размягчения в 2,2 раза.

Установлено, что вид применяемого наполнителя в теплоизоляционных сухих строительных смесях не оказывает влияние на способность покрытий отражать тепловое излучение и конвективную составляющую передачи тепла через покрытия. Коэффициент излучения ϵ покрытий независимо от вида применяемого наполнителя составляет 0,93.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность снижения плотности, теплопроводности, повышения паропроницаемости покрытий на основе теплоизоляционных сухих строительных смесей для отделки газобетона марок D300-600 за счет использования в качестве наполнителя зольных алюмосиликатных микросфер, в качестве вяжущего извести.

Разработан состав теплоизоляционной сухой строительной смеси, предназначенный для отделки газобетона и содержащий известь-пушонку, зольные микросферы алюмосиликатные, белый цемент, добавку на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов, размолотые отходы производства газобетона, пластификатор Melflux 2651F, редицергируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность покрытия $\rho=650$ кг/м³, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,137$ Вт/(м·°С), адгезионная

прочность $R_{адг}=0,71$ МПа, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15$ мг/(м·ч·Па), коэффициент размягчения $K_{разм}=0,82$, прочность при сжатии $R_{сж}=4,1$ МПа.

Разработаны технологическая схема производства известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси 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 основой исследования служат общенаучные методы, которые основаны на обобщении, применении принципа рассмотрения во взаимосвязи, методе системного подхода, эксперименте.

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

Положения, выносимые на защиту:

– результаты исследований влияния вида используемого в составе теплоизоляционной известковой сухой строительной смеси 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 алюмосиликатов кальция;

– состав и технология производства теплоизоляционной сухой строительной смеси для отделки газобетона.

Степень достоверности результатов работы. Достоверность научных выводов и результатов работы обеспечивается хорошей сходимостью результатов экспериментальных исследований с производственным апробированием, проведением экспериментов на исследовательском оборудовании, которое прошло метрологическую поверку, статистической обработкой результатов 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.). Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ПТО ООО РСУ «Спецработ».

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 24 научные работы, 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 Scopus, одна статья в издании, входящем 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 131 наименований, приложения А.

Диссертация изложена на 188 страницах машинописного текста и содержит 41 рисунок, 45 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 [79]. Согласно нему, после серьезного снижения доли строительства в структуре валового внутреннего продукта Российской Федерации 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 увеличится с 5.7% до 6.5%. 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 [95,105]. 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 [78]. Для выполнения требований к тепловой защите зданий при проектировании наружных многослойных ограждающих конструкциях 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 [49]. 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 тыс. м³ 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 [49].

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 тысяч м³. С конца 2010 года в Саратове функционирует завод ДСК «ГРАС — Саратов», мощность производства автоклавного газобетона которого составляет 450 тысяч 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 сухие строительные смеси (ССС).

Динамика производства модифицированных ССС в России представлена на рисунке 1.1 [86].

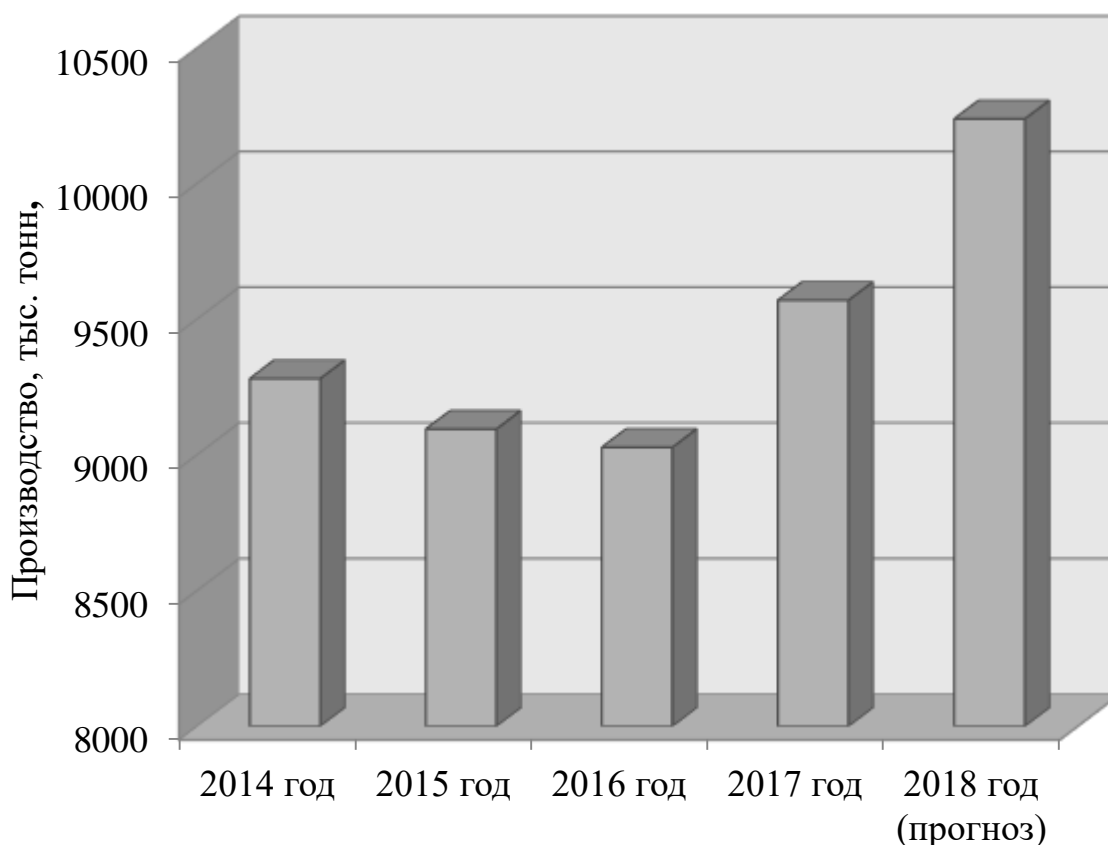


Рисунок 1.1 – Динамика производства модифицированных ССС в России [86]

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 тысячи тонн ССС, то в 2017 году всего 87 тысяч тонн.

Среднесрочные прогнозы для рынка ССС более благоприятные. Различные варианты прогнозов потребления ССС представлены на рисунке 1.2 [86].

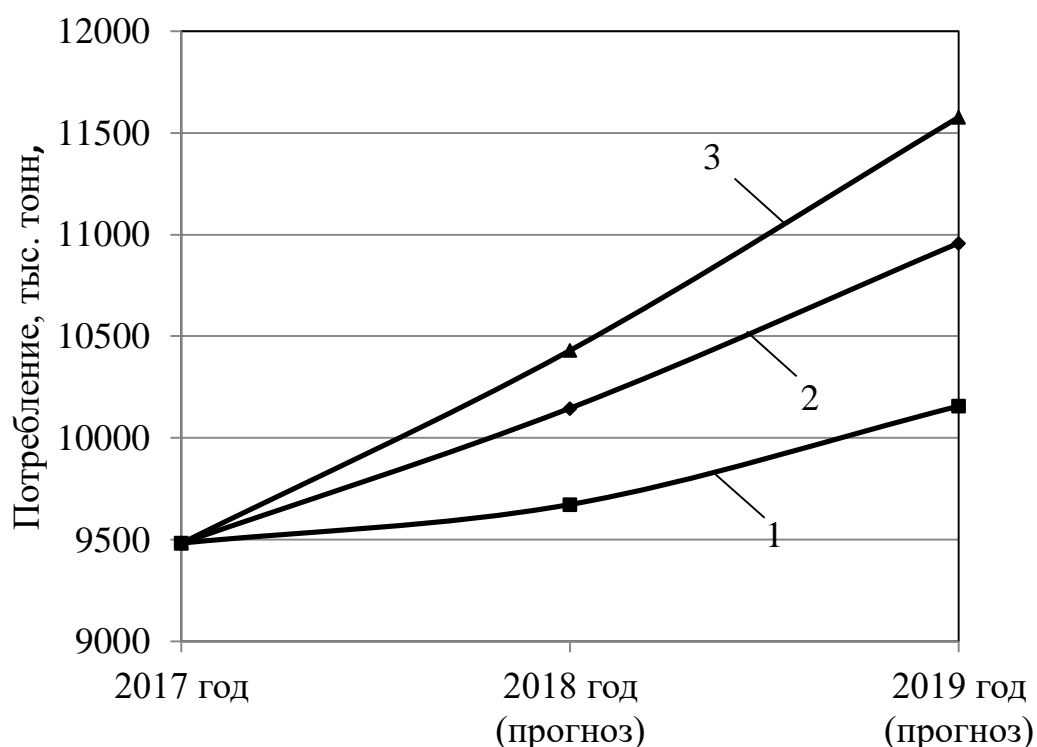


Рисунок 1.2 – Прогнозы потребления ССС в России: 1 – пессимистический прогноз; 2 – наиболее вероятный прогноз; 3 – оптимистический прогноз

В ближайшие 2 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. тонн в год; завод «Петрович» в Санкт-Петербурге, производительностью 120 тыс. тонн в год; завод «Крепс» в Арамиле, производительностью 100 тыс. тонн в год; завод «Седрус» в Ставропольском крае, производительностью 200 тыс. тонн в год; завод «Техносервис» в Калининграде, производительностью 150 тыс. тонн в год; завод «Магма» в Ульяновской области, производительностью 260 тыс. тонн в год; завод «Ремикс» в Санкт-Петербурге, производительностью 250 тыс. тонн в год; завод «Кнауф» в Самарской области [86].

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.

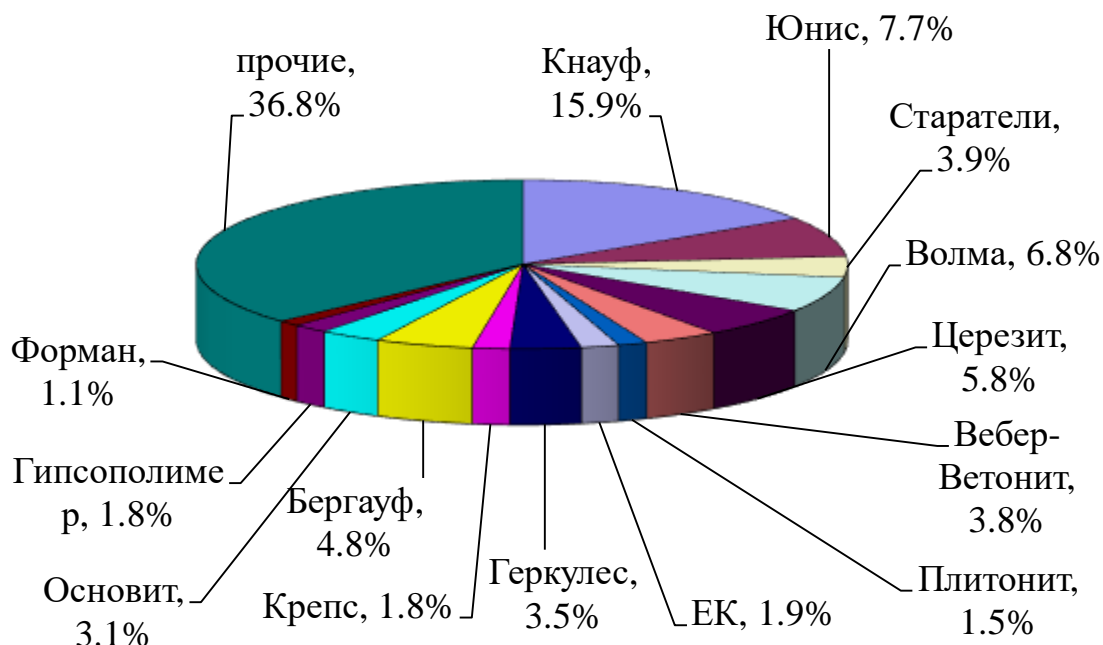


Рисунок 1.3 – Доли рынка производителей ССС в России [86]

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 ограждающей конструкции. Использование современных отделочных составов также должно повышать долговечность строительных конструкций из газобетона. Для этого штукатурное покрытие должно характеризоваться высокой прочностью сцепления штукатурного 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)[85];

– СТО 501-52-01-2007 Проектирование и возведение ограждающих конструкций из ячеистых бетонов Часть 1 (СТО 501-52-01-2007)[96];

– 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
Сопротивление паропрооницанию, 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)	$R_{сц}^{250ц} \geq 0,75R_{сц}^0$	Не нормируется	Не нормируется	$R_{сц}^{250ц} \geq 0,75R_{сц}^0$
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 нагревом 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 максимальную 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 [55]. 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 отапливаемого 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» 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;

2) общее количество конденсирующейся влаги за один сезон не должно превышать нормируемой величины.

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) [37]. Увлажнение газобетона также ухудшает его теплозащитные качества.



Рисунок 1.4 – Отрыв штукатурки с высоким сопротивлением паропрооницанию от газобетонной кладки [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 [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 [8,70]. 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» [131]. 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	CS I	от 0,4 до 2,5 МПа
	CS II	от 1,5 до 5,0 МПа
Капиллярное водопоглощение	W 1	$\leq 0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$
Теплопроводность	T 1	$\leq 0,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
	T 2	$\leq 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

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, предназначенными 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, вспученный вермикулитовый песок, пенополистирольный наполнитель и др. [61,101,109,125].

Вспученный перлитовый песок на данный момент самый часто применяемый как в России, так и за рубежом наполнитель, использующийся при разработке рецептур теплоизоляционных ССС [71,115,120,126]. Вспученный перлит 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» [59,116]. 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. Например, коэффициент паропроницаемости покрытий на основе ССС «Ceresit СТ 24. Штукатурка для ячеистого бетона» составляет 0,035 мг/м·ч·Па, коэффициент теплопроводности 0,18 Вт/м·К.

Вспученный вермикулитовый песок получают в результате высокотемпературной обработки гидратированных слюд. Данный наполнитель обладает схожими свойствами со вспученным перлитовым песком и его также иногда используют при разработке рецептур теплоизоляционных ССС [2,121,130]. 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 [117,118]. Данный наполнитель использован в рецептуре теплоизоляционной штукатурки «ИЗОЛТЕКО», теплоизоляционной штукатурки «ISOPUTZ EXTRA» немецкой компании Knauf, теплоизоляционной австрийской штукатурки «Tirotherm» [47,99,100]. Отличительными особенностями покрытий, получаемых с использованием данных штукатурок, является низкая плотность и теплопроводность. Плотность покрытий на основе штукатурки «ИЗОЛТЕКО» 250 кг/м³, теплопроводность 0,051 Вт/м²·°С, плотность покрытий на основе штукатурки «Tirotherm» 235 кг/м³, теплопроводность 0,063 Вт/м²·°С, теплопроводность покрытий на основе теплоизоляционной «ISOPUTZ EXTRA» 0,090 Вт/м²·°С. При этом прочность при сжатии покрытий на основе представленных составов не превышает 1,2 МПа, что не позволяет рекомендовать их использовать для наружной отделки газобетона.

Перспективным является использование в рецептуре 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 должна уменьшаться не так значительно, как при использовании в качестве наполнителей вспученного перлитового и вермикулитового песка.

В строительстве сейчас широко используются два вида микросфер, отличающихся способом производства. Стекланные полые микросферы производят из измельченного натриевоборосиликатного стекла при высокой температуре в газопламенных печах. Зольные микросферы алюмосиликатные (ценосферы) получают из образовавшейся при сжигании угля золы. Микросферы

в строительстве используются в качестве наполнителя в кладочных и тампонажных растворах [50,74]. 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 паропроницания, обладают хорошей трещиностойкостью, хорошо воспринимают растягивающие усилия [81,108,110,111,127]. 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 вспученный вермикулитовый песок и вспученный перлитовый песок [76]. 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 наружной отделки стен из газобетонных блоков марок может позволить значительно снизить вероятность

образования влаги 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. 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]. 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. [1,114,122]. К минеральным добавкам, получаемым из отходов промышленных предприятий, можно отнести топливные золы, гранулированные шлаки, кремнеземные отходы и др. [90,113,124,129]. 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 [64,83]. 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 [82].

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 [52]. К таким модифицирующим добавкам относятся немецкая добавка Alumina STC-20 и отечественная добавка и АмГА [128].

На данный момент проведено достаточно исследований, подтверждающих высокую эффективность использования природных цеолитов и синтетических алюмосиликатов в качестве активных минеральных добавок при производстве ССС [38,58]. В работах [55,56] установлено, что в результате взаимодействия извести с алюмосиликатами повышается водостойкость, ускоряется отверждения и расчет механическая прочность получаемых покрытий.

В качестве активной минеральной добавки используется метакаолинит, получаемый из измельченной и обожженной при высокой температуре глины [90]. При использовании метакаолинита повышение прочности и улучшение гидравлических свойств известкового состава происходит за счет образования гидроалюмината кальция [44,112].

Представляет интерес исследование возможности использования в рецептуре известковой теплоизоляционной ССС для отделки газобетона, в качестве модифицирующей добавки одновременно гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, в качестве наполнителя – микросфер. Благодаря одновременному использованию микросфер и добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов 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 алюмосиликатов 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 D300-600. Из-за этого возникает несоответствие теплофизических и деформационных характеристик отделочного слоя и газобетона, что приводит к значительным внутренним напряжениям и интенсивно 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 целью настоящей работы является разработка рецептуры и технологии производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона, покрытия на основе которой обладают достаточными эксплуатационными свойствами и не отличаются от теплопроводности и паропроницаемости газобетона марок D300-600.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать выбор вяжущего и наполнителя в теплоизоляционных сухих строительных смесях для отделки газобетона, покрытия на основе которой

обладают достаточными эксплуатационными свойствами и не отличаются от теплопроводности и паропроницаемости газобетона марок D300-600;

- оценить влияние наполнителей на механизм передачи тепла и влаги в покрытиях на основе теплоизоляционных сухих строительных смесей;

- рассмотреть пространственную модель теплоизоляционного композита оптимальной структуры, состоящего из известкового вяжущего и микросфер и исходя из этого, рассчитать оптимальное содержание микросфер;

- обосновать целесообразность применения добавки на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция в рецептуре теплоизоляционных известковых сухих строительных смесей для отделки газобетона;

- выявить закономерности структурообразования известкового композита в присутствии добавки гидросиликатов и алюмосиликатов кальция;

- разработать рецептуру теплоизоляционной известковой сухой строительной смеси для отделки газобетона с применением в качестве наполнителя микросфер, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, и установить технологические и эксплуатационные свойства покрытия на ее основе;

- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси для отделки газобетона в промышленное производство

Глава 2. Характеристика материалов и методика проведения исследований

2.1 Характеристика материалов

Для приготовления разрабатываемых в работе сухих строительных смесей 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;
- релаксируемый порошок;
- гидрофобизирующую добавку;
- водоудерживающую добавку.

В качестве вяжущих использовали:

- гашеную известь (пушонку) активностью 84 %, полученная на Каменском предприятии «Атмис-сахар» для технологических целей, истинной плотностью 2200 кг/м³, насыпной плотностью 480 кг/м³, с удельной поверхностью 1050 м²/кг.

- белый цемент без минеральных добавок, соответствующий требованиям ГОСТ 965-89 [22].

В качестве высокопористых наполнителей использовали 4 различных материала (стеклянные полые микросферы, зольные микросферы алюмосиликатные, вспученный вермикулитовый песок, вспученный перлитовый песок), технические характеристики которых представлены ниже.

Стеклянные полые микросферы представляют собой белый порошок, состоящий из замкнутых газонаполненных оболочек практически идеальной сферической формы. На рисунке 2.1 представлен электронно-микроскопический снимок стеклянных полых микросфер.

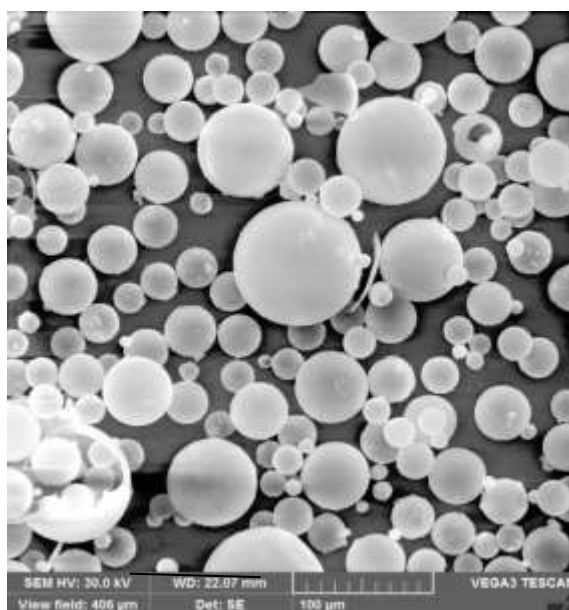


Рисунок 2.1 – Электронно-микроскопический снимок стеклянных полых микросфер

В работе использованы стеклянные полые микросферы 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 $1 \dots 3 \text{ мкм}$, соответствуют требованиям [103]. Результаты гранулометрического анализа, использованных в работе стеклянных полых микросфер, представлены на рисунке 2.2.

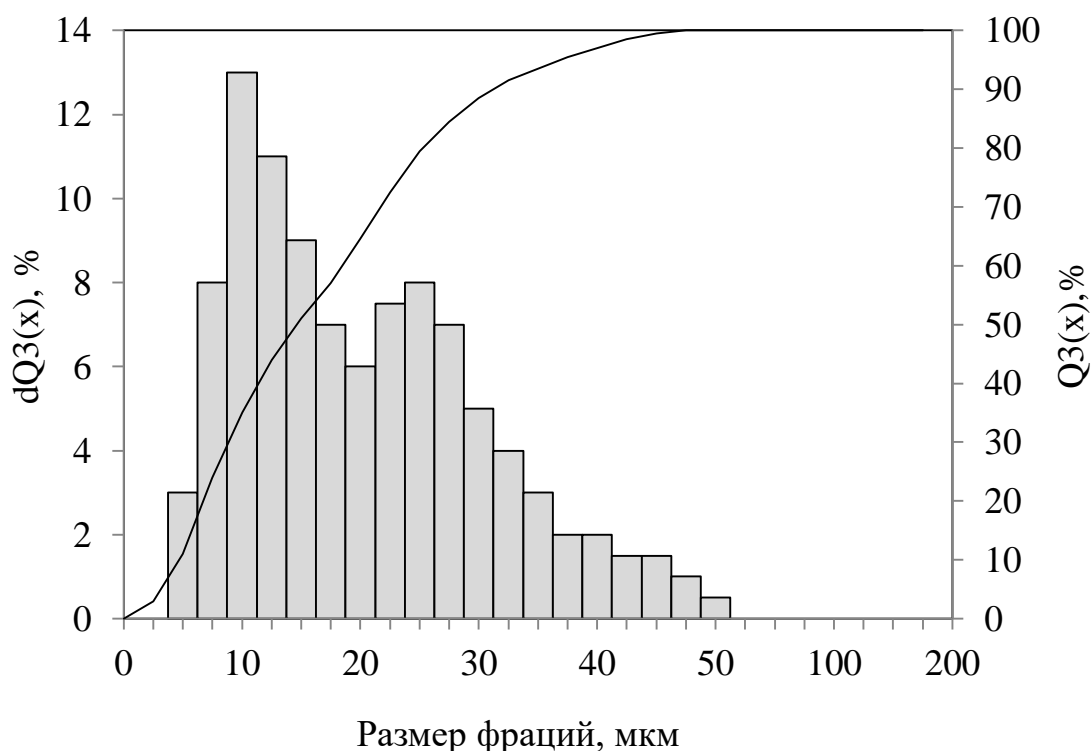


Рисунок 2.2 – Гранулометрический состав стеклянных полых микросфер

Установлено, что гранулометрический состав стеклянных полых микросфер 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%.

Зольные микросферы алюмосиликатные представляют собой серый порошок, состоящий из замкнутых газонаполненных оболочек не идеальной сферической формы. На рисунке 2.3 представлен электронно-микроскопический снимок зольных микросфер алюмосиликатных.

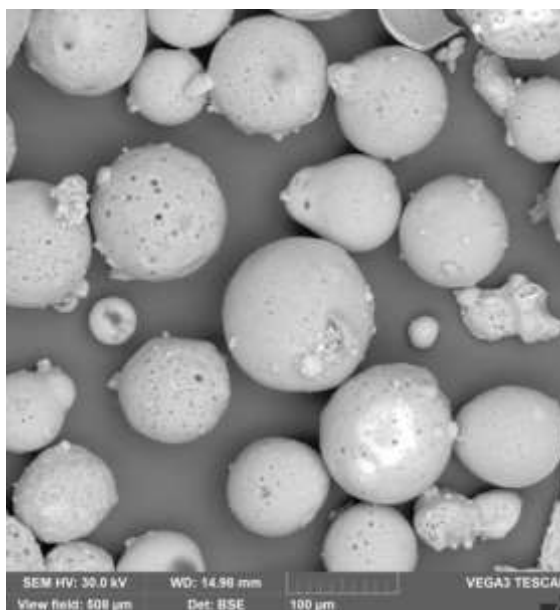


Рисунок 2.3 – Электронно-микроскопический снимок зольных микросфер алюмосиликатных

Зольные микросферы алюмосиликатные 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 нормам [102]. Гранулометрический анализ состав зольных микросфер алюмосиликатных представлен на рисунке 2.4.

Установлено, что гранулометрический состав зольных микросфер алюмосиликатных 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%.

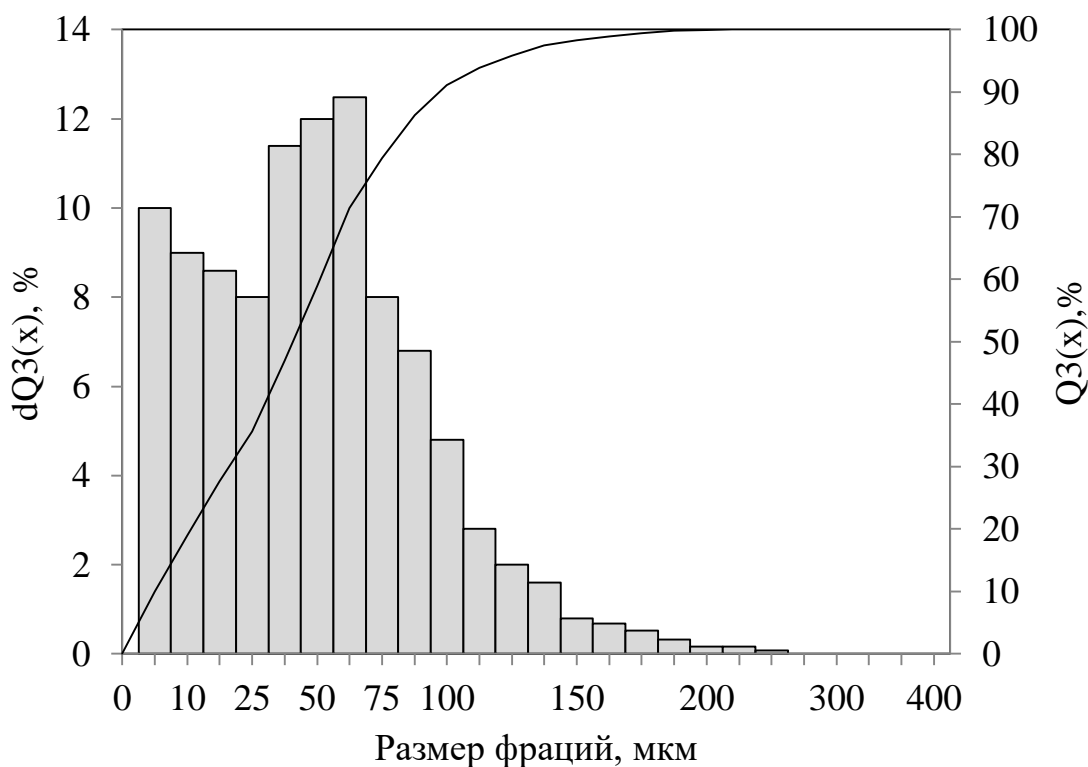


Рисунок 2.4 – Гранулометрический состав зольных микросфер алюмосиликатных

Средний диаметр 1 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 1 микросферы, m^3 ;

Средний объем 1 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 1 микросферы для каждой из фракций, m^3 ;

$Q_3(1)$, – содержание частиц каждой из фракций, %;

Результаты расчетов для стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Геометрические характеристики микросфер

Материал	Средний диаметр 1 микросферы d_{M1} , м	Средний объем 1 микросферы V_{M1} , м ³
Стекланные полые микросферы	$25,00 \cdot 10^{-6}$	$8,177 \cdot 10^{-15}$
Зольные микросферы алюмосиликатные	$76,28 \cdot 10^{-6}$	$232,279 \cdot 10^{-15}$

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

Вспученный перлитовый песок 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 алюмосиликатов 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

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

Таблица 2.3 – Физико-химические показатели сульфата алюминия технического (очищенного)

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	Неслеживающиеся пластинки, брикеты, куски, неопределенной формы и разного размера массой не более 10 кг белого цвета. Допускаются бледные оттенки серого, голубого или розового цвета
Массовая доля оксида алюминия, %	16,0, не менее
Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %	0,3, не более
Массовая доля железа в пересчете на оксид железа (III), %	0,02, не более
Массовая доля мышьяка в пересчете на оксид мышьяка, %	0,001, не более

В качестве пластифицирующих добавок применяли:

- Кратасол ПФМ (ТУ 5745-365-05800142-2011);
- Sika ViscoCrete 3180;
- С-3 (ТУ 6-36-020429-625);
- Melment марки F 15 G;
- Melflux марки 2651 F.

Добавка Кратасол ПФМ – порошок темно-коричневого, 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 таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Физико-химические показатели Кратасол ПФМ

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	Порошок темно-коричневого цвета
Массовая доля воды, %	8,0, не более
Показатель активности водородных ионов 2,5%-ного водного раствора, ед. рН	7,0–9,0
Массовая доля сухих веществ, %	95,0, не менее
Содержание хлоридов, %	0,1, не более

Суперпластификатор Sika ViscoCrete 3180 – это основанный на поликарбоксилатных эфирах суперпластификатор. Основные технические характеристики суперпластификатора Sika ViscoCrete 3180 представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики Sika ViscoCrete 3180

Наименование показателя	Значение показателя
Основа	Водные композиции модифицированных поликарбоксилатных эфиров
Внешний вид	Мутная жидкость светло-коричневого цвета
Плотность, кг/м ³	1060–1090
Показатель рН	4,0–6,0
Сохраняемость подвижности смеси, ч	3, не менее
Пластифицирующий эффект без снижения прочности во все сроки твердения, мм	125, не менее

Суперпластификатор С-3 – это порошок светло-коричневого цвета. Химический состав добавки представлен смесью полимерных соединений разной

относительной молекулярной массы, нейтрализованных едким натром. Добавку получают при конденсации технических лингосульфонов и сульфокислот нафталина с формальдегидом. Основные показатели добавки С-3 приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Основные показатели суперпластификатора С-3

Наименование показателя	Значение показателя
Массовая доля активного вещества в пересчете на сухой продукт, %	90, не менее
Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора с массовой долей 2,5 %	7,0–9,0
Пластифицирующий эффект без снижения прочности во все сроки твердения, мм	125, не менее
Плотность, кг/м ³ , не менее	500, не менее

Добавка Melment марки F 15 G – это основанный на модифицированных меламинформальдегидах легко сыпучий порошок аэрозольной сушки (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Основные показатели Melment F 15 G

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	порошок белого цвета
Химическая основа	меламинформальдегид
Насыпная плотность, кг/м ³	550–850
Потери массы при нагревании, %	4,0
рН 20 % раствора при 20 °С	7,0–10,0
Рекомендуемая дозировка (масса добавки % на массу вяжущего)	0,2–2,0

Добавка Melflux марки 2651 F – это основанный на модифицированных поликарбоксилатах легко сыпучий порошок аэрозольной сушки (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Основные показатели Melflux 2651 F

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	порошок желтоватого цвета
Химическая основа	полиэфиркарбоксилат
Насыпная плотность, кг/м ³	300–600
Потери массы при нагревании, %	2,0
pH 20 % раствора при 20 °С	6,5–8,5
Рекомендуемая дозировка (масса добавки % на массу вяжущего)	0,05–1,5

В качестве редиспергируемых порошков применялись:

- Neolith P 4400;
- Mowilith Pulver DM 1142 P;
- VINNAPAS 5044N;
- VINNAPAS 8031H;

Добавка Neolith P4400 – сополимерный порошок, основанный на винилацетате и версатате винила. Основные показатели добавки приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Свойства редиспергируемого порошка Neolith P 4400

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	Порошок белого цвета
Система стабилизации	Поливиниловый спирт
Плотность, кг/м ³	400–600
Содержание твердых частиц, %	98–100

Добавка Mowilith Pulver DM 1142 P – это порошок состоящий из поливинилового спирта и мономеров этилена, винилацетата.

Добавка VINNAPAS 5044N – редиспергируемый в воде дисперсионный порошок сополимера этиленвинилацетата с хорошей устойчивостью к омылению. Основные показатели добавки приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Основные показатели добавки VINNAPAS 5044N

Наименование показателя	Значение показателя
Содержание твердого вещества, %	98,5–99,5
Насыпная плотность, кг/м ³	400–500
Внешний вид	Белый порошок
Антикоагулянт-эмульгаторная система	Поливиниловый спирт
Размер частиц свыше 400 мкм, %	4, не более
Свойства пленки	Мутная, эластичная

Добавка VINNAPAS 8031H –редиспергируемый в воде дисперсионный порошок тройного сополимера этилена, виниллаурата и винилхлорида. Основные показатели добавки приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Основные показатели добавки VINNAPAS 8031H

Наименование показателя	Значение показателя
Тип смолы	Тройной сополимер этилена, виниллаурата и винилхлорида
Антикоагулянт	Поливиниловый спирт
Содержание твердого вещества, %	98,5–99,5
Внешний вид	Белый порошок
Насыпная плотность, кг/м ³	400–500
Размер частиц свыше 400 мкм, %	4, не более
Свойства пленки	Мутная, гибкая

В качестве гидрофобизирующих добавок применялись:

- Zincum-5;
- олеат натрия.

Добавка Zincum-5 – это гидрофобизирующей порошок на основе стеарата цинка. Основные показатели добавки Zincum-5 приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Основные показатели добавки Zincum-5

Наименование показателя	Значение показателя
Цвет порошка	Белый, желтовато-белый
Содержание оксида цинка, %	13,8, не менее
Массовая доля воды, %	0,5, не более
Плотность, кг/м ³	266
Температура плавления, °С	121
Содержание свободных жирных кислот, %	0,41, не более

Добавка олеат натрия– это гидрофобизирующей порошок на основе олеата натрия. Основные показатели добавки олеат натрия приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Основные показатели добавки олеат натрия

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	Порошок белого, иногда желтоватого цвета
Содержание олеата натрия, %	88–92
Содержание свободного NaOH, %	0,2–0,4
Растворимость при 20 ⁰ С, кг/кг	0,1
pH (10 кг/м ³) при 20 ⁰ С	11

В качестве водоудерживающих добавки применяли добавку метилцеллюлозу марки FMC 2094.

Добавка Mecellose FMC 2094 обладает свойством удерживать воду в растворе и противодействовать испарению, адсорбированию впитывающим основанием. Обеспечивает загущение раствора и улучшает его адгезионные свойства. Свойства и эффективность добавки Mecellose FMC 2094 при любом её применении определяется характеристиками приведенными в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Основные показатели добавки Mecellose FMC 2094

Наименование показателя	Значение показателя
Содержание активного вещества, %	90, не менее
Содержание влаги, %	8, не более
Содержание сульфатной золы, %	2, не более
Плотность, кг/м ³	250-550
Температура разложения, °С	220

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

Для затворения сухой строительной смеси применяли 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 тампоном из фильтровальной бумаги свободную от керосина часть прибор. В прибор Ле-Шателье небольшими порциями при помощи ложечки засыпали порошок до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигал одного из делений в пределах верхней градуированной части. Затем определяли уровень жидкости в приборе. Объем высыпанного порошка V (м³) определялся по разности отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости. Истинную плотность исследуемого материала $\rho_{ист}$ (кг/м³) 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 м³, который заполнялся исследуемым материалом с небольшим избытком. Затем деревянной линейкой на уровне с краями сосуда срезали излишек порошка. Сосуд с исследуемым материалом взвешивали. Массу порошка находили вычитанием из полученного результата массы сосуда. Насыпную плотность материала $\rho_{\text{нас}}$ (кг/м³) вычисляли по формуле:

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

где m – масса порошка, кг;

V – объем сосуда, м³.

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 грань образца измеряли в трех местах. Размер каждой грани (a , b , c) вычисляли как среднее арифметическое значение трех последовательных измерений, проводимых в трех разных местах каждой грани. Среднюю плотность исследуемого материала $\rho_{\text{ср}}$ (кг/м³) вычисляли по формуле:

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

где m – масса образца, кг;

V – объем образца, м³, 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 измерения усилий у испытательной машины ИР 5057-50 в зависимости от вида использованного силового датчика варьируется от 50 до 50 000 Н с точностью до 1 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 $R_{сж}$ (Па) образцов определяли по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.7)$$

где P – разрушающая сила, Н;

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

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

$$R_{уд} = \frac{R_{сж}}{\rho_{ср}} \quad (2.8)$$

Для оценки адгезионной прочности покрытия на основе разрабатываемого состава применяли метод отрыва штампа (нормальный отрыв) по ГОСТ 31356-2007 [32]. Метод основан на определении силы отрыва штампа от поверхности покрытия. Изготавливали образцы: на подложку (газобетон), наносился исследуемый отделочный состав. Спустя 27 суток хранения образцов к отделочному покрытию с помощью эпоксидного клея (ЭДП-ТУ 0751-018-48284381-00) приклеивали штампы квадратной формы размером 50x50 мм. Еще через 24 ч хранения образцы устанавливали горизонтально, прикрепляли к штампу динамометр и фиксировали силу, необходимую для отрыва штампа от испытуемого образца. Прочность сцепления отделочного состава с подложкой $R_{адг}$, (Па) определяли по формуле:

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

где P – сила отрыва, Н;

F – площадь контакта штампа с покрытием, м².

Усадочные деформации отделочного слоя штукатурного покрытия определяли с помощью оптического компаратора ИЗА-2 и вычисляли 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, мм;

l_i – длина образца в промежуточные периоды твердения, мм.

Определение предела прочности при растяжении образцов на основе разрабатываемого отделочного состава проводили на разрывной машине ИР 5057-50 по ГОСТ 18299-72* [29]. Испытания проводили при температуре воздуха 20°C и относительной влажности воздуха 60 %. Образцы разрабатываемых составов размерами 0,010×0,01×0,05 м закрепляли в зажимах разрывной машины так, чтобы приложенные силы действовали равномерно по всему 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), в расчёт не учитывались [29].

По результатам испытания не менее четырех образцов каждого состава проводили расчёт предела прочности при растяжении R_{kog} , Па, по формуле:

$$R_{kog} = \frac{F_{pi}}{S_{oi}}, \quad (2.11)$$

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

S_{oi} – начальная площадь поперечного сечения образца, м².

Модуль упругости вычисляли по диаграмме «напряжение - деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной (Z), проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы. Для каждого образца вычисляли модуль упругости $E_{упр}$ (Па) по формуле:

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

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

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

Коэффициент теплопроводности отделочных покрытий λ (Вт/м·К) в высушенном состоянии определяли на образцах размером 0,1x0,1x0,025 м с использованием прибора ИТП-МГ4 «100». Коэффициент теплопроводности отделочных покрытий для условий эксплуатации А и Б определяли по ГОСТ Р 54855-2011 [33]. Определение расчетных значений теплофизических характеристик». Для нахождения значения эксплуатационной влажности исследуемых отделочных покрытий для условий эксплуатации А образцы помещали в эксикатор, в котором устанавливали относительную влажность 80%. Для нахождения значения эксплуатационной влажности исследуемых отделочных покрытий для условий эксплуатации Б образцы 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 пластическую 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 постоянной нагрузки P [19]. В момент достижения конусом равновесия напряжение сдвига τ (Па) в составе становится равным пределу текучести τ_0 (Па). В этот момент определяли пластическая 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, зависящий от значения вершинного угла конуса, определяемый 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).

Определение время высыхания покрытия на основе разрабатываемого состава проводили в соответствии с ГОСТ 19007-73* [30]. Степень высыхания отделочного состава оценивали по семибалльной шкале.

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 (таблица 2.15) [30].

Таблица 2.15 – Определение степени высыхания отделочных покрытий

Степень высыхания	Характеристика поверхности покрытия после испытания
1	2
1	Стеклянные шарики, свободно насыпанные на поверхность покрытия, полностью удаляются с нее мягкой волосяной кистью; при этом поверхность покрытия не повреждается
2	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет следа после снятия нагрузки 0,2 Н (0,020 кг)
3	То же, после снятия нагрузки 2 Н (0,200 кг)
4	Бумага не прилипает к покрытию после снятия нагрузки 20 Н (2 кг); при этом на покрытии виден след от нагрузки
5	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет следа после снятия нагрузки 20 Н (2 кг)

Продолжение таблицы 2.15

1	2
6	Бумага не прилипает к покрытию, но оставляет след от нагрузки 200 Н (20 кг) после ее снятия
7	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет след после снятия нагрузки 200 Н (20 кг)

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 погрешность до 0,1 г. Затем укладывали один слой марлевой ткани на промокательную бумагу, сверху устанавливали металлическое кольцо, имеющее внутренний диаметр 0,10 м и высоту 12 мм, после чего 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. 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°C, 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 на чашку весов воды включали в массу насыщенного образца. Испытание проводили до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний отличались не более, чем на 0,1 %.

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

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c} \quad (2.16)$$

где m_c – масса образца в сухом состоянии, кг;

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

Для оценки скорости водонасыщения определялся коэффициент диффузии влаги D (m^2/c), используя экспресс-метод [94]. При вычислении коэффициента диффузии влаги использовалась формула:

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

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 τ при температуре 18–20 °С через 1 см² поверхности покрытия в соответствие 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 %-ную относительную влажность воздуха. Для герметизации края стакана смазывали по окружности парафином. Стакан взвешивали на аналитических весах и помещали в эксикатор, в котором создавали 60 %-я относительную влажность воздуха. Периодические взвешивания стакана с затвердевшим слоем продолжали до того момента, когда его масса становилась постоянной величиной.

Коэффициент паропроницаемости μ (мг/(м·ч·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 0,04x0,04x0,16 м, которые твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20°С и относительной влажности 50–60 %. По истечении 28 суток торцевые грани образцов обрабатывали штукатурной теркой для получения шероховатой поверхности. Боковые грани образцов покрывали

водонепроницаемым составом. Образцы помещали торцевой гранью в ванну на сетчатую подставку. Ванну заполняли водой с температурой 15–25 °С таким образом, что торец балочки 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 противостоять воздействию косых дождей определялся эквивалентный воздушный промежуток S_d (м) [119]. 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_x – 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 [9,46]. Материал считается тем активнее, чем больше она поглощает извести из ее водного раствора за определенный промежуток времени.

При определении активности материала использовали два титрованных раствора: насыщенный раствор извести и 0,05 н. раствор соляной кислоты. Для приготовления раствора извести в бутылку емкостью 5 л помещали 10 г негашеной извести и заливали ее дистиллированной водой. Полученный раствор взбалтывали несколько раз в сутки. Через 3 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} – количество 0,05 Н раствора соляной кислоты, израсходованного 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 100–105⁰С. 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, следя за тем, чтобы ко дну емкости не пристала часть исследуемого порошка. В ходе проведения эксперимента емкость периодически взбалтывали.

По истечении 2 суток со времени наполнения емкости из нее осторожно, без встряхиваний, при помощи пипетки отбирали для титрования 50 мл раствора в колбу емкостью 250 мл. Затем содержимое колбы титровали после добавления 2–3 капель индикатора метилового оранжевого раствором 0,05 н. раствором 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} – количество 0,05 Н раствора соляной кислоты, израсходованного на титрование, мл;

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

Количество поглощенной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1-им г исследуемого порошка за 2-ое 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 каждый 2 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 наполнителя 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 по средством эксперимента по исследованию тепло- и влагопереноса в материале покрытия при его увлажнении за счет поглощения паров воды из воздуха [72,75].

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°C и относительной влажности воздуха 50-60%. Затем их высушивали до постоянной массы при температуре 100-105°C. 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.

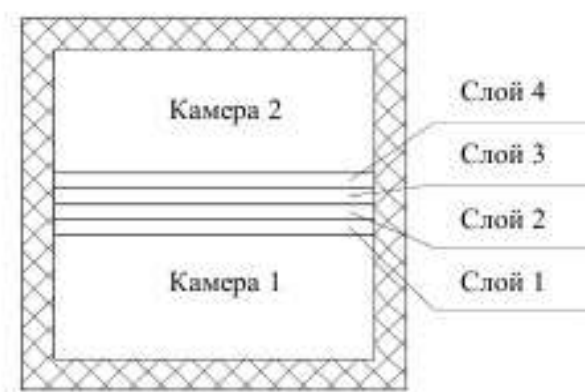


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема экспериментальной установки

В камерах поддерживались следующие температурно-влажностные условия: в камере 1 – температура $t_1=60^\circ\text{C}$, относительная влажность $\varphi=100\%$, в

камере 2 – температура $t_2=20$ °С, относительная влажность $\varphi=50\%$. Для предотвращения потерь тепла вся экспериментальная установка теплоизолировалась.

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 образца на чашку весов воды включали в массу насыщенного 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 алюмосиликатов и гидросиликатов кальция и образцов на основе разрабатываемого состава ССС использовали метод дифференциально-термического анализа. 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 алюмосиликата и гидросиликатов 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 Matchv 2,0,2,0 (Oxford Cryosystems). Определение количественных концентраций кристаллических минеральных образований выполняли полнопрофильным рентгенофазовым анализом (РФА) с применением программы DDMv.1.95d [18].

Для оценки процесса структурообразования в известковых композитах, полученных с использованием добавки на основе смеси алюмосиликатов и гидросиликатов кальция, определили количество свободной извести в образцах. Содержание в образце свободного CaO определяли титрованием навески измельченного известкового образца соляной кислотой до тех пор, пока все свободные частицы CaO не 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 5 – 7 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 с добавлением кислоты по каплям. Эксперимент заканчивали, когда при периодическом перемешивании в течение 10 мин 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} – количество 1 Н раствора соляной кислоты, израсходованного на титрование, мл;

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

K – поправка к титру 1 Н раствора соляной кислоты;

m – навеска измельченного 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. Производили визуальный осмотр поверхности 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 проведения испытаний применяли камеру морозильную с принудительной вентиляцией и автоматическим регулированием температуры и емкость для насыщения образцов водой с прибором, обеспечивающим поддержание температуры воды плюс 15-20°C.

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

Морозостойкость разрабатываемого раствора по потере прочности при сжатии определяли путем испытаний по основному методу путем многократного попеременного замораживания и оттаивания образцов-кубов с ребром 0,07 м × 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.

Морозостойкость контактной зоны определяли по прочности сцепления слоя отделочного состава с основанием после циклов замораживания и оттаивания образца по методу отрыва штампа по ГОСТ 10060-2012 [23].

2.8 Статистическая обработка результатов испытаний

Для оценки достоверности полученных экспериментальных данных проводили 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 измеряемой величины;

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

\bar{x} – среднее арифметическое значение измерений.

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

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

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

n – общее число наблюдений.

Среднее квадратическое отклонение измерений определяли 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

Значения доверительных интервалов, покрывающих параметр α , при условии выполнения нормального закона распределения, рассчитывали, с учетом заданных коэффициентов надежности (α) и вероятности (P), 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 – такое 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 – эмпирические частоты;

n'_i – теоретические частоты.

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 высокопористых наполнителей можно добиться высокой паропроницаемости, низкой плотности и теплопроводности получаемых отделочных покрытий [42,43].

В настоящее время наиболее распространенными минеральными наполнителями для теплоизоляционных ССС являются вспученный вермикулитовый песок и вспученный перлитовый песок [2,61,71,101]. Данные наполнители обладают высокой открытой микропористостью, что приводит к увеличению водопотребности отделочных составов. Следствием этого является расслаивание отделочных составов, уменьшение водостойкости и прочности композитов на их основе. К снижению прочности композитов также приводит неравномерное распределение концентраций напряжений вокруг частиц наполнителей из-за их сложной не изометрической формы.

В связи с этим перспективным является использование наполнителей с закрытой пористостью, что обеспечит низкую водопотребность штукатурных отделочных составов с их применением. К таким наполнителям можно отнести стеклянные полые микросферы и зольные микросферы алюмосиликатные [56,92,93]. Использование в качестве наполнителя для ССС микросфер позволяет повысить водостойкость получаемых растворных композитов за счет снижения в них объема открытых пор. 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 [77]. 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 не высокой 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. Например, в случае использования цементных ССС, наполненных микросферами, для наружной отделки газобетона марок D400-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 [10,53].

Повысить паропроницаемость теплоизоляционных ССС возможно за счет замены цемента на известь-пушонку. Растворные композиты на основе известкового вяжущего обладают значительно большей паропроницаемостью. Также использование 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 полые стеклянные микросферы и зольные микросферы алюмосиликатные.

Для выбора наиболее эффективного наполнителя необходимо исследовать сложный процесс теплопереноса через отделочное покрытие. Тепло через отделочный слой наружных стен зданий передается 3 способами: излучением, теплопроводностью, конвекцией. В пустотах внутри штукатурного слоя и вблизи поверхности наружного ограждения преобладает теплоперенос посредством конвекции и излучения [39,80]. В самом материале штукатурного покрытия тепло в основном передается посредством теплопроводности [57]. В работе представлены результаты оценки теплоизоляционных свойств растворных композитов, полученных с применением различных высокопористых наполнителей.

Учитывая, что на 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 [66]. Результаты исследований порового пространства композитов, полученных с использованием вспученного вермикулитового песка, представлены на рисунке. 3.1, композитов, полученных с использованием вспученного перлитового песка, представлены на рисунке. 3.2.

При использовании вспученного вермикулитового песка (рисунок 3.1, кривая 1) и вспученного перлитового песка (рисунок 3.2, кривая 3) общая пористость растворных композитов увеличивается с 60,8% до 80,2% и 72,4% соответственно.

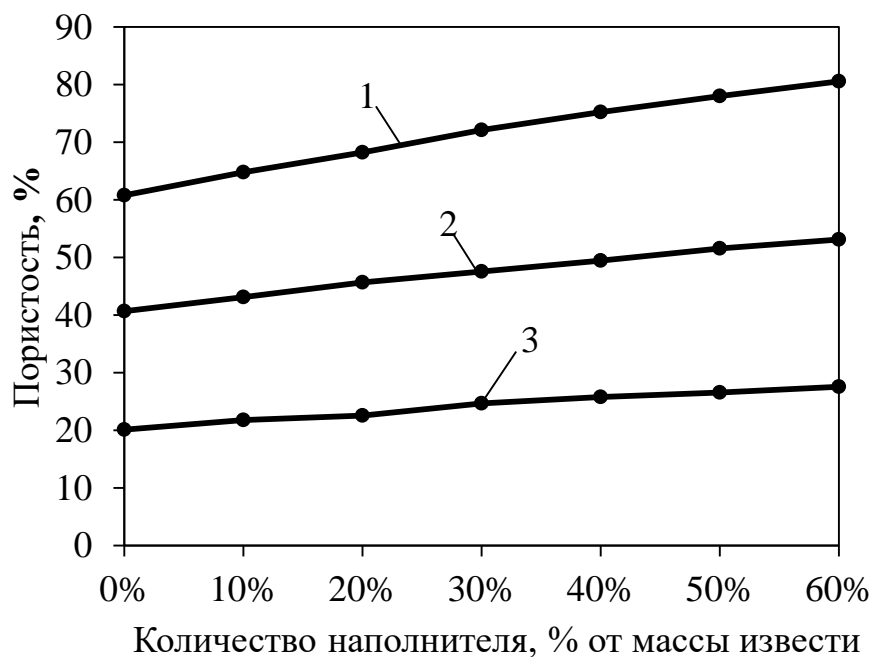


Рисунок 3.1 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием вспученного вермикулитового песка: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость.

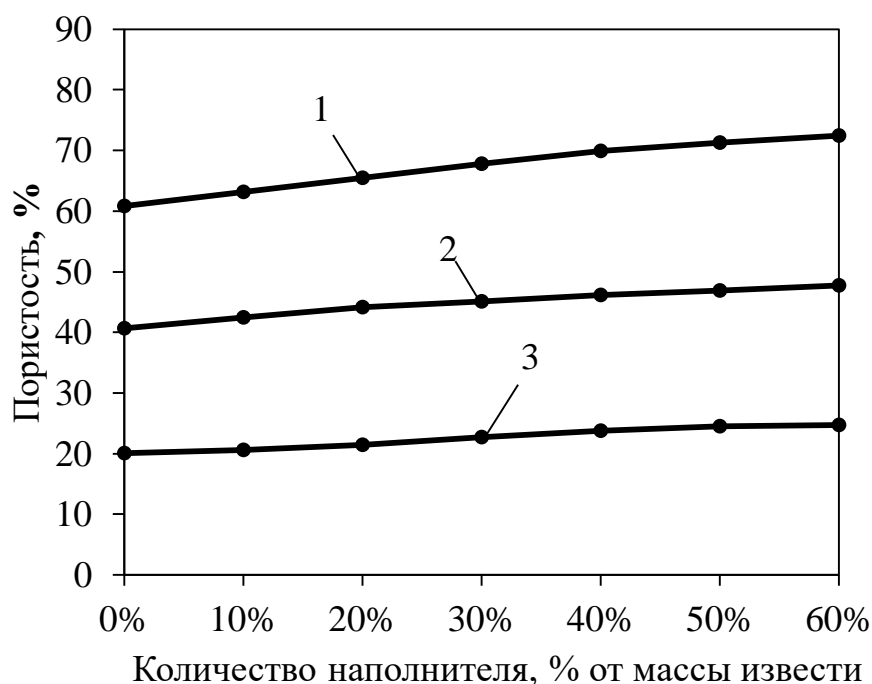


Рисунок 3.2 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием вспученного перлитового песка: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость.

Увеличение общей пористости в этих композитах происходит в основном за счет роста количества открытых пор, образующихся из-за высокой водопотребности данных наполнителей. Открытая пористость растворных композитов наполненных вспученным веркмикулитовым песком увеличивается с 40,7% до 53,1% (рисунок 3.1, кривая 2), наполненных вспученным перлитовым песком с 40,7% до 47,7% (рисунок 3.2, кривая 2). Рост закрытой пористости менее значителен, и происходит за счет высокой микропористости данных наполнителей.

Результаты исследований порового пространства композитов, полученных с использованием стеклянных полых микросфер, представлены на рисунке 3.3, композитов, полученных с использованием зольных микросфер алюмосиликатных, представлены на рисунке 3.4.

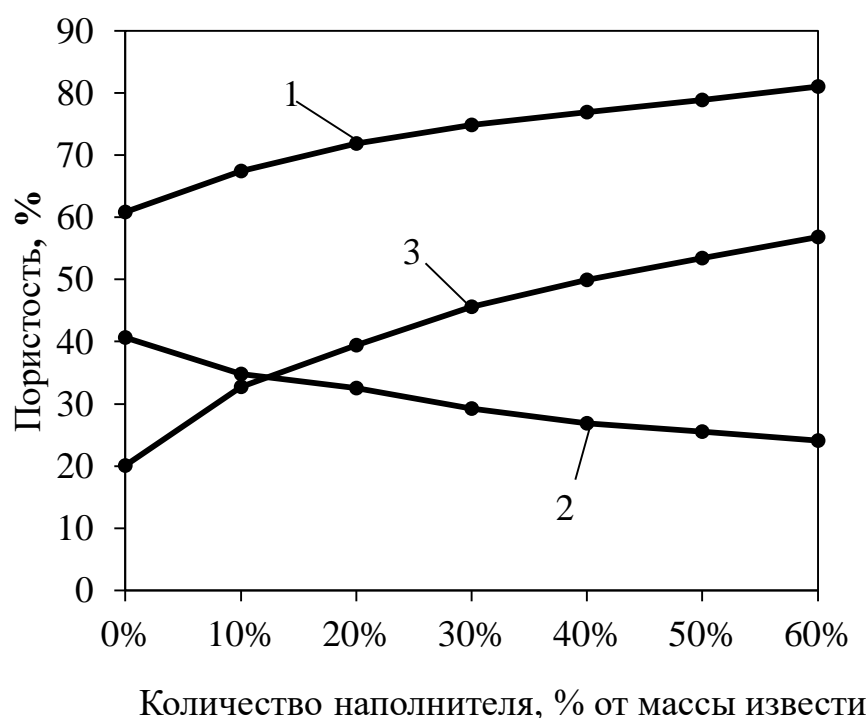


Рисунок 3.3 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием стеклянных полых микросфер: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость.

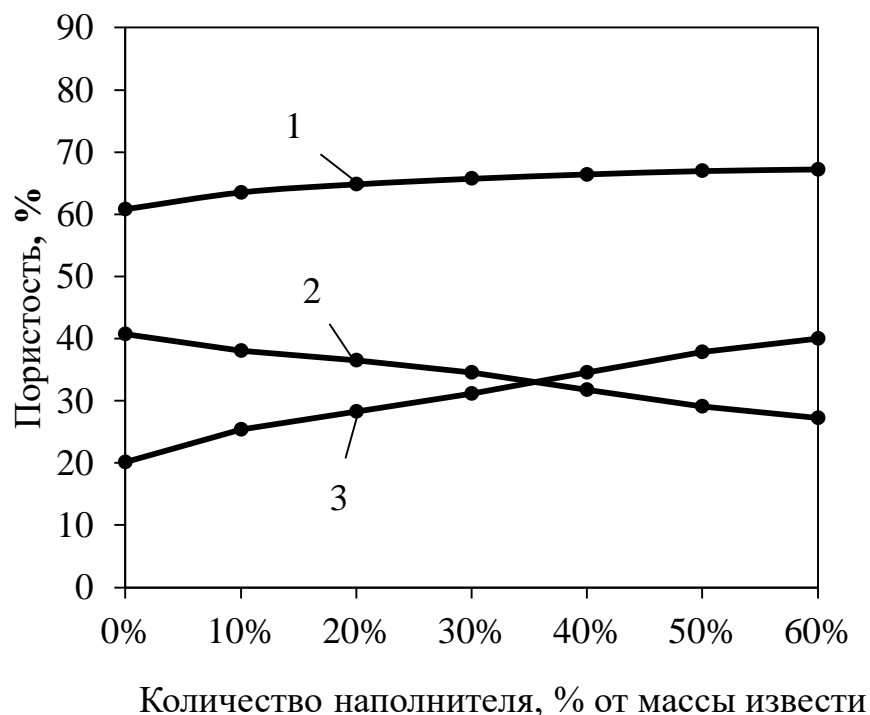


Рисунок 3.4 – Структура порового пространства растворных композитов, полученных с использованием зольных микросфер алюмосиликатных: 1 – общая пористость; 2 – открытая пористость; 3 – закрытая пористость.

Наполнение растворного композита полыми стеклянными микросферами позволяет повысить общую пористость с 60,8% до 81,0% (рисунок 3.3, кривая 1). Наполнение зольными микросферами алюмосиликатными повышает общую пористость с 60,8% до 67,2% (рисунок 3.4, кривая 1). Рост общей пористости при использовании микросфер происходит за счет увеличения закрытой пористости из-за полый структуры данных наполнителей. Закрытая пористость композитов, наполненных полыми стеклянными микросферами, увеличивается с 20,1% до 56,9% (рисунок 3.3, кривая 3), композитов наполненных зольными микросферами алюмосиликатными увеличивается с 20,1% до 40,0% (рисунок 3.4, кривая 3). Растворные композиты, наполненные микросферами, характеризуются меньшей открытой пористостью по сравнению с контрольными композитами.

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 вспученного вермикулитового и перлитового песка, 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 полых стеклянных микросфер, обладают более низкой теплопроводностью по сравнению с композитами, полученными с применением других наполнителей. Теплопроводность в сухом состоянии композитов, наполненных стеклянными полыми микросферами, составляет $\lambda=0,105$ Вт/м·К, наполненных вспученным вермикулитовым песком – $\lambda=0,140$ Вт/м·К, наполненных вспученным перлитовым песком – $\lambda=0,155$ Вт/м·К, наполненных зольными микросферами алюмосиликатными – $\lambda=0,165$ Вт/м·К.

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]. Согласно [62] конвективная составляющая теплопереноса в пористом материале начинает существенно влиять на его теплозащитные качества при критическом значении критерия Рэлея $Ra_{кр} > 40$. В работе [84] 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 теплопереноса .

Для оценки способности штукатурных покрытий противостоять переносу тепла за счет теплового излучения были определены коэффициенты излучения ϵ исследуемых композитов при помощи тепловизора Testo 882 и электронного термометра ТЭН-5 [35]. На рисунке 3.5 представлены снимки исследуемых отделочных покрытий, сделанные тепловизором, и соответствующие снимкам линейные температурные профили. Установлено, что коэффициент излучения ϵ , а, следовательно, и способность исследуемых растворных композитов отражать тепло, не зависит от используемого наполнителя. Для всех исследуемых композитов коэффициент излучения составил $\epsilon=0,93$.

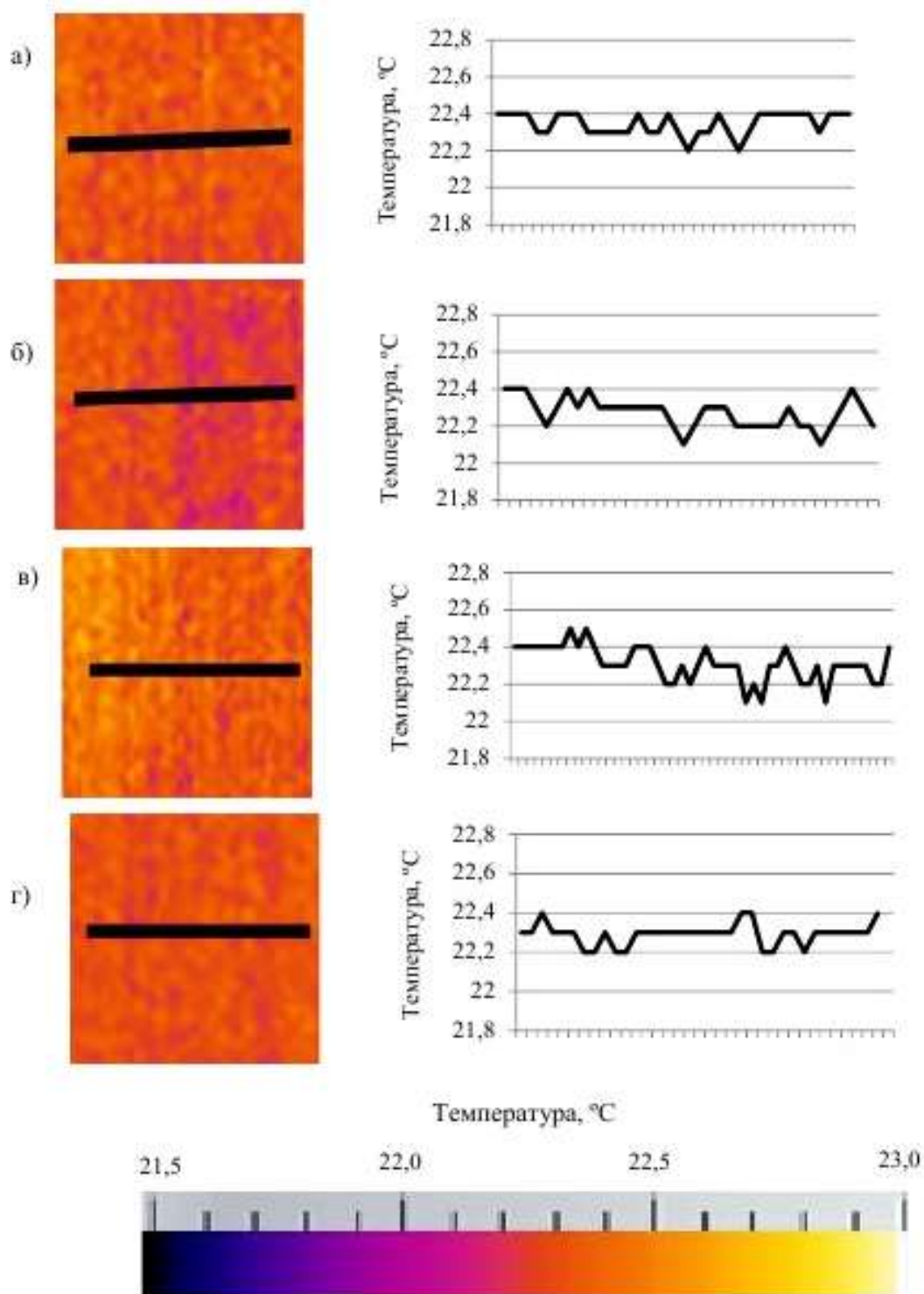


Рисунок 3.5 – Снимки исследуемых растворных композитов и соответствующие снимкам линейные температурные профили, сделанные тепловизором. Наполнитель: а) полые стеклянные микросферы; б) зольные микросферы алюмосиликатные; в) вспученный вермикулитовый песок; г) вспученный перлитовый песок.

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 [123]. Эксплуатационные свойства пористых материалов в значительной степени определяются интенсивностью происходящих в них процессов тепломассопереноса [10,53,67]. 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 [45]. 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 исследовались процессы массопереноса в растворных композитах, полученных с использованием в качестве наполнителей зольных микросфер алюмосиликатных и вспученного вермикулитового песка.

Зависимость влагосодержания u в растворном композите, полученном с использованием зольных микросфер алюмосиликатных, от времени увлажнения t представлена на рисунке 3.6, в растворном композите, полученном с использованием вспученного вермикулитового песка – на рисунке 3.7.

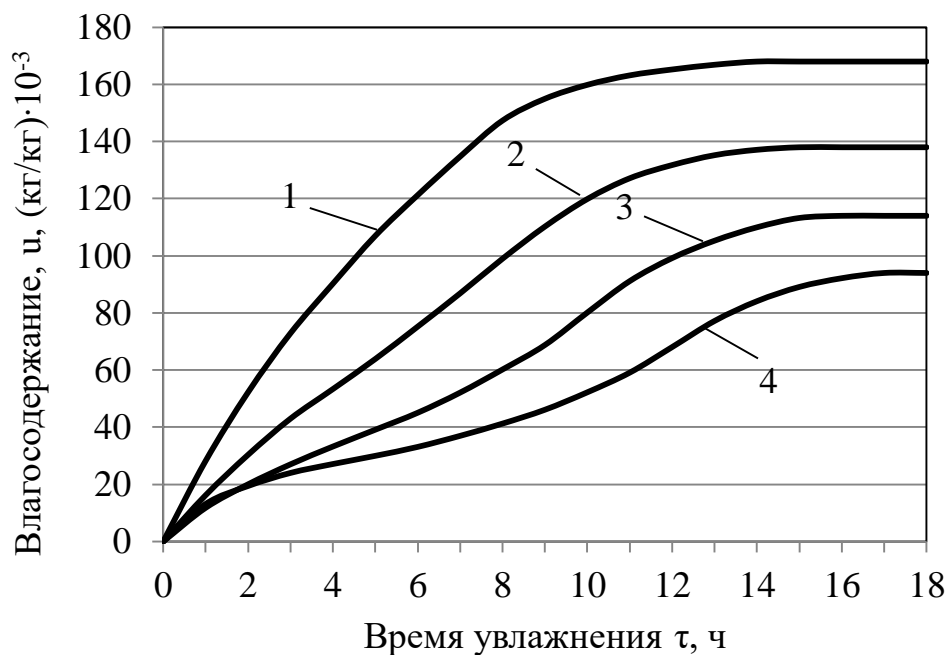


Рисунок 3.6 – Зависимость влагосодержания в растворном композите, полученном с использованием зольных микросфер алюмосиликатных, от времени увлажнения: 1 – 1-ый слой, 2 – 2-ой слой, 3 – 3-ий слой, 4 – 4-ый слой.

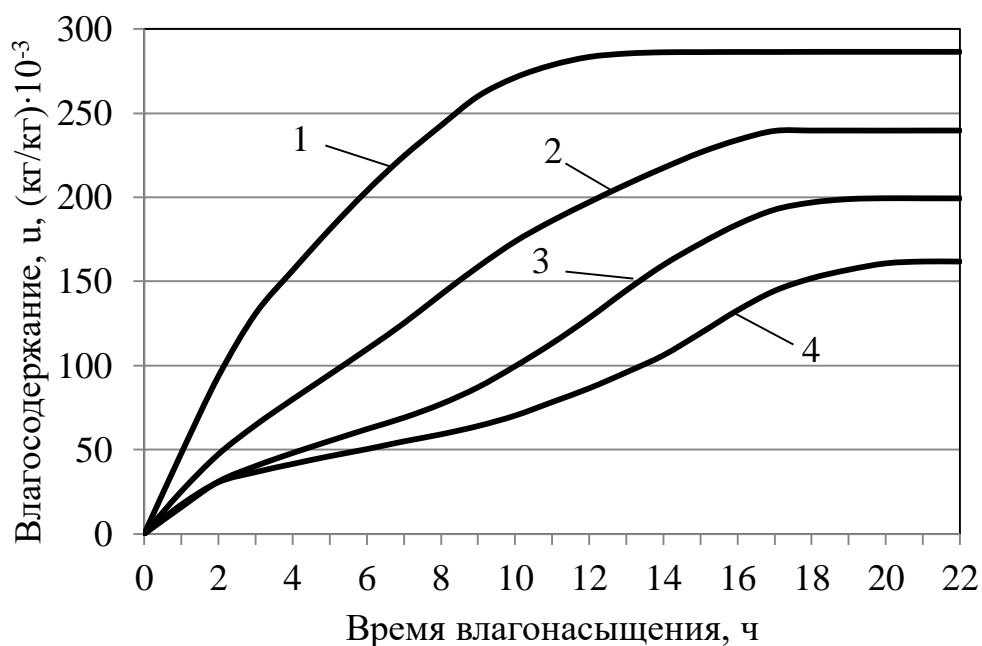


Рисунок 3.7 – Зависимость влагосодержания в растворном композите, полученном с использованием вспученного вермикулитового песка, от времени увлажнения: 1 – 1-ый слой, 2 – 2-ой слой, 3 – 3-ий слой, 4 – 4-ый слой.

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 слой 1 характеризуется наиболее высокими значениями максимального влагосодержания u . После 18 часов влагопоглощения влагосодержание 1 слоя композита, полученного с использованием зольных микросфер алюмосиликатных, составило $u=168,2 \cdot 10^{-3}$ кг/кг (рисунок 3.6. кривая 1), 1 слоя композита, полученного с использованием вспученного вермикулитового песка, составило $u=286,5 \cdot 10^{-3}$ кг/кг (рисунок 3.7. кривая 1). Величина влагосодержания u 2-го, 3-го и 4-го слоев последовательно уменьшалась по мере их удаления от источника влаги. Более высокое максимальное влагосодержание растворного композита, полученного с использованием вспученного вермикулитового песка, объясняется преобладанием в поровой структуре данных композитов открытой пористости [54].

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 зольных микросфер алюмосиликатных, 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 вспученного вермикулитового песка, 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.

Установлено, что в процессе увлажнения растворного композита, полученного с использованием зольных алюмосиликатных микросфер, влагосодержание по сечению материала распределено достаточно неравномерно. Наибольший перепад влагосодержания между крайними 1-ым и 4-ым слоями составил $108,9 \cdot 10^{-3}$ кг/кг, он наблюдался спустя 10 часов с момента увлажнения. Влагосодержание в растворном композите, полученном с использованием вспученного перлитового песка, распределено значительно более неравномерно по сечению материала. Наибольший перепад влагосодержания между крайними 1-м и 4-м 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.

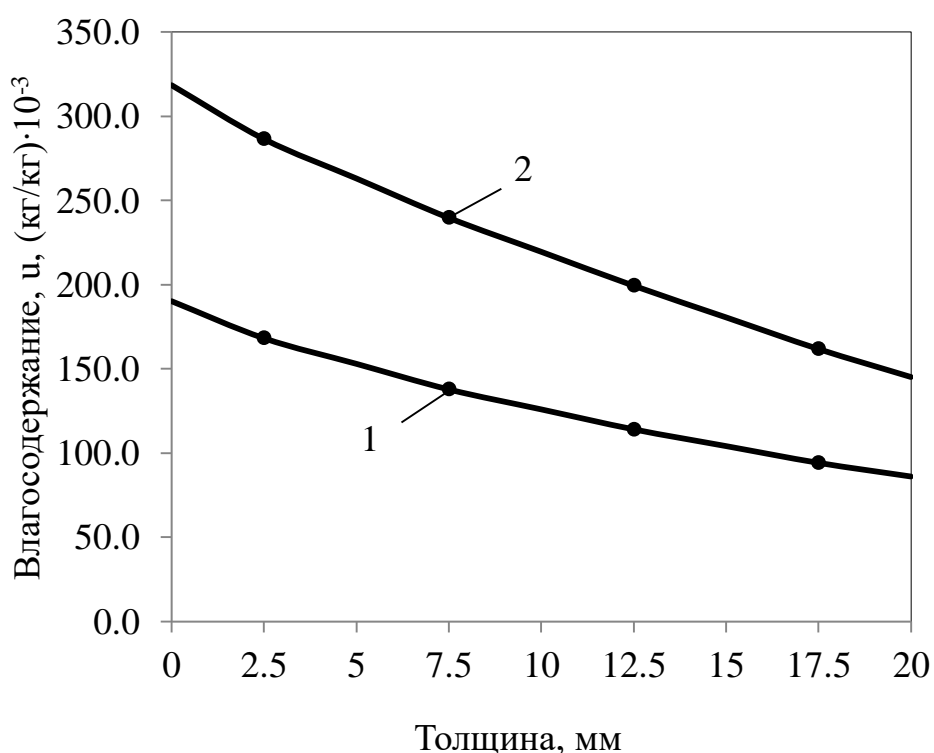


Рисунок 3.8 Распределение влагосодержания по толщине растворного композита: 1 – зольные микросферы алюмосиликатные; 2 – вспученный вермикулитовый песок.

Установлено что влагосодержание в растворном композите, полученном с использованием зольных алюмосиликатных микросфер, распределено более равномерно по сечению материала, по сравнению с влагосодержание в растворном композите, полученном с использованием вспученного вермикулитового песка. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что растворный композит, полученный с использованием зольных микросфер алюмосиликатных, способно лучше противодействовать температурно-влажностным деформациям, возникающим в слое отделки.

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 4 исследуемых в работе 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.
1	2	3	4	5	6	7	8
Стекланные полые микросферы	73,0	26,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1
Зольные микросферы алюмосиликатные	55,0	1,5	35,0	1,5	2,5	2,9	1,6

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Вспученный перлитовый песок	73,9	0,0	13,2	0,0	0,8	4,9	7,2
Вспученный вермикулитовый песок	40,6	3,8	14,9	24,5	5,9	10,1	0,2

Количество поглощенного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ различными наполнителями из известкового раствора, в зависимости от времени проведения эксперимента, представлено на рисунке 3.9

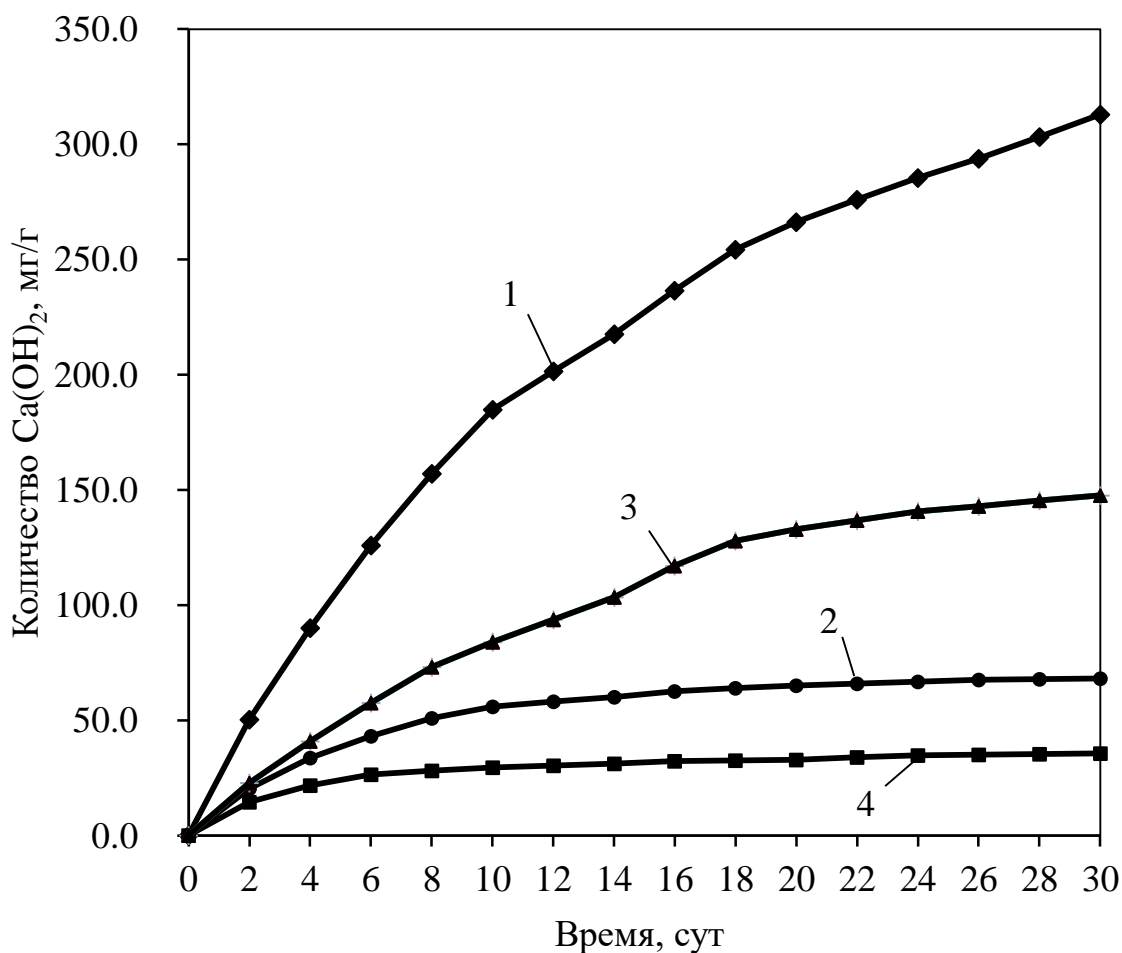


Рисунок 3.9 – Активность высокопористых наполнителей по поглощению $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из известкового раствора: 1 – стеклянные полые микросферы; 2 – золевые микросферы алюмосиликатные; 3 – вспученный перлитовый песок; 4 – вспученный вермикулитовый песок.

Высокая пуццоланическая активность стеклянных полых микросфер, составляющая 313,0 мг/г (рисунок 3.9, кривая 1), вызвана большим содержанием SiO_2 в данном наполнителе – 73,0 % (таблица 3.1), при этом значительная часть SiO_2 содержится в стенках микросфер в аморфном кремнеземе [48,87]. Меньшая, чем у стеклянных полых микросфер, пуццоланическая активность зольных микросфер алюмосиликатных, составляющая 68,2 мг/г (рисунок 3.9, кривая 2), объясняется меньшим содержанием SiO_2 в данном наполнителе – 55,0%. Также меньшая пуццоланическая активность зольных микросфер алюмосиликатных объясняется меньшей удельной поверхностью частиц данного наполнителя. Удельная поверхность полых стеклянных микросфер составляет 1142,9 м²/кг, удельная поверхность зольных микросфер алюмосиликатных 131,1 м²/кг. Вспученный перлитовый песок характеризуется довольно высокой пуццоланической активностью – 147,7 мг/г (рисунок 3.9, кривая 3), что вызвано высоким содержанием в нем SiO_2 – 73,9 %. Низкая пуццоланическая активность всученного веркмикулитового песка, составляющая 35,6 мг/г (рисунок 3.9, кривая 4), объясняется меньшим, чем у других исследуемых наполнителей, содержанием SiO_2 – 40,6 %.

Эксперимент по определению пуццоланической активности стеклянных полых микросфер продолжали до тех пор, пока количество гидроксида кальция, поглощенного наполнителем, не переставало изменяться. Стеклянные полые микросферы продолжали активно поглощать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вплоть до 70 сут, затем скорость поглощения замедлилась и к 90 сут активность достигла 480,5 мг/г.

Для исследования возможных новообразований на поверхности стеклянных полых микросфер были сделаны их электронно-микроскопические снимки при помощи электронного микроскопа VEGA3 TESCAN до и после проведения эксперименты, которые представлены на рисунке 3.10. Как известно, стеклянные полые микросферы представляют собой замкнутые газонаполненные шарики разного диаметра практически идеальной сферической формы (рисунок 3.10 (а)). Эти шарики имеют четко выраженные границы.

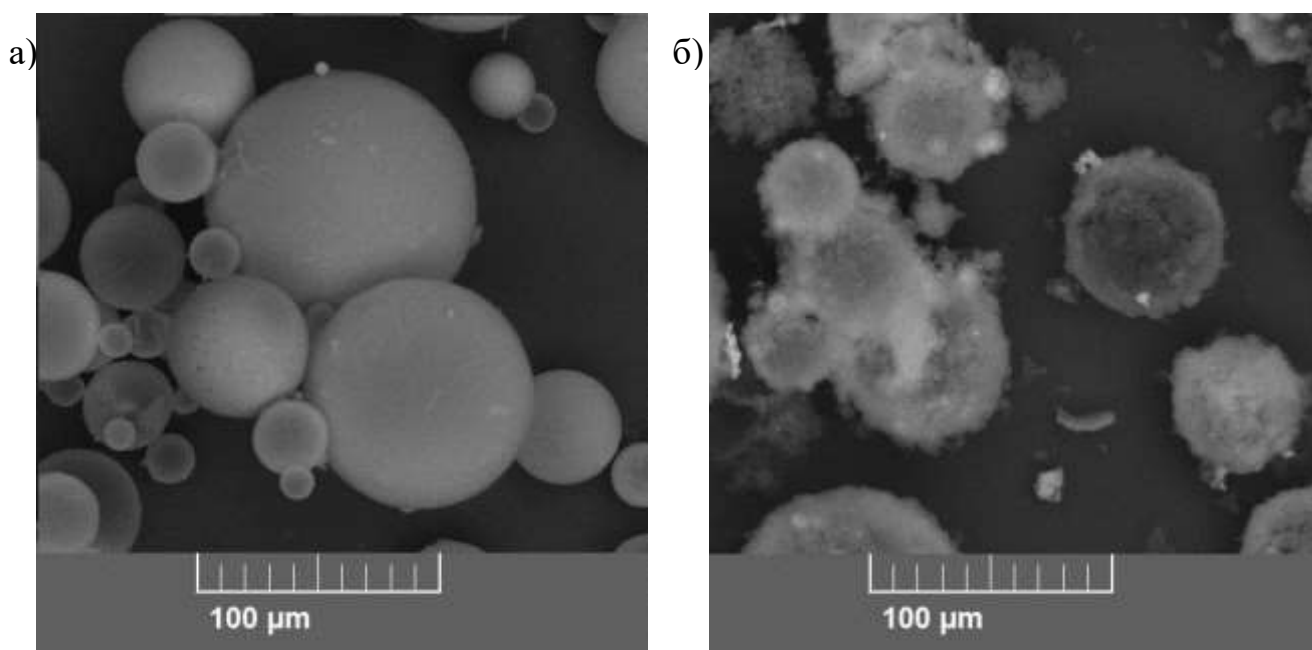


Рисунок 3.10 – Электронно-микроскопический снимок стеклянных полых микросфер: а – до эксперимента по определению активности наполнителей; б – после эксперимента по определению активности наполнителей

На снимке наполнителя, сделанном после проведения эксперимента по определению пуццоланической активности, не наблюдается четкой границы у стеклянных микросфер (рисунок 3.10 (б)). Новообразованиями на поверхности микросфер предположительно являются гидросиликатами кальция, образовавшимися в результате реакции гидроксида кальция и аморфного кремнезема, содержащегося в стенках микросфер.

3.3 Анализ распределения микросфер в структуре растворного композита

Форма микросфер и большой диапазон диаметров обеспечивают наиболее компактную укладку за счет минимального отношения площади поверхности к занимаемому объему.

Применяя стеклянные полые микросферы и зольные микросферы алюмосиликатные, можно получить оптимальную структуру композита. Для материалов теплоизоляционного типа оптимальной можно считать структуру, при которой достигается наибольшее наполнение композита легкими с аморфным

строением частицами твердой фазы [73,98]. При этом размер ячеек заземленного воздуха должен быть значимо менее 2 мм, что исключит конвективную составляющую теплопереноса.

Для определения оптимального содержания наполнителя необходимо решить геометрическую задачу о максимальном заполнении пространства шарами микросфер. В работах [7,69] предложено 2 решения, позволяющих добиться максимального процента занятого пространства. Для решеток гексагонального и гранецентрированного кубического типа плотность упаковки равна $\eta_1=0,7405$ (рисунок 3.11).

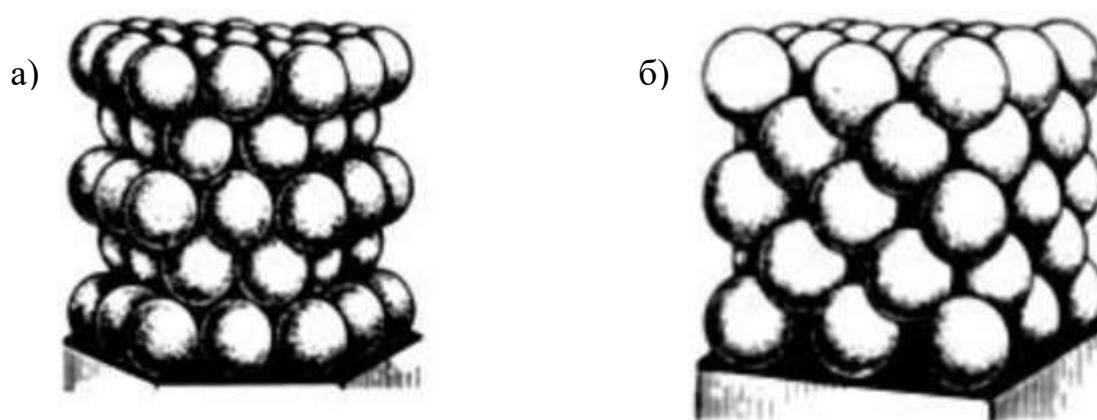


Рисунок 3.11 – Схемы упаковки микросфер: а – гексагональная; б – гранецентрированная кубическая [7,69]

Рассмотрим модель композита, состоящего из вяжущего и микросфер. Рассматриваемая модель построена на основании следующего положения: частицы вяжущего имеют одинаковые размеры, микросферы имеют одинаковые размеры и разделены между собой прослойкой вяжущего постоянной толщины [65]. При этом толщина прослойки вяжущего между микросферами равна 2 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 в взаимодействие с 1 стеклянной полый микросферой и с 1 зольной микросферой

алюмосиликатной. Согласно проведенным в главе 2.1 предварительным исследованиям объем 1 стеклянной полой микросферы $8,177 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3$. Масса 1 микросферы составит $1,717 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$. Активность стеклянных полых микросфер составляет 313,0 мг/г, следовательно, с 1 микросферой во взаимодействие вступит $0,537 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$ извести. Объем 1 частицы извести $6,5 \cdot 10^{-17} \text{ м}^3$, масса 1 частицы извести $1,398 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$ извести. Таким образом, с 1 стеклянной полой микросферой во взаимодействие вступит 4 частицы извести. Объем 1 зольной микросферы алюмосиликатной $2,323 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3$. Масса 1 микросферы составит $1,394 \cdot 10^{-10} \text{ кг}$. Активность стеклянных полых микросфер составляет 68,2 мг/г, следовательно, с 1 микросферой во взаимодействие вступит $9,507 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$ извести. Таким образом, с 1 зольной микросферой алюмосиликатной 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. Модель представлена на рисунке 3.12.

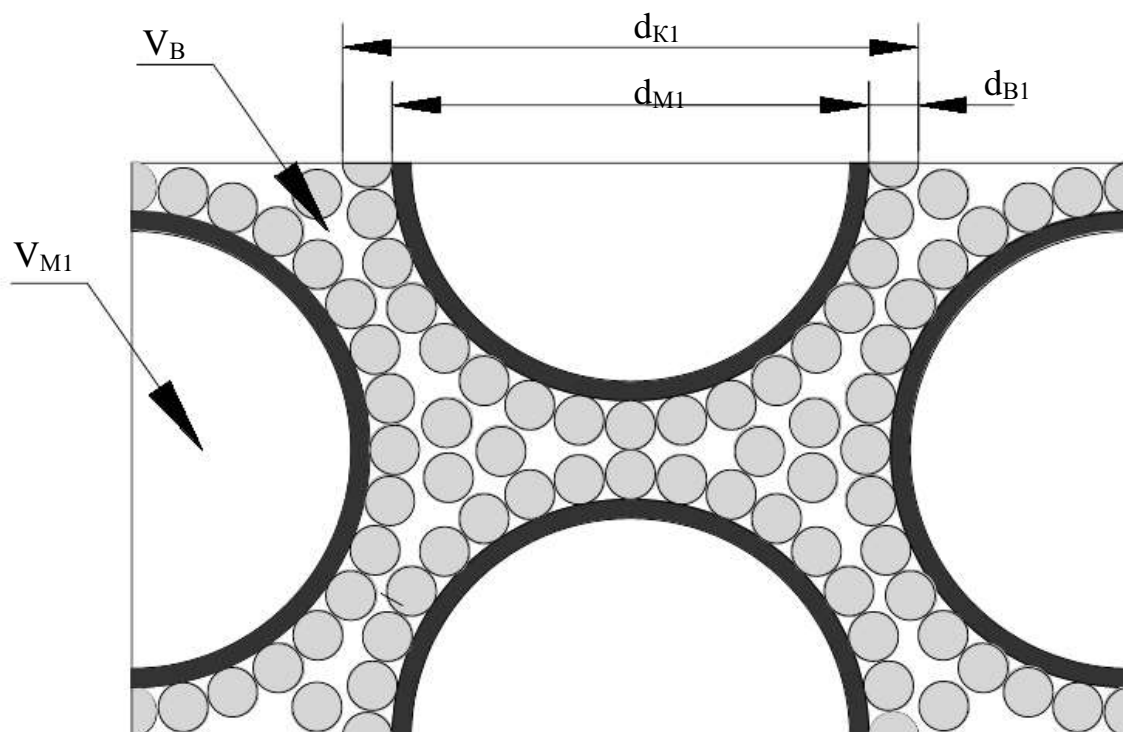


Рисунок 3.12 – Схема модели композита: где $d_{м1}$ – диаметр микросферы, $d_{в1}$ – диаметр 1 частицы вяжущего, $d_{к1}$ – диаметр 1 микросферы с прослойкой вяжущего, $V_{м1}$ – объем 1 микросферы, $V_{в}$ – объем вяжущего.

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 1 микросферы, м^3 .

В рассматриваемом композите каркасом являются микросферы, покрытые прослойкой толщиной в 1 частицу вяжущего d_{B1} . Для определения объема 1 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 1 микросферы, м^3 ;

d_{K1} – диаметр 1 микросферы с прослойкой вяжущего, м;

d_{M1} – диаметр 1 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:

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

Для определения оптимальное содержание микросфер $M\%$ 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, $\text{кг}/\text{м}^3$;

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 в работе сравнивали 4 различных по виду используемых в них материалов композита:

– 1 вариант: наполнитель – стеклянные полые микросферы; вяжущее – известь-пушонка;

– 2 вариант: наполнитель – стеклянные полые микросферы; вяжущее – цемент;

– 3 вариант: наполнитель – зольные микросферы алюмосиликатные; вяжущее – известь-пушонка;

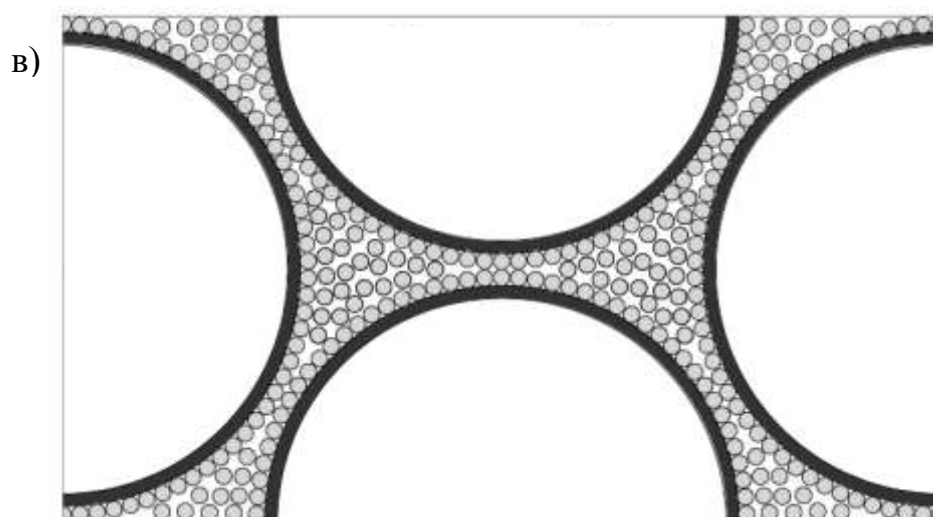
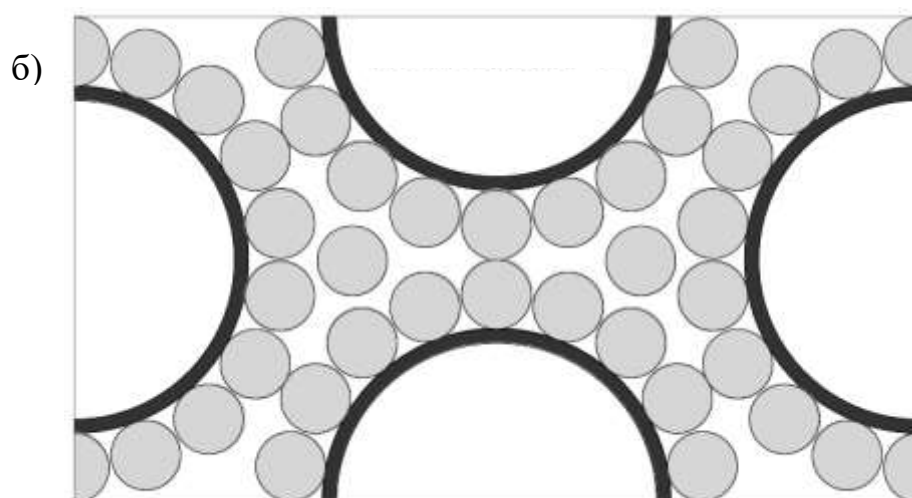
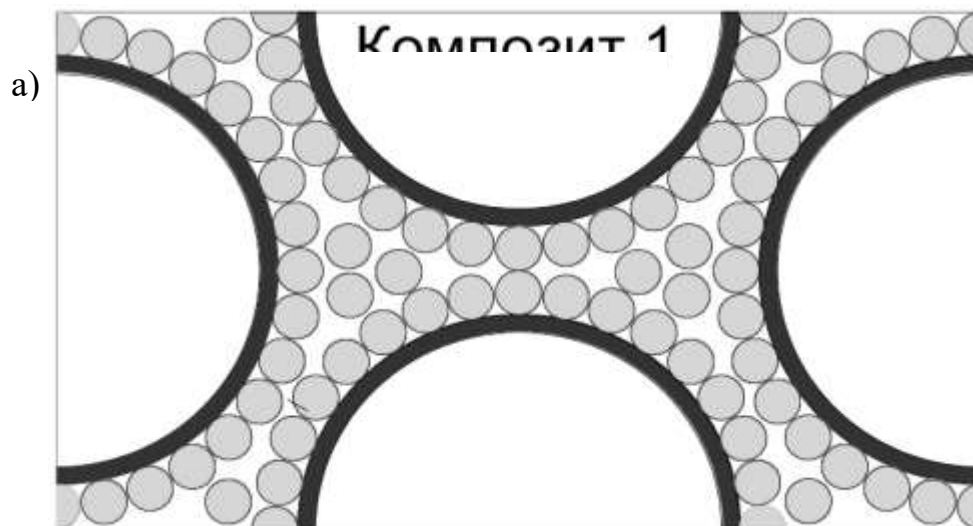
– 4 вариант: наполнитель – зольные микросферы алюмосилкатные; вяжущее – цемент.

Исходные данные для расчетов представлены в таблицах 2.1, 3.2.

Таблица 3.2 – Расчетные характеристики вяжущих

Материал	Диаметр 1 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.



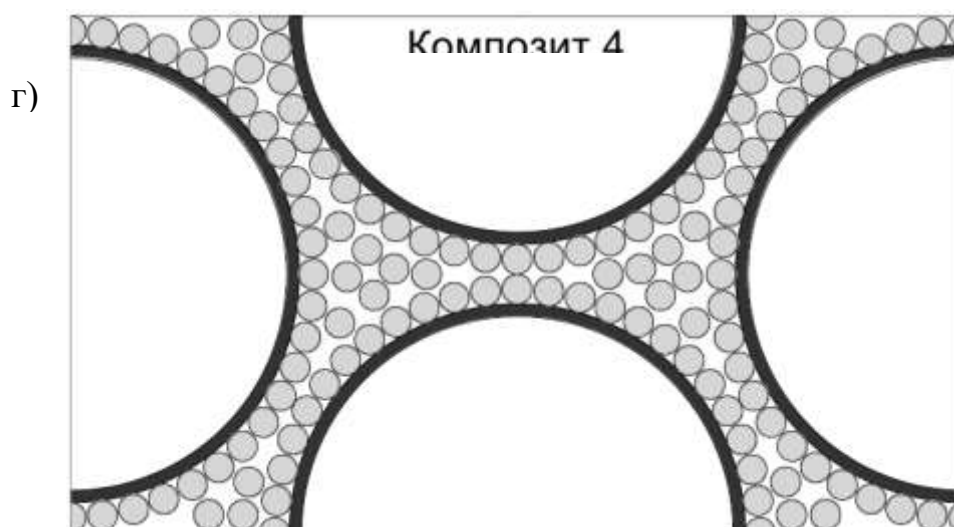


Рисунок 3.13 – Схемы расположения частиц вяжущего и наполнителя в композитах: а – 1 вариант; б – 2 вариант; в – 3 вариант; г – 4 вариант.

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Расчетные характеристики композитов.

Вариант композита	Объем микрошфер в композите $V_M, \%$	Объем вяжущего в композите V_B		Оптимальное содержание микрошфер от массы вяжущего $M\%, \%$	Плотность композита $\rho, \text{кг/м}^3$
		прослойка вокруг микрошфер $V_{BM}, \%$	заполнение пространства между микрошферами $V_{BP}, \%$		
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 микрошфер уменьшается объем вяжущего в композите V_B за счет снижения объема прослойки вокруг микрошфер V_{BM} . Увеличение диаметра 1 микрошферы d_{M1} в 3,05 раза при замене в композите стеклянных полых микрошфер на зольные микрошферы алюмосиликатные,

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 1 частицы вяжущего d_{B1} в 1,87 раза при замене в композите известкового вяжущего на цементное, увеличивает объем вяжущего V_B в композите, наполненном стеклянными полыми микросферами, с 58,57% до 73,01%, увеличивает объем вяжущего V_B в композите, наполненном зольными микросферами алюмосиликатными, 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 зольные микросферы алюмосиликатные, а в качестве вяжущего известь.

2. Рассмотрен механизм передачи тепла через покрытия на основе известковой теплоизоляционной сухой строительной смеси в зависимости от вида использованного наполнителя. Выявлено, что способность отделочного покрытия отражать тепло, а также конвективная составляющая теплопереноса не зависит 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 $\epsilon=0,93$. Теплопроводность в сухом состоянии композитов, наполненных стеклянными полыми микросферами, составляет $\lambda=0,105$ Вт/м·К, наполненных вспученным вермикулитовым песком – $\lambda=0,140$ Вт/м·К, наполненных вспученным перлитовым песком – $\lambda=0,155$ Вт/м·К, наполненных зольными микросферами алюмосиликатными – $\lambda=0,165$ Вт/м·К.

3. Определена пуццоланическая активность исследуемых наполнителей методом поглощения извести из известкового раствора. Установлено, что

пуццоланическая активность стеклянных полых микросфер составляет 313,0 мг/г, зольных микросфер алюмосиликатных – 68,2 мг/г, вспученного перлитового песка – 147,7 мг/г, вспученного вермикулитового песка – 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 – стеклянные полые микросферы; цемент – стеклянные полые микросферы; известь – зольные микросферы алюмосиликатные; цемент – зольные микросферы алюмосиликатные. 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 вспученного вермикулитового и перлитового песка 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 полый 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 алюмосиликатов и гидросиликатов кальция

Теплоизоляционные отделочные составы на известковом вяжущем для наружной отделки стен широко не используются, т.к. считается, что они не обладают требуемыми эксплуатационными свойствами. В работах [64,89] для повышения влагостойкости, долговечности и трещиностойкости отделочных составов на известковом вяжущем в их рецептуру предлагается вводить синтетические цеолиты, органоминеральные добавки и гидросиликаты кальция. Установлено, что используя специализированные модифицирующие добавки, можно значительно улучшить эксплуатационные свойства известковых покрытий.

В работе предлагается использовать в качестве модифицирующей добавки для разрабатываемой теплоизоляционной ССС смесь гидросиликатов и алюмосиликатов кальция. В работах [82,83] показано, что при введении в известковую смесь гидросиликатов кальция значительно увеличивается прочность получаемых композитов. В работах [61,88] установлено, что использование в качестве модифицирующие добавки алюмосиликатов кальция позволяет значительно ускорить структурообразование известковой смеси. В качестве рабочей гипотезы принято предположение, что при введение в известковую смесь одновременно гидросиликатов и алюмосиликатов кальция возможно получить вяжущее, позволяющие 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 1 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 1 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 60⁰С, и полученный раствор доводили до кипения и вливали в него раствор жидкого стекла, нагретый до 60⁰С.

На второй стадии отфильтрованный осадок обрабатывали 10%-ным 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 алюмосиликатов кальция невозможна. Полученную смесь вновь отфильтровывали. Осадки, образовавшиеся на первой и второй стадии, высушивали при 100-105⁰С в течение 12 часов.

Для оценки целесообразности принятой двухстадийной технологии синтеза добавки дальнейшие исследования проводили параллельно для добавок, образовавшихся на первой и второй стадии [3].

Свойства образцов модифицирующих добавок, полученных на 1 и 2 стадии, представлены в таблице 4.2.

Оксидный состав модифицирующих добавок, полученных на 1 и 2 стадии, представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Свойства образцов добавок, полученных на 1 и 2 этапе

Стадия синтеза добавки	Внешний вид	Истинная плотность $\rho_{ист}$, кг/м ³	Насыпная плотность $\rho_{нас}$, кг/м ³	Удельная поверхность $S_{уд}$, 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 $S_{уд}$, полученные на приборе ПСХ-12 методом фильтрации газа через пористые тела, под чертой – данные, полученные на приборе Sorbi – М по многоточечному методу БЭТ.

Таблица 4.3 – Оксидный состав добавок, полученных на 1 и 2 этапе

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

Анализ данных, представленных в таблице 4.3, свидетельствует, что в составе модифицирующей добавки, полученной на 1 стадии, преобладают оксиды SiO₂, CaO, Na₂O. Данный оксидный состав характерен для гидросиликатов кальция. В составе модифицирующей добавки, полученной на 2 стадии синтеза, при сохранение значительной доли оксидов SiO₂, CaO, Na₂O дополнительно появились оксиды Al₂O₃, и SO₃. Это позволяет предположить, что минералогический состав добавки дополнился гипсом и цеолитами.

Для оценки минералогического состава добавок, полученных на 1 и 2 стадии синтеза, был проведен их РФА анализ. Рентгенограмма образцов добавки полученной на 1 стадии, представлена на рисунке 4.1. Рентгенограмма образцов добавки, полученной на 2 стадии, представлена на рисунке 4.2.

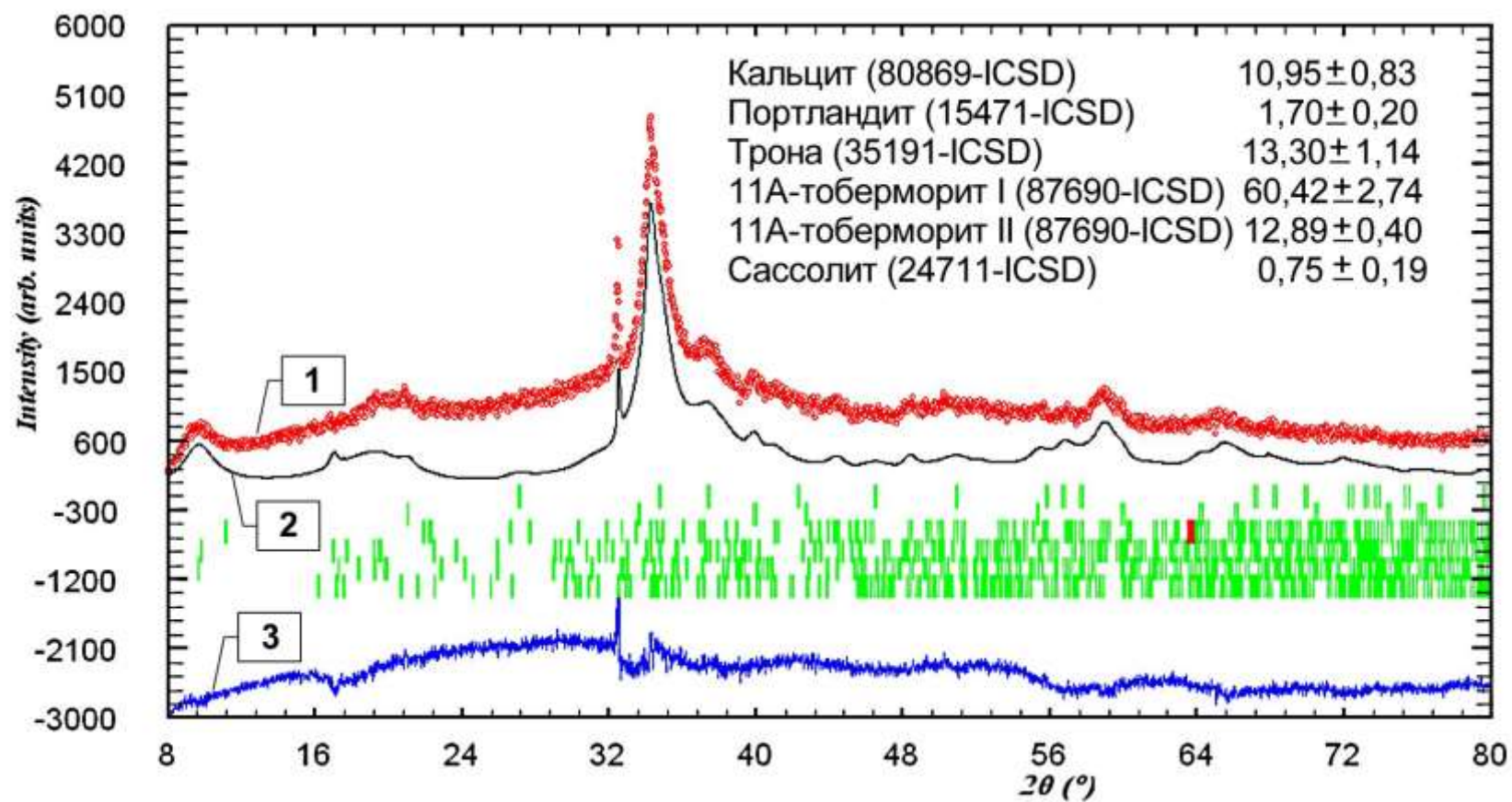


Рисунок 4.1 – Рентгенограмма образцов добавки, полученной на 1 стадии синтеза

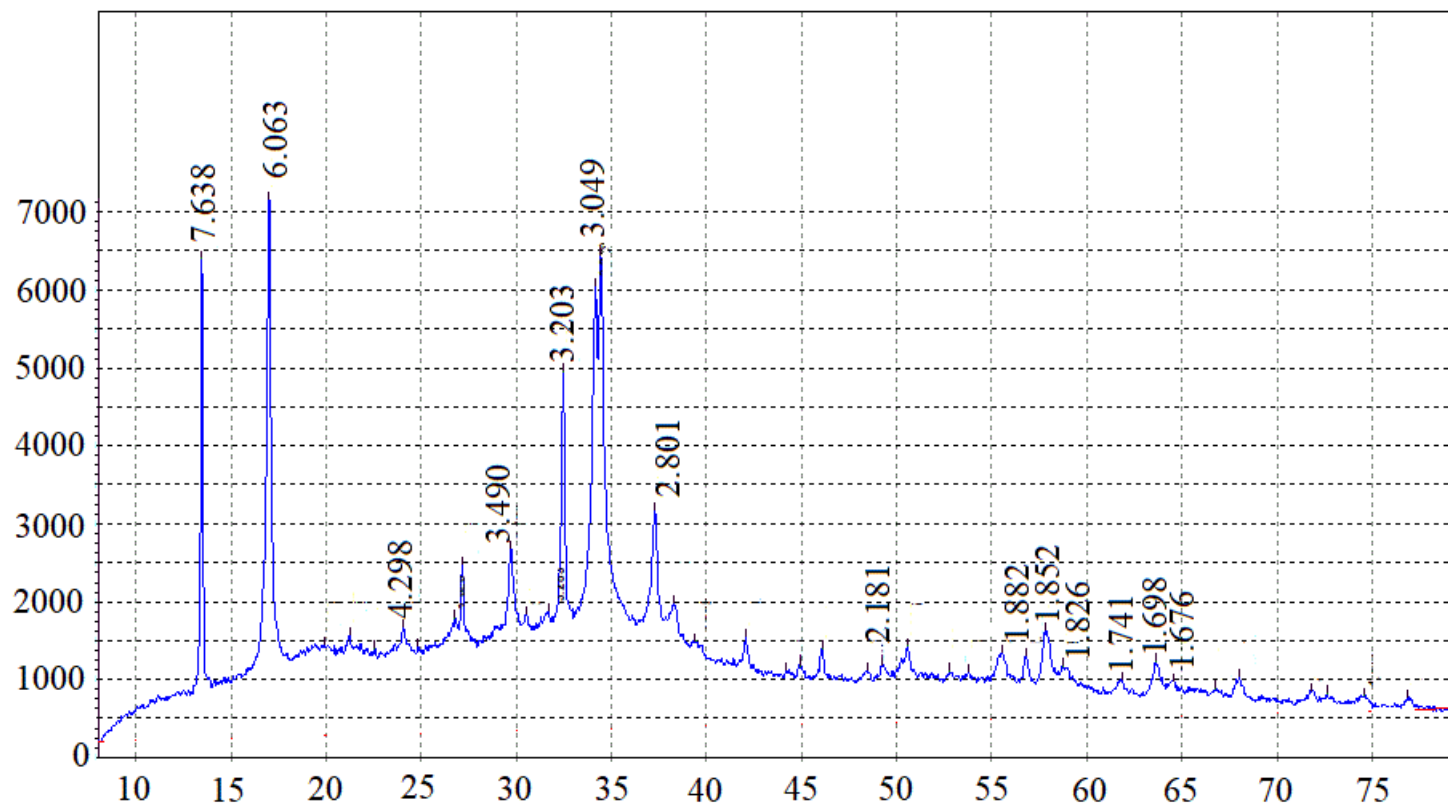


Рисунок 4.2 – Рентгенограмма образцов добавки, полученной на 2 стадии синтеза

РФА показал, что минералогический состав добавки, полученной на 1 стадии, представлен минералами тоберморитовой группы, А ($d=3.037$, $d=3.201$, $d=1.818$), портландитом, А ($d=2.631$, $d=4.940$, $d=1.681$), кальцитом, А ($d=2.109$, $d=3.034$, $d=1.878$).

РФА добавки, полученной на 2 стадии, показал, что в ее минералогическом составе сохранились гидросиликаты кальция, представленные минералами тоберморитовой группы, А ($d=3.049$, $d=3.203$, $d=1.826$, $d=1.676$) и твердым раствором CSH(V) в виде слабозакристаллизованного геля, А ($d = 2.181$, $d = 1.882$, $d = 1.741$). Дополнительно в минералогическом составе добавки были обнаружены гипс, А ($d=7.638$, $d=4.298$) и полуводный гипс, А ($d=6.063$, $d=2.801$, $d=3.490$, $d=1.852$, $d=1.698$). Также учитывая то, что в оксидном составе добавки, полученной на 2 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 алюмосиликаты кальция [40].

На рисунке 4.3 представлены электронно-микроскопические снимки синтезируемых добавок, полученных на 1 и 2 стадии синтеза.

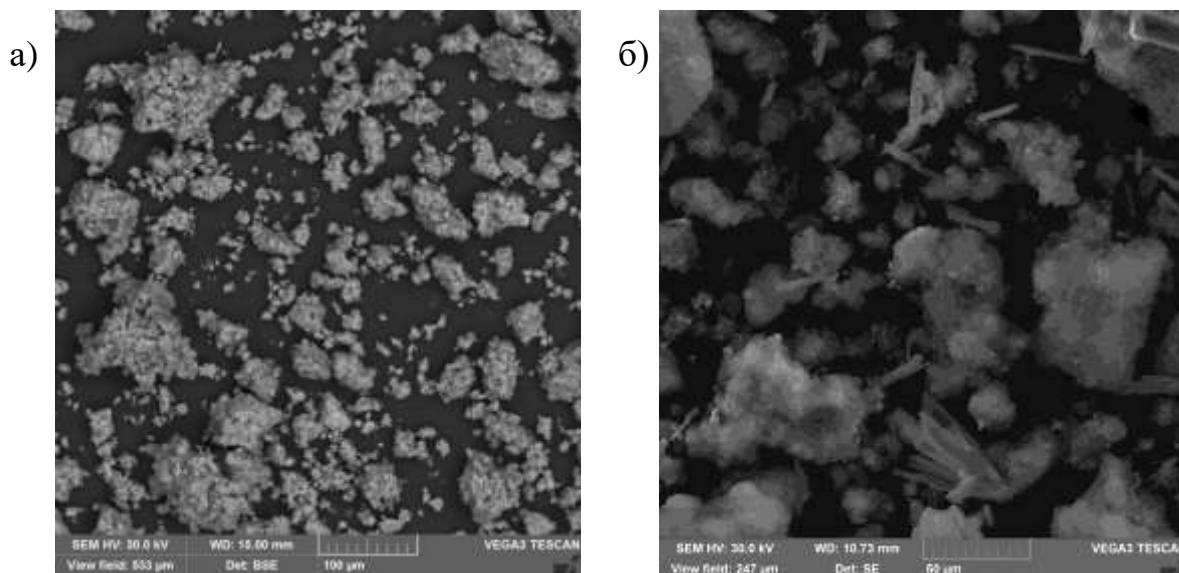


Рисунок 4.3 – Электронно-микроскопический снимок добавки: а – полученной на 1 стадии синтеза; б – полученной на 2 стадии синтеза.

Анализ данных, представленных на рисунке 4.3, свидетельствует, что структура добавки состоит из частиц пластинчатой и игольчатой 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 1 и 2 стадии синтеза. Методика определения пуццоланической активности модифицирующих добавок основана на способности аморфного кремнезем поглощать известь из известкового раствора, связывая ее в низкоосновные гидросиликаты кальция [6,107]. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 4.4.

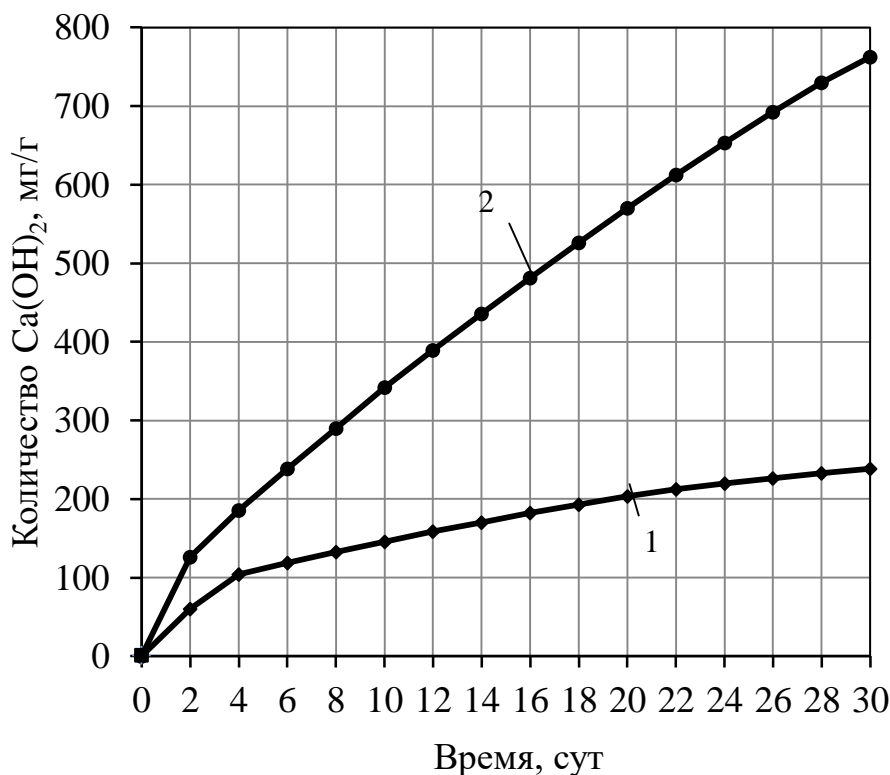


Рисунок 4.4 – Активность разработанных добавок по поглощению Ca(OH)_2 из известкового раствора: 1 – добавки, полученной на 1 стадии синтеза; 2 – добавки, полученный после 2 стадии синтеза.

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

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

Увеличение пуццоланической активности добавки, получаемой после 2 стадии синтеза, можно объяснить появлением в ее составе алюмосиликатов и увеличением удельной поверхности добавки.

Эксперимент по определению пуццоланической активности для добавок, полученных на 1 и 2 стадии, продолжали до тех пор, пока количество гидроксида кальция, поглощенного добавками, не перестало изменяться. Добавка, полученная на 1 стадии, продолжала активно поглощать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вплоть до 40 суток, затем скорость поглощения замедлилась и к 90 сут активность достигла 285,0 мг/г. Добавка, полученная на 2 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 Оценка влияния добавки на основе смеси алюмосиликатов и гидросиликатов кальция на свойства известковых композитов

Эффективность применения добавок, полученных на 1 и 2 стадии, оценивали по изменению реологических свойств известковой смеси. Пластическую прочность измеряли с помощью конического пластометра КП-3. В ходе проведения эксперимента по исследованию реологических свойств известковой смеси, содержание добавок, полученных на 1 и 2 стадии 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 2 стадии синтеза, значительно ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси и спустя 5 часов после затворения пластическая прочность составляет $\tau=30,7$ кПа (рисунок 4.5, кривая 3). Пластическая прочность контрольного состава спустя 5 часов составила $\tau=3,1$ кПа

(рисунок 4.5, кривая 1). Добавка, полученная на 1 стадии синтеза, ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси незначительно и спустя 5 часов после затворения составляет $\tau=4,3$ кПа (рисунок 4.5, кривая 2).

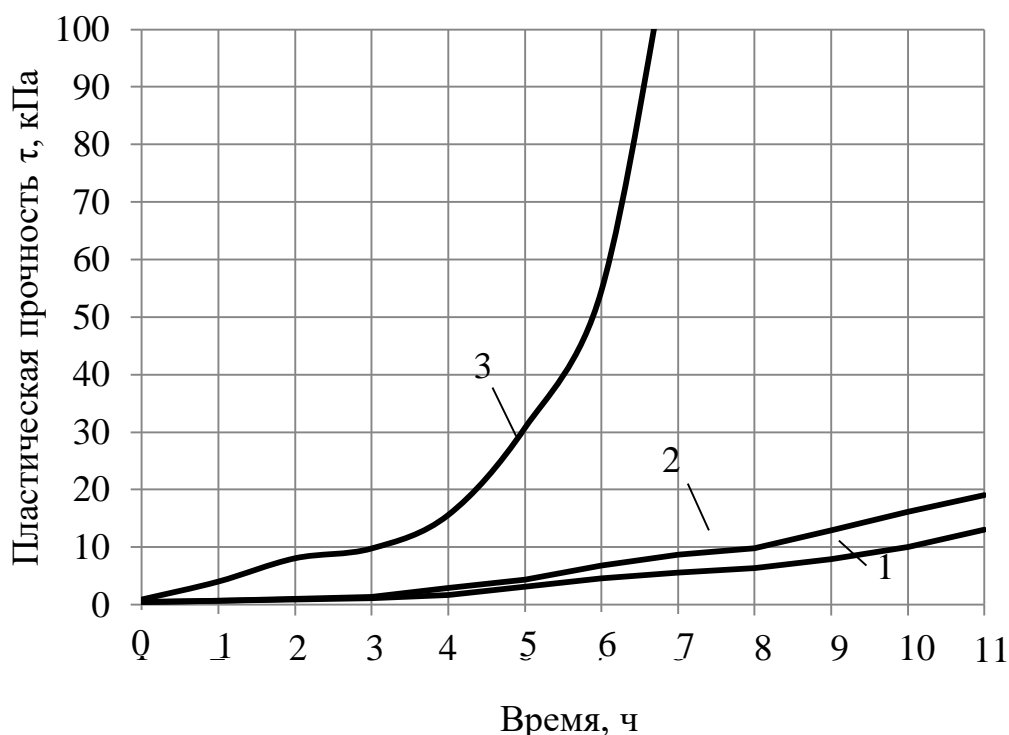


Рисунок 4.5 – Изменение пластической прочности известковой смеси: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на 1 стадии синтеза; 3 – состав на известковом вяжущем с использованием добавки, полученной на 2 стадии синтеза.

Также для оценки эффективности применения добавок, полученных на 1 и 2 стадии, 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 1 и 2 стадии синтеза, было принято равным 10% от массы извести. Водоизвестковое отношение было принято равным $В/И=1,0$. Результаты исследований представлены на рисунке 4.6.

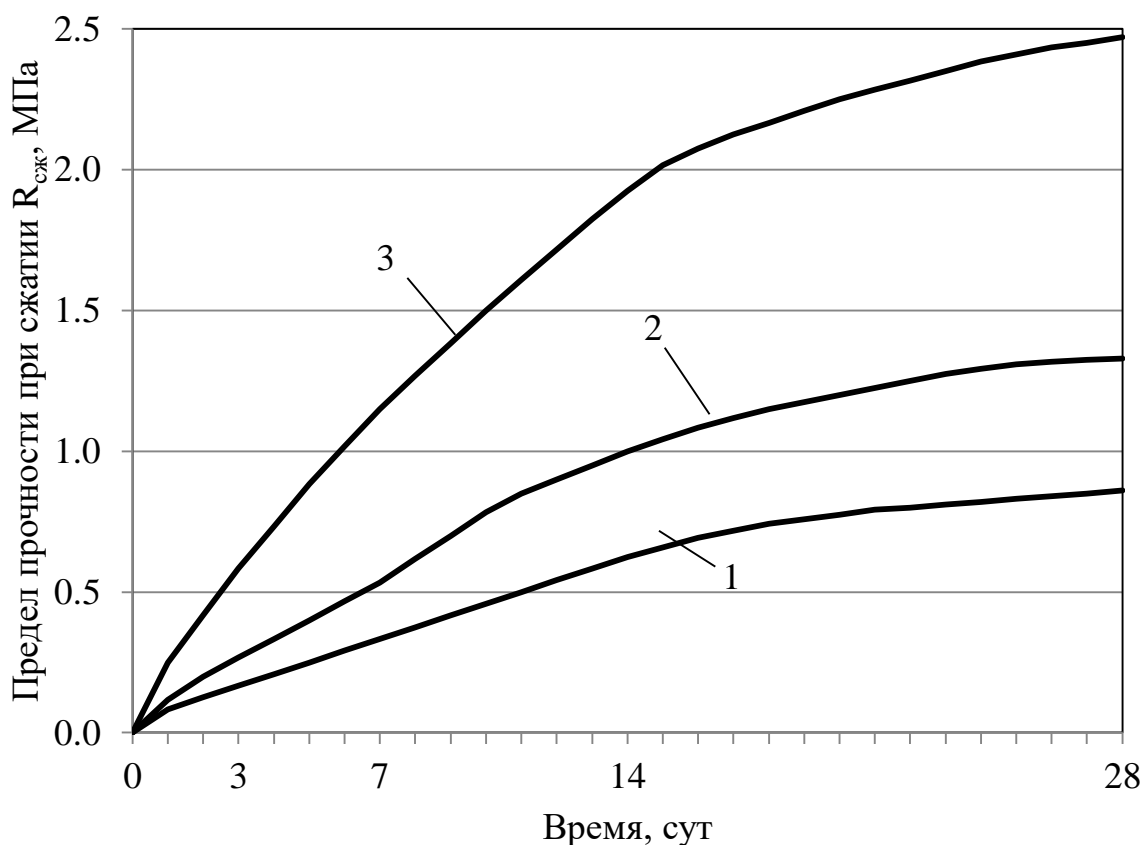


Рисунок 4.6 – Кинетика твердения известковых композитов: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав с использованием добавки, полученной на 1 стадии синтеза; 3 – состав с использованием добавки, полученной на 2 стадии синтеза.

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 1 стадии синтеза, повышает прочность при сжатии образцов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения на 54,7% (рисунок 4.6, кривая 2) по сравнению с контрольными образцами. Введение в состав добавки, полученной на 2 стадии синтеза, повышает прочность при сжатии образцов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения на 187,2% (рисунок 4.6, кривая 3) по сравнению с контрольными образцами.

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 1 стадии синтеза, содержание свободной извести составило 40,2%, в композитах с использованием добавки, полученной на 2 стадии синтеза, содержание свободной извести составило 28,6% [106].

Представленные выше данные доказывают целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза. В дальнейшем в работе использовали добавку, полученную после 2 стадий 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 интервале температур 20-1000°C в атмосфере воздуха при скорости нагрева 5°C/мин. На рисунке 4.7 представлены полученные в результате проведения эксперимента кривые дифференциально-термического анализа образцов.

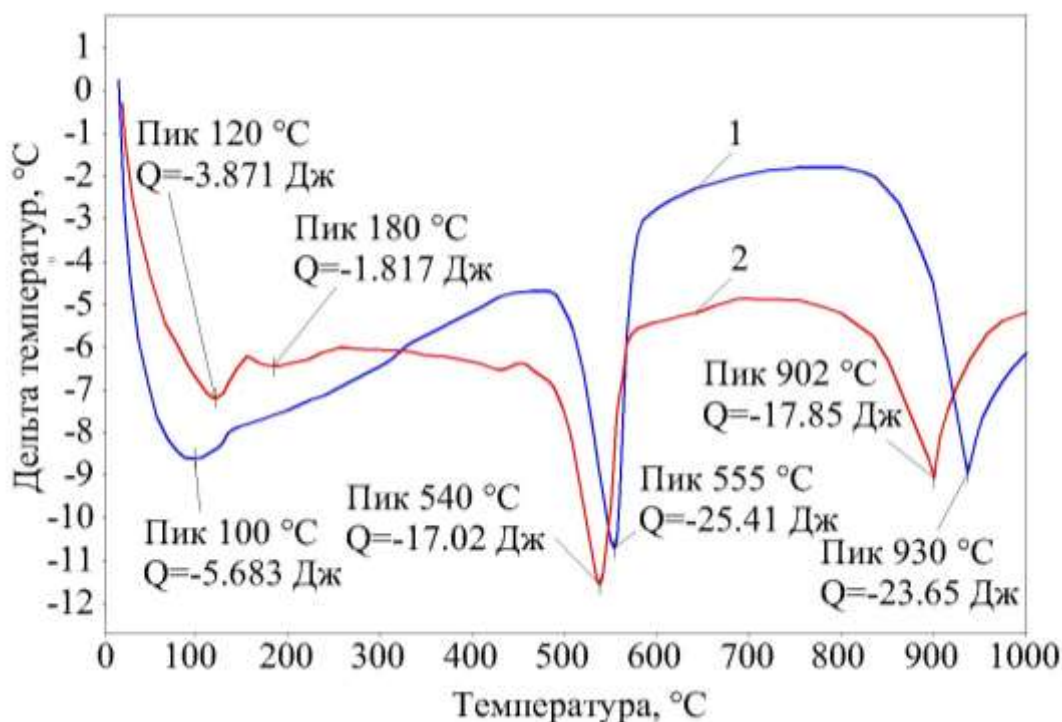


Рисунок 4.7 – Кривые дифференциально-термического анализа образцов: 1- контрольный образец; 2- образец с применением синтезированной добавки.

При анализе кривых дифференциально-термического анализа образцов на обеих термограмм обнаружен тепловой эффект при температуре 80-150°C,

связанный с удалением из образцов свободной воды. На термограмме образца, полученного с использованием синтезированной добавки, наблюдается эндотермический эффект при температуре 150-210°C, 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°C связан с дегидратацией портландита. При сравнении термограмм выявлено, что тепловой эффект, связанный с дегидратацией портландита, в контрольных образцах больше и составляет $Q=25,41$ Дж (рисунок 4.7, кривая 2), что, видимо, обусловлено большим содержанием в данных образцах портландита. Тепловой эффект при температуре 800-1000°C 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 введении синтезируемой добавки в количестве 15 % от массы извести. При этом прочность известковых композитов, полученных при введении синтезируемой добавки в количестве 15 % от массы извести всего на 4,5% выше прочности известковых

композитов, полученных при введении 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 ССС

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. [60,61,97,41]. 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). Дальнейшее увеличение содержания молотого газобетона вызывает снижение прочности.

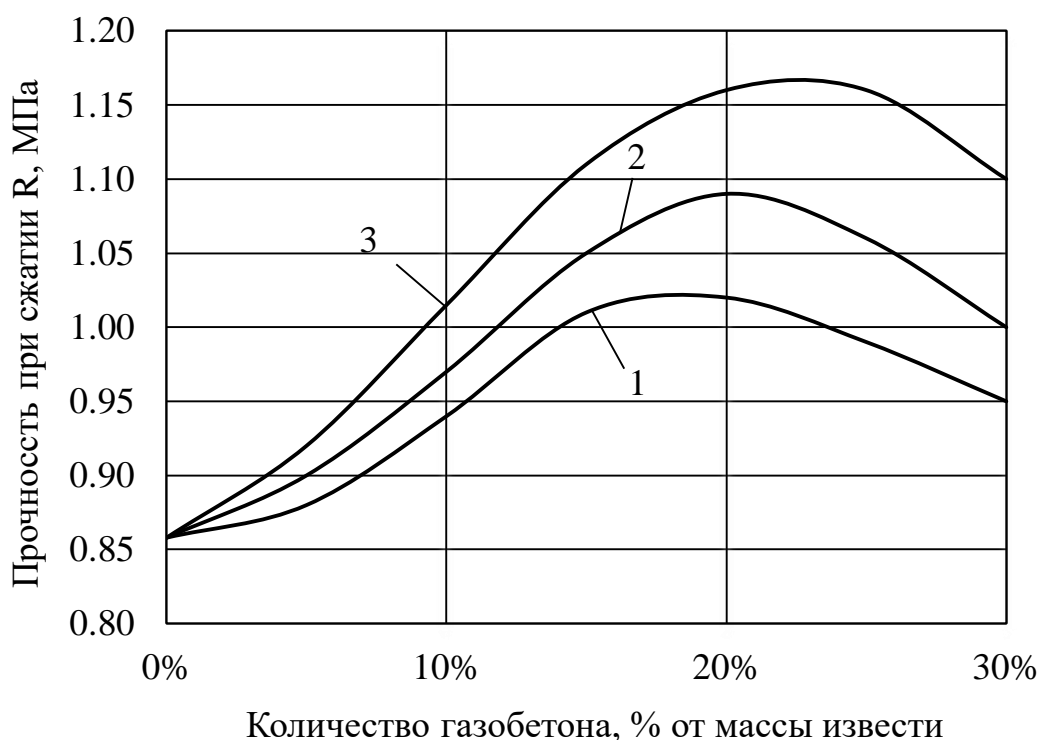


Рисунок 4.8 – Зависимость прочности при сжатии растворяемых композитов от количества используемых молотых отходов производства газобетона, В/И=1: 1 – удельная поверхность молотого газобетона $S_{уд}=375 \text{ м}^2/\text{кг}$; 2 – удельная поверхность молотого газобетона $S_{уд}=635 \text{ м}^2/\text{кг}$; 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 9 часов после затворения пластическая прочность контрольного состава была равна $\tau=0,70 \text{ кПа}$ (рисунок 4.9, кривая 1), состава с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=375 \text{ м}^2/\text{кг}$ составила $\tau=2,90 \text{ кПа}$ (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).

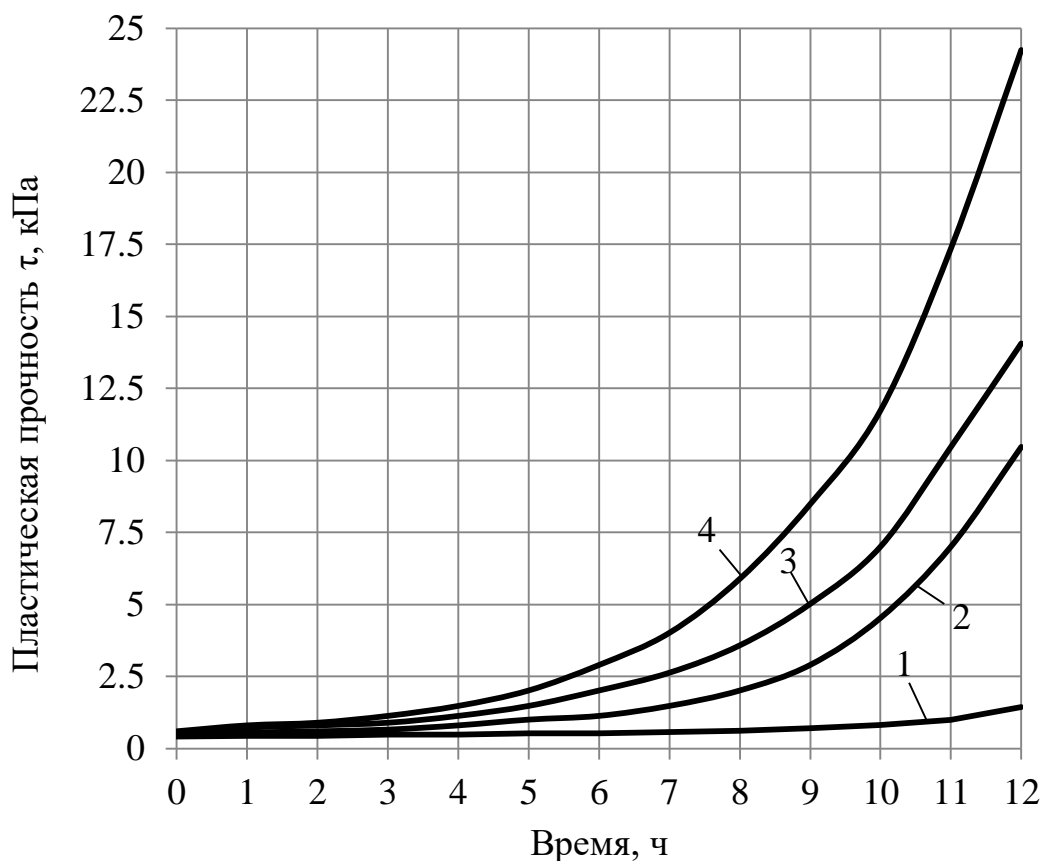


Рисунок 4.9 – Изменение пластической прочности растворной смеси, В/И=1: 1 – контрольный состав на известковом вяжущем; 2 – состав с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=375$ м²/кг; 3 – состав с добавлением молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}=635$ м²/кг; 4 – 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 $S_{уд}=1028$ м²/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 $K_{\text{разм}}$ контрольных образцов на основе извести составляет 0,35. Добавлением в известковый состав 10 % синтезируемой добавки позволяет повысить водостойкость известкового состава. Водостойкость полученных композитов составила $K_{\text{разм}}=0,77$. 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.

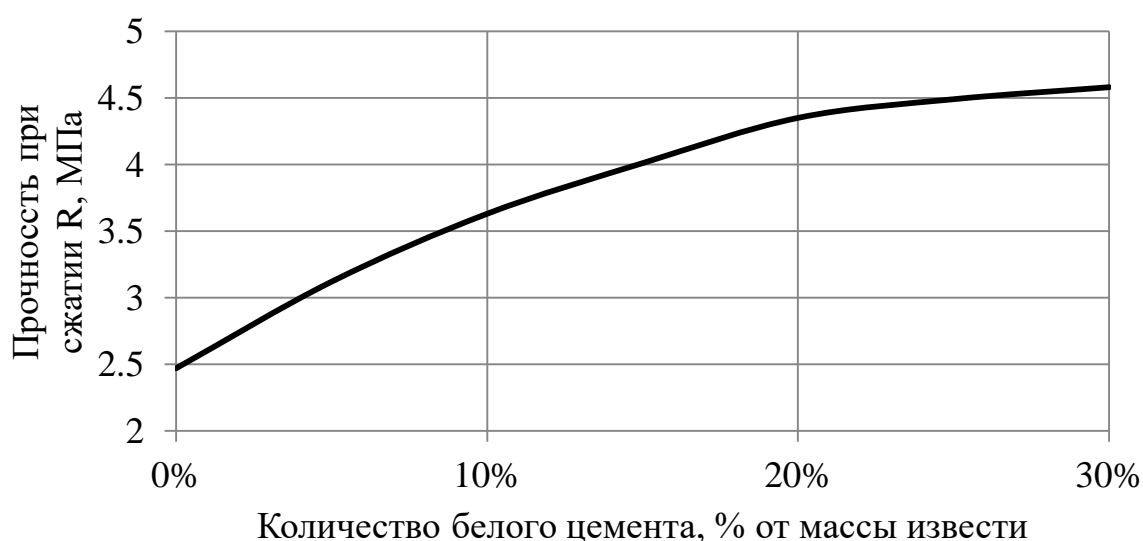


Рисунок 4.10 – Зависимость прочности при сжатии растворных композитов от содержания белого цемента.

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. 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) свидетельствует, что применение пластифицирующих добавок позволяет снизить скорость структурообразованию. Так, в возрасте 3 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). Пластическая прочность спустя 3 часа после затворения состава с добавкой С - 3 составила $\tau = 17,36$ кПа (рисунок 4.11, кривая 3), состава с добавкой Melment F15 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).

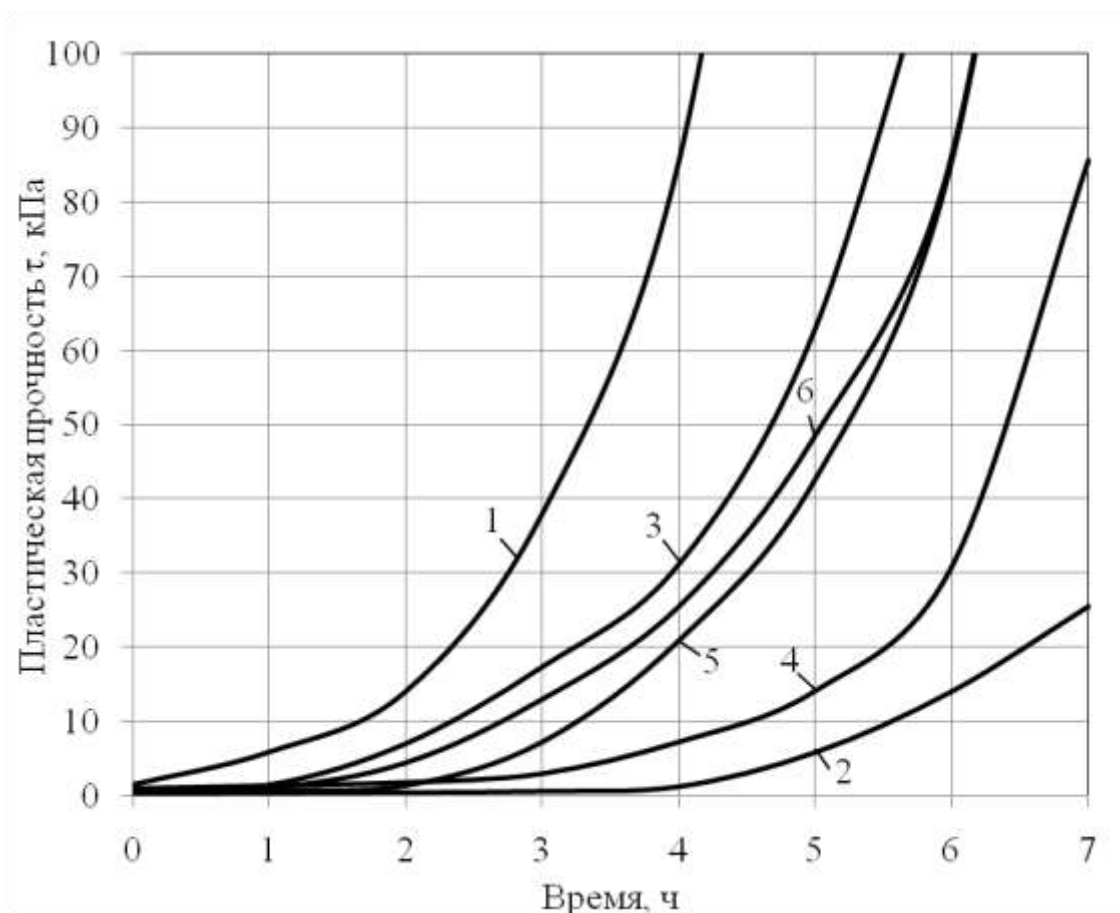


Рисунок 4.11 – Изменение пластической прочности растворной смеси с добавлением различных пластифицирующих добавок: 1 – разрабатываемый состав (известь, белый цемент, модифицирующая добавка, молотые отходы производства газобетона); 2 – разрабатываемый состав с добавкой Melflux 2651 F; 3 – разрабатываемый состав с добавкой С-3; 4 – разрабатываемый состав с добавкой Melment F15; 5 – разрабатываемый состав с добавкой Sika-3180; 6 – разрабатываемый состав с добавкой Кратасол ПФМ.

Приведенные данные (рисунок 4.11) свидетельствует, что добавки на основе поликарбоксилатов (Melflux 2651 F, Melment F15, Sika-3180) обеспечивают больший пластифицирующий эффект по сравнению с добавками на основе лигносульфоната нафталина (С-3, Кратасол ПФМ). Это подтверждается значениями водоредуцирующих эффектов, приведенных 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 F15	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 2651F 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 после 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях растворных композитов, полученных на основе следующего состава: известь-пушонка; синтезируемая добавки 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 2651F в количестве 1% от массы извести, редиспергируемый порошок в количестве 5 % от массы извести. Результаты проведенных исследований сведены в таблицу 4.6.

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

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 5044N	5,21
VINNAPAS 8031H	5,67
Pulver DM 1142	5,58

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 1 стадии синтеза, преобладают оксиды SiO_2 , CaO , Na_2O . Минералогический состав добавки, полученной на 1 стадии синтеза, в основном представлен гидросиликатами тоберморитовой группы. В составе добавки, полученной на 2 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 2 стадии синтеза, представлен гидросиликатами тоберморитовой группы, гипсом, алюмосиликатами кальция.

2. Доказана целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза модифицирующей добавки. Определена пуццоланическая активность добавок, полученных после 1 и 2 стадии, методом поглощения извести из известкового раствора. Установлено, что добавка, полученная после 1 стадии синтеза, характеризуется пуццоланической активностью, составляющей 238,6 мг/г. Пуццоланическая активность добавки, полученной после 2 стадии синтеза, выше

в 3,2 раза и составляет 762,5 мг/г. Установлены закономерности твердения известковых растворов в присутствии добавок, полученных на 1 и 2 стадии синтеза. Выявлено, что введение в состав добавки, полученной на 1 стадии синтеза, повышает прочность при сжатии известковых композитов в 1,55 раза. Введение в состав добавки, полученной на 2 стадии синтеза, повышает прочность при сжатии известковых композитов в 2.87 раза. Установлено, что добавка, полученная на 2 стадии синтеза, ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси через 5 часов после затворения в 9,9 раза. Подобрана оптимальная концентрация предлагаемой модифицирующей добавки, составляющая 10 % от массы извести.

3. Обоснована целесообразность применение 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 редуцируемых порошков в составе разрабатываемой ССС. Установлено что добавка VINNAPAS 8031H позволяет на 30% повысить прочность получаемых композитов.

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

5.1 Исследования влияния наполнителей на 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 стеклянные полые микросферы, зольные микросферы алюмосиликатные, вспученный вермикулитовый песок, вспученный перлитовый песок. 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 вспученным вермикулитовым песком и вспученным перлитовым песком, характеризуются высокими значениями водопоглощения по массе W_m . После 24 часов водонасыщения для композитов, наполненных вспученным перлитовым песком, водопоглощение по массе составило $W_m = 50,64 \%$ (рисунок 5.1 кривая 3), для композитов

наполненных вспученным вермикулитовым песком, водопоглощение по массе составило $W_m = 69,11\%$ (рисунок 5.1 кривая 4).

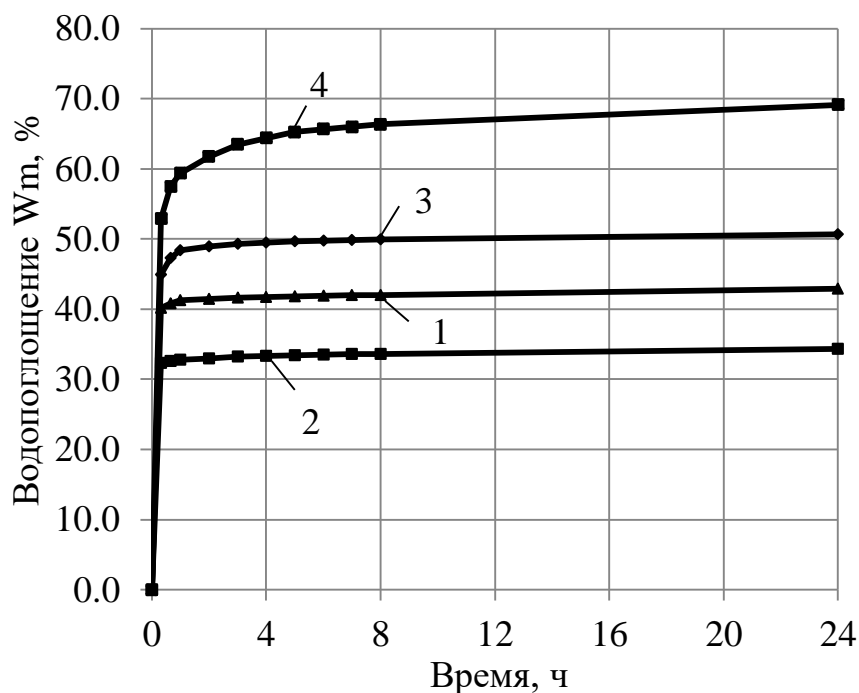


Рисунок 5.1 – Кинетика водопоглощения покрытий: 1 – полые стеклянные микросферы; 2 – зольные микросферы алюмосиликатные; 3 – вспученный перлитовый песок; 4 – вспученный вермикулитовый песок.

Композиты, наполненные полыми стеклянными микросферами и зольными микросферами алюмосиликатными, характеризуются более низкими значениями водопоглощения по массе W_m . После 24 часов водонасыщения для композитов, наполненных зольными микросферами алюмосиликатными, водопоглощение по массе составило $W_m = 34,31\%$ (рисунок 5.1 кривая 2), для композитов, наполненных полыми стеклянными микросферами, 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.

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, $D \times 10^{-9}, \text{ м}^2/\text{с}$	Коэффициент паропроницаемости, $\mu, \text{ мг}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$	Коэффициент размягчения, $K_{\text{разм}}$
Полые стеклянные микросферы	4,19	0,157	0,82
Зольные микросферы алюмосиликатные	3,43	0,154	0,84
Вспученный вермикулитовый песок	7,67	0,202	0,67
Вспученный перлитовый песок	5,88	0,186	0,72

В покрытиях, наполненных стеклянными полыми микросферами и зольными микросферами алюмосиликатными, преобладает закрытая пористость (глава 3), поэтому данные покрытия характеризуются большей водостойкостью по сравнению с покрытиями, наполненными вспученным вермикулитовым песком и вспученным перлитовым песком.

Используемые для наружной отделки газобетона материалы должны обеспечивать защиту стены от проникновения влаги в результате действия 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 [119]. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 5.2.

Для наружной отделки газобетона допускается использовать отделочные составы, характеризующиеся водопоглощением при капиллярном подсосе $W_{кп}$ не более $0,5 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{ч}^{0,5})$ [85]. Покрытия, наполненные полыми стеклянными микросферами и зольными микросферами алюмосиликатными, относятся к классу водоотталкивающих, что позволяет использовать данные покрытия для наружной отделки газобетона. Покрытия, наполненные вспученным вермикулитовым песком и вспученным перлитовым песком, относятся к классу водостойких.

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

Характеристика	Нормативные требования*	Наполнитель			
		Полые стеклянные микросферы	Зольные микросферы алюмосиликатные	Вспученный вермикулитовый песок	Вспученный перлитовый песок
Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{КП}$, 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
$W_{КП} \cdot s_d$, кг/(м · ч ^{0,5})	Не более 2,0	0,036	0,031	0,056	0,051

Примечание. * по DIN 4108-3-2014

5.2 Оценка влияния наполнителей на 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 вспученный перлитовый песок и вспученный вермикулитовый песок. Использование в качестве наполнителей в составе теплоизоляционных ССС для отделки газобетона полых стеклянных микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных 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.

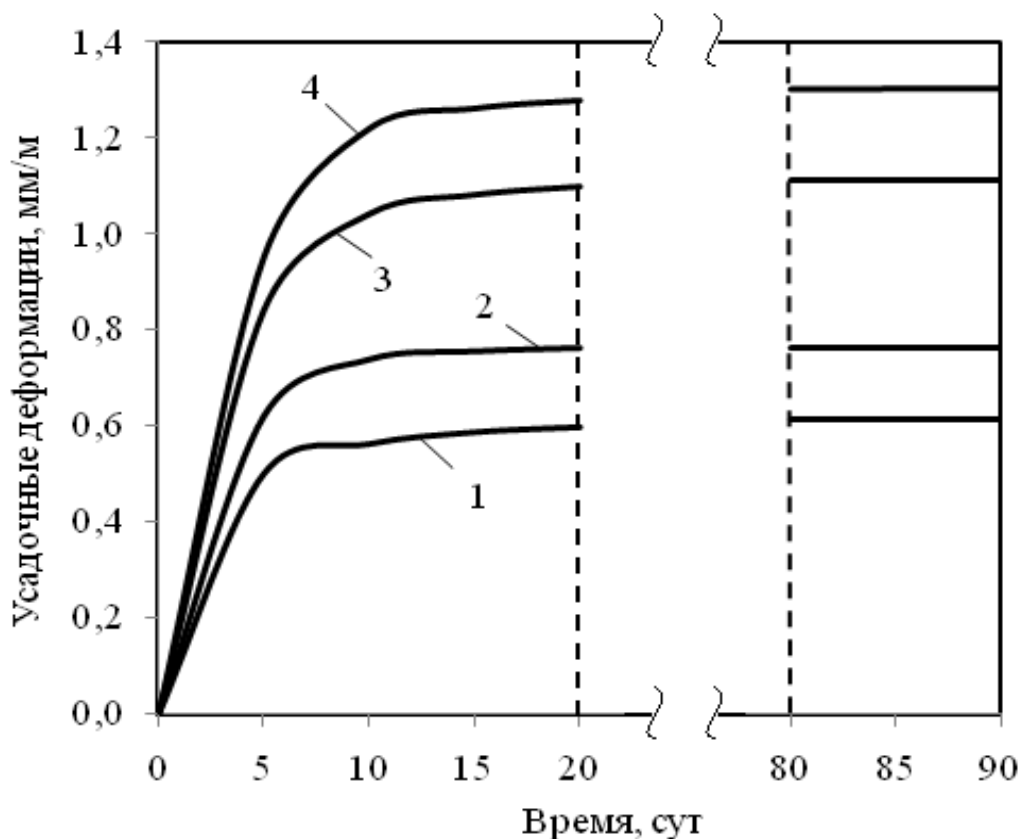


Рисунок 5.2 – Изменения усадочных деформаций покрытий: 1 – полые стеклянные микросферы; 2 – золевые микросферы алюмосиликатные; 3 – вспученный перлитовый песок; 4 – вспученным вермикулитовым песком.

Установлено, что наиболее интенсивный рост усадочных деформаций образцов покрытий с применением стеклянных полых микросфер (рисунок 5.2, кривая 1) и золевых микросфер алюмосиликатных (рисунок 5.2, кривая 2) происходит в течение первых шести суток твердения, после чего наблюдается стабилизация. Усадочные деформации спустя 90 суток у покрытий, наполненных стеклянными полыми микросферами, составили $\epsilon_{yc} = 0,62$ мм/м, у покрытий наполненных золевыми микросферами алюмосиликатными, составили $\epsilon_{yc} = 0,74$ мм/м.

У образцов с применением вспученного вермикулитового песка (рисунок 5.2, кривая 4) и вспученного перлитового песка (рисунок 5.2, кривая 3) стабилизация роста усадочных деформаций наблюдается только после 11 суток твердения. При этом у композитов, наполненных вспученным вермикулитовым песком и вспученным перлитовым песком, 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.

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

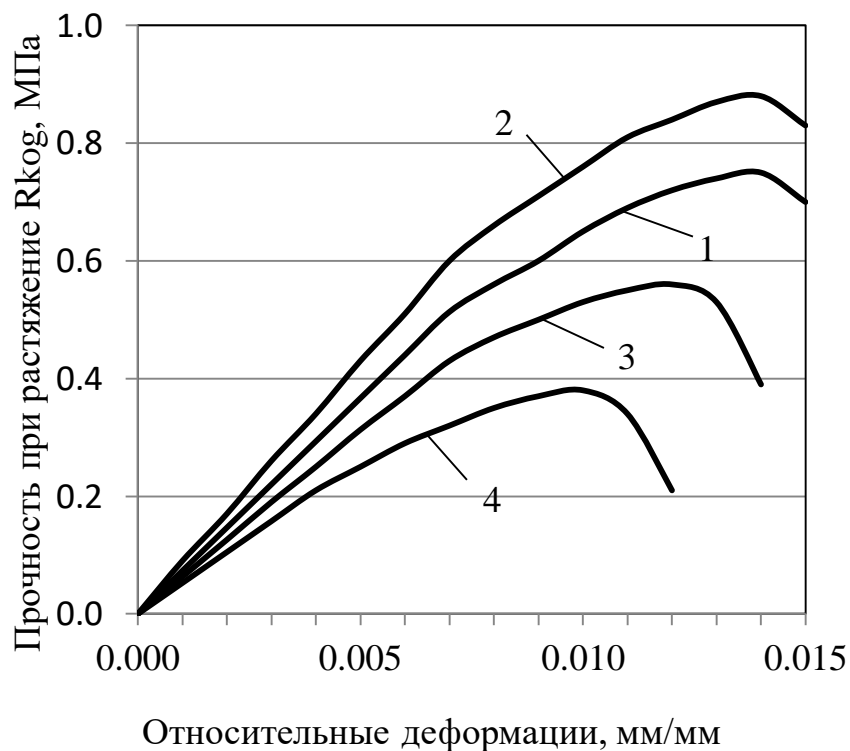


Рисунок 5.3 – Изменение относительных деформаций при растяжении образцов покрытий; 1 – полые стеклянные микросферы; 2 – зольные микросферы алюмосиликатные; 3 – вспученный перлитовый песок; 4 – вспученный вермикулитовый песок.

Установлено, что образцы покрытий, полученные с использованием в качестве наполнителя вспученного вермикулитового песка (рисунок 5.3, кривая 4) и вспученного перлитового песка (рисунок 5.3, кривая 3), характеризуются меньшей прочностью при растяжении, составляющей $R_{kog}=0,38$ МПа и $R_{kog}=0,56$ 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 стеклянными

полыми микросферами (рисунок 5.3, кривая 1) и зольными микросферами алюмосиликатными (рисунок 5.3, кривая 2). Прочность при растяжении образцов на основе состава, наполненного стеклянными полыми микросферами, составила $R_{kog}=0,75$ МПа, на основе, состава наполненного зольными микросферами алюмосиликатными, – $R_{kog}=0,88$.

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

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

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

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

Модуль упругости $E_{упр}$ 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 стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных, возможно увеличить трещиностойкость получаемых отделочных покрытий.

Таблица 5.3 – Деформативные свойства покрытий

Наполнитель	Относительные деформации			Модуль упругости при растяжении $E_{упр}$, МПа	Прочность при растяжении R_{kog} , МПа	Коэффициент трещиностойкости $K_{тр}$
	$\epsilon_{упр}$, мм/мм	$\epsilon_{пл}$, мм/мм	$\epsilon_{пред}$, мм/мм			
Стекланные полые микросферы	0,007	0,009	0,016	73,33	0,75	26,1
Зольные микросферы алюмосиликатные	0,007	0,009	0,016	85,71	0,88	20,9
Вспученный перлитовый песок	0,06	0,08	0,014	61,67	0,56	12,6
Вспученный вермикулитовый песок	0,004	0,008	0,012	52,50	0,38	9,21

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

В течение периода эксплуатации стен из газобетона часто наблюдается отслоение фрагментов наружного отделочного покрытия и появление 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 стены, каждый последующий слой в конструкции ограждения в направлении от внутренней к наружной поверхности должен обладать большей паропроницаемостью и меньшей теплопроводностью по сравнению с предыдущим. 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 [10,53].

В работе представлены результаты оценки влияния вида наружного теплоизоляционного 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»:

- средняя температура отопительного периода $t_{on}=-4,1^{\circ}\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода $z_{om}=200$ сут;

- средняя температура наиболее холодного месяца $t_{х.м.}=-9,8^{\circ}\text{C}$;
- 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:

- расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в}=20,0^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_{в}=55\%$.

Расчетная схема конструкции исследуемой стены представлена на рисунке 5.4.

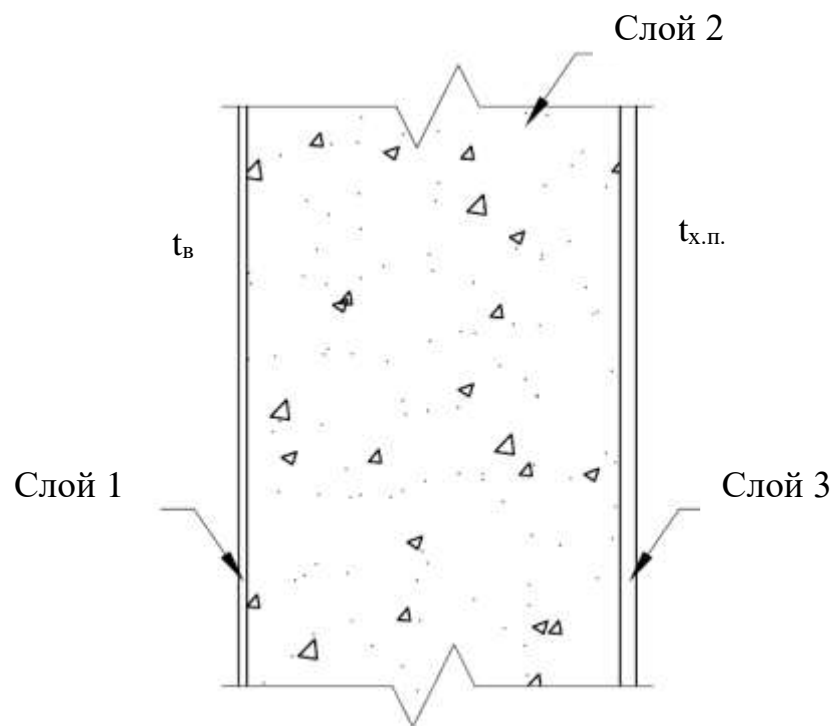


Рисунок 5.4 – Расчетная схема ограждающей конструкции стены

Слой 1 и 2 у всех ограждающих конструкций принят идентичным, изменяли материал слоя 3. Конструктивное исполнение исследуемых ограждающих конструкций и расчетные значения коэффициентов теплопроводности и коэффициентов паропроницаемости исследуемых материалов представлены в таблице 5.4.

Расчетные значения сопротивления теплопередаче наружных стен R_0^{Φ} , $\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ для всех вариантов ограждающих конструкций удовлетворяют

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

Таблица 5.4 – Конструктивное исполнение ограждающих конструкций

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	цементно-шлаковая штукатурка	0,01	1200	0,470	0,140
2	газобетон	0,45	500	0,14	0,230
3	А цементно-шлаковая штукатурка	0,02	1200	0,470	0,140
	Б ССС, наполненная полыми стеклянными микросферами		600	0,135	0,157
	В ССС, наполненная зольными микросферами алюмосиликатными		860	0,211	0,154
	Г ССС, наполненная вспученным вермикулитовым песком		660	0,195	0,202
	Д ССС, наполненная вспученным перлитовым песком		800	0,206	0,184

Для определения зоны возможной конденсации влаги в стеновой конструкции строили профиль давления насыщенного водяного пара E_i и профиль парциального давления водяного пара e_i в исследуемом ограждении. Давление

насыщенного водяного пара E_i определяли по профилю температуры t в соответствии с зависимостями 5.2 и 5.3:

$$E_i = 610.5 \exp\left(\frac{17,269 \cdot t}{237,3 + t}\right), t \geq 0^\circ C; \quad (5.2)$$

$$E_i = 610.5 \exp\left(\frac{21,875 \cdot t}{265,5 + t}\right), t < 0^\circ C. \quad (5.3)$$

Зоной конденсации считали участок ограждающей конструкции, на котором выполнялось условие конденсации влаги (5.4):

$$e_i > E_i; \quad (5.4)$$

Графические зависимости, показывающие распределение максимальных и действительных значений парциальных давлений водяного пара по фрагменту ограждающей конструкции в зоне возможной конденсации, представлены на рисунке 5.5.

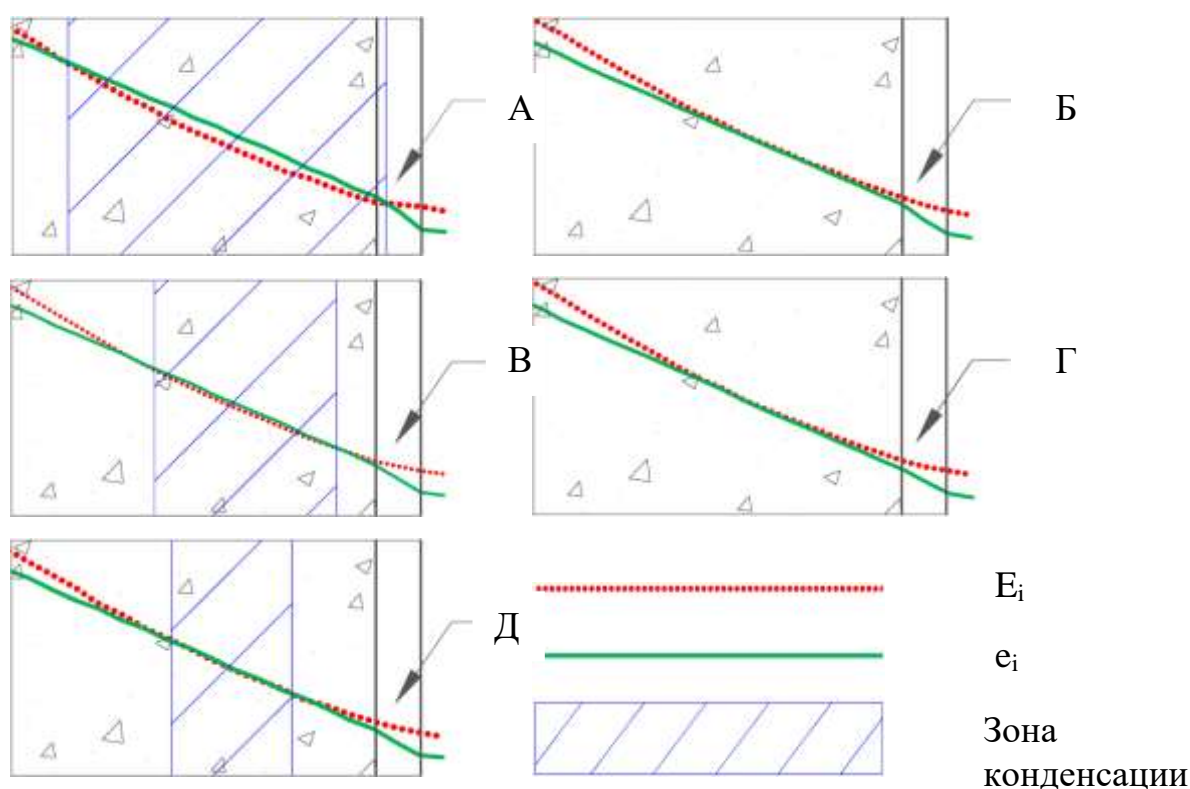


Рисунок 5.5 – Фрагменты профилей действительного и парциального давлений для исследуемых ограждающих конструкций

В нормативной литературе [85] для отделки стен из газобетона рекомендует использовать отделочные покрытия со средней плотностью до 1300-1600 кг/м³.

Тем не менее, при использовании для отделки газобетона марки D500 покрытий со средней плотностью, не превышающей рекомендуемую, в стене могут возникнуть условия для выпадения конденсата. Использование в качестве наружной отделки для таких газобетонных блоков цементно-шлаковой штукатурки со средней плотностью 1200 кг/м^3 может привести к образованию конденсата в слое газобетона в количестве $G=84,0 \text{ мг/м}^2$ в час и в слое наружной штукатурки в количестве $G=6,0 \text{ мг/м}^2$ в час. При этом ширина зоны конденсации составит 135 мм в слое газобетона и 5 мм в слое наружной отделки. Значительная по толщине зона конденсации влаги оказывает влияние на механизмы массопереноса процессов обратной диффузии влаги и обратного капиллярного переноса, усложняя удаление скопившейся влаги из стеновой конструкции [15]. При использовании в качестве отделки для газобетона разрабатываемой ССС, наполненной зольными микросферами алюмосиликатными и вспученным перлитовым песком, ширина зон конденсации уменьшается - до 95 мм и 55 мм соответственно, и они полностью расположены в слое газобетона. Количество образующегося конденсата также уменьшается – для штукатурок, наполненных зольными микросферами алюмосиликатными, оно составляет $G=29,7 \text{ мг/м}^2$ в час, для штукатурок, наполненных вспученным перлитовым песком, $G=11,0 \text{ мг/м}^2$ в час.

Покрытия, полученные с использованием ССС, наполненных полыми стеклянными микросферами и вспученным вермикулитовым песком, обладают более низкой средней плотностью и при их использовании для наружной отделки в стене не создаются условия для образования конденсата.

Данные, приведенные в п. 5.1 – 5.3 данной работы, доказывают высокую эффективность использования в качестве высокопористых наполнителей в разработанной ССС для отделки газобетона стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных. Нельзя рекомендовать использовать вспученный вермикулитовый и вспученный перлитовый песок в рецептуре разработанной ССС для отделки газобетона, из-за низкой водостойкости и низкой трещиностойкости получаемых при их использовании покрытий.

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 [25,96] 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: стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных. 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 [60]. Для измерения адгезии разработанных отделочных покрытий с газобетоном определялась величина прочности сцепления разрабатываемого покрытия с газобетоном методом отрыва штампа. Результаты исследований представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Адгезионные свойства отделочных покрытий

Состав	Адгезионная прочность, $R_{адг}$, МПа
1	2
Известь-пушонка, модифицирующая добавка на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция (10 % от массы извести), белый цемент (20%), пластифицирующую добавку Melflux 2651F (1%), релаксационный порошок VINNAPAS 8031H (5%), гидрофобизатор олеат натрия (1%), стеклянные полые микросферы (40%)	0,49

Продолжение таблицы 5.5

1	2
<p>Известь-пушонка, модифицирующая добавка на основе смеси гидросиликатов кальция и алюмосиликатов кальция (10 % от массы извести), белый цемент (20%), пластифицирующую добавку Melflux 2651F (1%), редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H (5%), гидрофобизатор олеат натрия (1%), стеклянные полые микросферы (40%), молотые отходы производства газобетона (20%)</p>	<p>0,65</p>
<p>Известь-пушонка, модифицирующая добавка на основе смеси гидросиликатов кальция и алюмосиликатов кальция (10 % от массы извести), белый цемент (20%), пластифицирующую добавку Melflux 2651F (1%), редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H (5%), гидрофобизатор олеат натрия (1%), зольные микросферы алюмосиликатные (80%)</p>	<p>0,53</p>
<p>Известь-пушонка, модифицирующая добавка на основе смеси гидросиликатов кальция и алюмосиликатов кальция (10 % от массы извести), белый цемент (20%), пластифицирующую добавку Melflux 2651F (1%), редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H (5%), гидрофобизатор олеат натрия (1%), зольные микросферы алюмосиликатные (80%), молотые отходы производства газобетона (20%)</p>	<p>0,71</p>

Установлено, что отделочный состав, наполненный зольными микросферами алюмосиликатными, обладает большей адгезионной прочностью, чем состав, наполненный стеклянными полыми микросферами. 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 [60].

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 Исследование морозостойкости теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов

Оценка морозостойкости штукатурного раствора на основе разработанных рецептур теплоизоляционной ССС производили методом попеременного замораживания и оттаивания образцов отделочного состава размером 0,07 м × 0,07 м × 0,07 м после 28 суток воздушно-сухого твердения [12]. Результаты проведенных испытаний на морозостойкость разработанного отделочного состава представлены в таблице 5.6

Таблица 5.6 – Морозостойкость теплоизоляционных отделочных покрытий

Наполнитель	Результат испытаний образцов, циклы					
	0	10	15	25	35	50
Стеклянные полые микросферы	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
Зольные микросферы алюмосиликатные	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 стеклянными полыми микросферами, 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 зольными микросферами алюмосиликатными, 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. Оценка прочности сцепления разработанного отделочного состава с газобетоном проводили методом отрыва штампа по ГОСТ 11118-2009 [12].. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Прочность сцепления отделочного покрытия с газобетоном

Наполнитель	Результат испытаний образцов, циклы					
	0	10	15	25	35	50
Стеклянные полые микросферы	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
Зольные микросферы алюмосиликатные	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 стеклянными полыми микросферами и зольными микросферами алюмосиликатными, составила $F_{кз}$ 35. Данные покрытия соответствуют

требованиям ГОСТ 11118-2009 [25] и их можно рекомендовать использовать для наружной отделки газобетона.

Рецептуры разработанных нами теплоизоляционных известковых ССС для отделки газобетона представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Рецептуры теплоизоляционных сухих строительных смесей для отделки газобетона

Наименование компонентов	Массовая доля компонентов, %	
	Состав 1	Состав 2
Известь-пушонка	50,76	42,19
Добавка на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция	5,08	4,22
Молотые отходы производства газобетона	10,15	8,44
Белый цемент	10,15	8,44
Стеклянные полые микросферы	20,30	0,00
Зольные микросферы алюмосиликатные	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 5.9 приведены основные эксплуатационные и технологические свойства теплоизоляционных составов для отделки газобетона на основе разработанной рецептур ССС.

Таблица 5.9 – 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	950	550	1550
Насыпная плотность, кг/м ³	380	440	1000	550	1500
Прочность при сжатии, МПа	3,6	4,1	4,0	3,0	4,0
Расход ССС при нанесении слоя толщиной в 10 мм, кг/м ²	5,9	6,6	11,0	5,5	14,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,119	0,137	0,260	0,130	0,400
Коэффициент паропроницаемости, мг/м·ч·Па	0,157	0,150	0,035	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	F50	F50	F50
Удобоукладываемость	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая

В качестве прототипа 1 выбрана легкая цементная штукатурка для отделки газобетона «Ceresit СТ24 Light», производимая компанией ООО «Хенкель Баутехник», в качестве прототипа 2 – теплоизоляционная штукатурка для газобетона «УМКА UF-2», производимая компанией ООО «Экотермогруп», в качестве прототипа 3 – штукатурка «Известково-цементная» для отделки газобетона фирмы «Боларс».

Анализ данных, приведенных в таблице 5.9, 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.

5.6 Технико-экономические показатели и технологическая схема производства разрабатываемых теплоизоляционных ССС

Апробация разработанных составов теплоизоляционных ССС для отделки газобетона показала возможность их выпуска, а полученные покрытия на их основе удовлетворяют требования 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 алюмосиликатов 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 5.6.

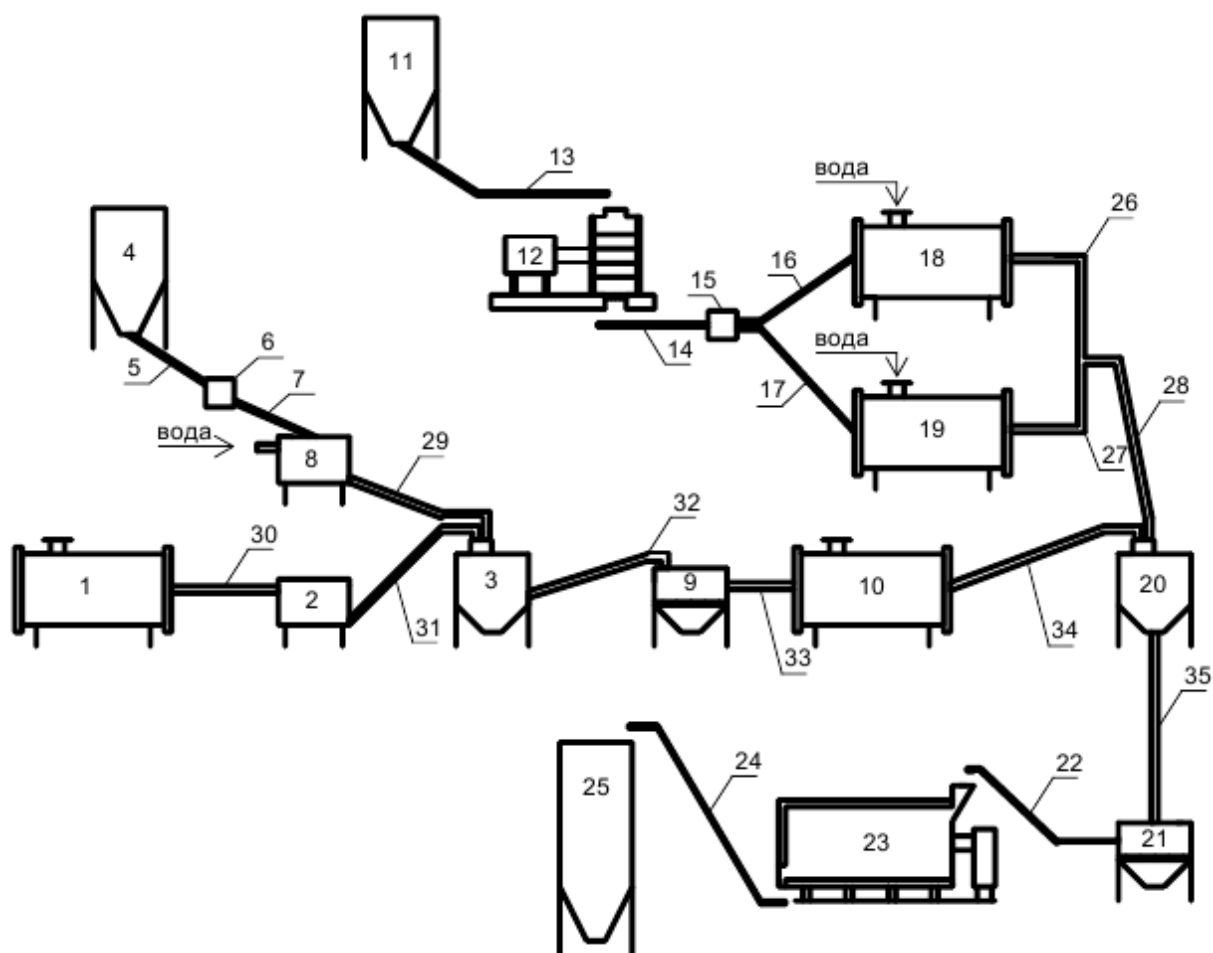


Рисунок 5.6 – Технологическая схема модуля производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция: 1 - емкость для хранения раствора жидкого стекла; 2 - ванна для нагрева раствора жидкого стекла; 3,20 - вертикальный смеситель с встроенным дозатором компонентов; 4 - 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 1 стадии; 11 - силос для хранения сульфата алюминия; 12 - молотовая дробилка для сульфата алюминия; 13 - конвейер складской; 14 - дозатор сульфата алюминия; 18,19 - емкость для хранения раствора жидкого стекла; 23 - барабан сушильный непрямого нагрева; 25 - силос добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция; 26 – 35 – прочее оборудование.

Технологический процесс производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция идет в ниже описанной последовательности. Нумерация производственного оборудования принята по рисунку 5.6.

На 1 стадии производства модифицирующей добавки раствор жидкого натриевого стекла из емкости (1) подается в нагревательную ванну (2), где нагревается до 60⁰С. Негашенная известь из силоса (4) винтовыми конвейерами (5,7) через дозатор (6) поступает в нагревательную ванну (8), наполненную водой, нагретой до 60⁰С. 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). Образовавшийся на 1 стадии производства модифицирующей добавки осадок поступает в емкость (10).

На 2 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 1 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 алюмосиликатов и гидросиликатов кальция оборудования представлен в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – 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
Ванна для нагрева	59800	2	119600
Фильтр для вакуумного обезвоживания осадков	199400	2	398800
Молотковая 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 алюмосиликатов кальция в одну смену потребуются технолог цеха и рабочий дозировочно-смесительного поста.

Технологическая схема производства разработанной ССС представлена на рисунке 5.7.

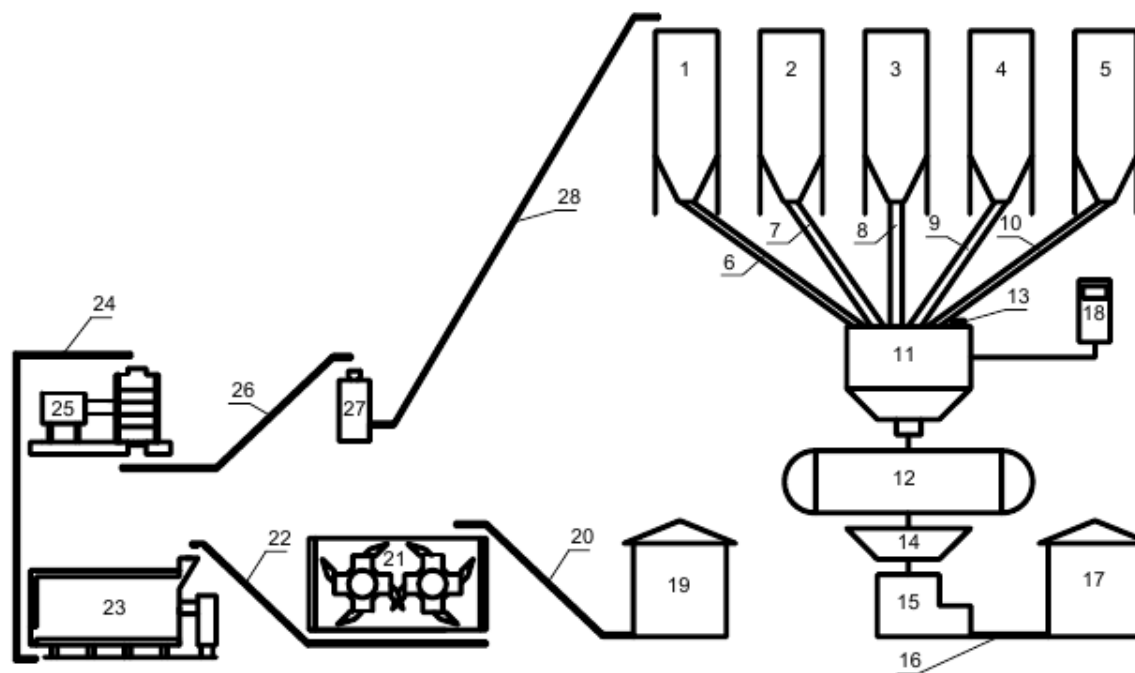


Рисунок 5.7. Технологическая схема производства разработанных составов теплоизоляционных ССС: 1 - силос молотых отходов производства газобетона ; 2 - силос белого цемента; 3 - силос добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция; 4 - силос микросфер; 5 - силос извести-пушонки; 6,7,8,9,10,26,28 - 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.

Технологический процесс производства теплоизоляционной ССС идет в ниже описанной последовательности. Нумерация производственного оборудования принята по рисунку 5.7.

Отходы производства газобетона со склада (19) по складскому конвейеру (20) подаются в шнековая дробилка 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)

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 2651F, гидрофобизатор олеат натрия, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H). 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 5.11.

Таблица 5.11 – 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
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
Молотовая 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, рабочий дозировочно-смесительного поста, упаковщик и грузчик.

Перед использованием разработанная ССС засыпается в емкость с чистой водой и перемешивается до однородной консистенции. После этого ее можно наносить на подготовленное основание.

Для качественной отделки поверхности газобетона разработанным составом ССС основание должно соответствовать определенным требованиям [51,68], 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 быть шероховатой и иметь положительную температуру. Непосредственно перед проведением штукатурных 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.

Для расчета калькуляции себестоимости производства модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция требуются учесть показатели, представленные в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Показатели для расчета себестоимости модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов 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

Продолжение таблицы 5.12

1	2
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 требуются учесть показатели, представленные в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – 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

Продолжение таблицы 5.13

1	2
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 модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алалюмосиликатов кальция по предлагаемой технологии представлена в таблице 5.14. Калькуляция себестоимости изготовления разработанной теплоизоляционной ССС для состава 1 и состава 2 по предлагаемой технологии представлена в таблице 5.15. Стоимость материалов, используемых при производстве теплоизоляционной ССС, принята по реальным ценам 2018-го года.

Таблица 5.14 – Калькуляция себестоимости модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и алаюмосиликатов 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 5.14

1	2	3	4	5
Затраты на аренду помещения	руб			505,26
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

138

Таблица 5.15 – 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 5.15

1	2	3	4	5
Добавка на основе смеси гидросиликатов и алалюмосиликатов кальция	т	26800	0,0508	1370
Белый цемент	т	7000	0,1015	711
Отходы производства газобетона	т	5000	0,1015	508
Пластифицирующую добавку Melflux 2651F	т	660000	0,0051	3350
Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	т	220000	0,0254	5584
Гидрофобизатор олеат натрия	т	220000	0,0051	1117
Стеклянные полые микросферы	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 алалюмосиликатов кальция	т	26800	0,04220	1138
Белый цемент	т	7000	0,0844	591
Отходы производства газобетона	т	5000	0,0844	422

Продолжение таблицы 5.15

1	2	3	4	5
Пластифицирующую добавку Melflux 2651F	т	660000	0,0042	2785
Редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031H	т	220000	0,0211	4641
Гидрофобизатор олеат натрия	т	220000	0,0042	928
Зольные микросферы алюмосиликатные	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 5.15

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 ССС

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 5.16.

Таблица 5.16 – 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
Ceresit СТ24 Light	15,75	11,0	173,25
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 тепловых потерь через стену здания, отделанные различными наименованиями ССС.

Конструкция стены представлена на рисунке 5.5 в п 5.4 данной диссертации. Слой 1 и 3 – различные покрытия, полученные с использованием

ССС, представленных в таблице 5.16. 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:

$$Q = n_{\text{оп}} \cdot z \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н.ср.}}) \cdot k \quad (5.5)$$

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°C;

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

k - коэффициент теплопередачи наружного ограждения, Вт/м²·°C.

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

$$T = Q \cdot 1,163 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Ц}_{\text{х(Т)}} \quad (5.6)$$

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 5.17.

Таблица 5.17 – Энергоэффективность ограждающей конструкции

Оцениваемый показатель	Наименование используемой ССС				
	Разработанная ССС (состав 1)	Разработанная ССС (состав 2)	Ceresit СТ24 Light	UMKA UF-2	Боларс известково-цементная
Термическое сопротивление ограждающей конструкции R, м ² ·°C/Вт	3,321	3,281	3,155	3,145	3,106
Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции k, Вт/м ² ·°C	0,3011	0,3048	0,3169	0,3035	0,3219
Потери теплоты через 1 м ² ограждающей конструкции стены за отопительный период Q, Вт	34831	35258	36661	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	63,95	61,24	64,96

Анализируя данные таблицы 5.17 и таблицы 5.18, выявлено, что разработанная ССС (состав 2) является экономически эффективной. Стоимость за 1кг данной ССС значительно выше стоимости за 1кг ССС «Ceresit СТ24 Light» и «Боларс известково-цементная», но за счет ее меньшего расхода при нанесении, стоимость получаемого отделочного покрытия отличается не значительно. Использование в качестве отделочного состава ССС (состав 2) позволяет снизить затраты на тепловую энергию Т на 3,8% по сравнению с тепловыми затратами Т при использовании «Ceresit СТ24 Light», и снизить затраты на тепловую энергию Т на 5,3% по сравнению с тепловыми затратами Т при использовании «Боларс известково-цементная». Из-за высокой стоимости полых стеклянных микросфер, 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 не конкурентоспособной.

Выводы по главе 5

1. Разработан состав теплоизоляционной известковой ССС, предназначенный для отделки газобетона и содержащий известь-пушонку, зольные микросферы алюмосиликатные в количестве 80 % от массы извести, добавку на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция в количестве 10 % от массы извести, белый цемент в количестве 20 % от массы извести, молотых отходы производства газобетона в количестве 20% от массы извести, Melflux 2651F в количестве 1 % от массы извести, VINNAPAS 8031H 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 $\rho_{cp}=650$ кг/м³, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15$ мг/(м·ч·Па), коэффициент

теплопроводности $\lambda=0,137$ Вт/(м·°С) прочность при сжатии $R_{сж}$ 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 вспученного вермикулитового и перлитового песка, 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 стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных, характеризуются более низкими значениями водопоглощения по массе W_m , равными соответственно 42,92% и 34,31% и более высокими значениями водостойкости – $K_{разм}$ соответственно равен 0,82 и 0,84.

3. Оценено влияния вида используемого наполнителя на трещиностойкость теплоизоляционных покрытий. Установлено, что покрытия, полученные с использованием вспученного вермикулитового и перлитового песка, спустя 90 суток твердения характеризуются усадочными деформации ε_y , составляющими соответственно 1,30 мм/м и 1,11 мм/м, а покрытия на основе стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных -0,62 мм/м и 0,74 мм/м. Выявлено, что покрытия на основе стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных характеризуются более высокой трещиностойкостью. Коэффициенты трещиностойкости $K_{тр}$ данных покрытий составляют соответственно 26,1 и 20,9..

4. Выявлено что использование разрабатываемых теплоизоляционных ССС для наружной отделки газобетона позволяет получать покрытия с показателями теплопроводности и паропроницаемости, близкими к газобетону, что способствует уменьшению количества образующегося конденсата в 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 порстого 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 зольных микросфер алюмосиликатных, является экономически эффективной. Себестоимость получаемого покрытия в 3,32 раза ниже, по сравнению с себестоимостью покрытия, полученного с использованием стеклянных полых микросфер в рецептуре ССС. Рассчитаны затраты на тепло, необходимое для компенсации теплопотерь через стену здания, отделанные различными наименованиями ССС. Установлено, что при использовании разработанной ССС снижаются потери теплоты через 1 м² ограждающей конструкции стены.

Заключение

Итоги выполненного исследования

1. Обоснована возможность снижения плотности, теплопроводности, повышения паропроницаемости покрытий на основе теплоизоляционных сухих строительных смесей для отделки газобетона марок D300-600 за счет использования в качестве наполнителя зольных алюмосиликатных микросфер, в качестве вяжущего извести.

2. Разработана рецептура теплоизоляционной ССС для отделки газобетона, включающая известь-пушонку, зольные микросферы алюмосиликатные, добавку на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, белый цемент, молотые отходы производства газобетона, суперпластификатор Melflux 2651F, редуцируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность $\rho=650$ кг/м³, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15$ мг/(м·ч·Па), коэффициент теплопроводности $\lambda=0,137$ Вт/(м·°С) прочность при сжатии $R_{сж} 4,1=МПа$, марка по морозостойкости F35.

3. Исследовано влияние вида используемого высокопористого наполнителя в теплоизоляционной ССС на механизм передачи тепла через получаемые 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 $\varepsilon=0,93$.

4. Установлен характер влияния наполнителя на поровую структуру отделочных покрытий. Выявлено увеличение открытой пористости покрытий на основе вспученного вермикулитового и перлитового песка (47,7-53,1% в зависимости от содержания наполнителя) по сравнению с покрытиями на основе микросфер (24,1 до 27,2% в зависимости от содержания микросфер).

5. Рассмотрена модель, позволяющая получить теплоизоляционный композит оптимальной структуры. Спрогнозирована средняя плотность теплоизоляционных композитов для различных пар «вяжущее – наполнитель»: известь – стеклянные полые микросферы; цемент – стеклянные полые микросферы; известь – зольные микросферы алюмосиликатные; цемент – зольные микросферы алюмосиликатные. Рассчитано оптимальное содержание микросфер для данных композитов.

6. Обоснована целесообразность использования модифицирующей добавки на основе гидросиликатов и алюмосиликатов 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 алюмосиликатов 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 раз. Подобрана оптимальная концентрация модифицирующей добавки на основе гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, составляющая 10 % от массы извести.

7. Оценено влияние вида используемого высокопористого наполнителя на гидрофизические свойства покрытий на основе разрабатываемой теплоизоляционной ССС. Установлено, что покрытия на основе вспученного вермикулитового и перлитового песка характеризуются низкими значениями коэффициента водостойкости $K_{\text{разм}}$, равными соответственно 0,67 и 0,72. Покрытия на основе стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных являются водостойкими. Коэффициент размягчения $K_{\text{разм}}$ составляет соответственно 0,82 и 0,84.

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

применением вспученного вермикулитового и перлитового песка 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 стеклянных и зальных микросфер соответственно).

9. Выявлено что использование разрабатываемых теплоизоляционных ССС для наружной отделки газобетона позволяет получать покрытия с показателями теплопроводности и паропроницаемости, близкими к газобетону, что способствует уменьшению количества образующегося конденсата в ограждающей конструкции.

10. Обоснована целесообразность применения в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС молотых отходов производства газобетона. Установлено, что при введении в состав смеси молотого газобетона с удельной поверхностью $S_{уд}$ 635 м²/кг наблюдается увеличение прочности сцепления отделочного покрытия с газобетоном, составляющей $R_{адг}$ 0,53 -0,71 МПа в зависимости от вида наполнителя.

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

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 зольных микросфер алюмосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алюмосиликатов 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., Ахмедьянов Р.М., Трофимов Б.Я. Легкие строительные штукатурные растворы с вермикулитовым наполнителем// 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. Опубл.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., Зубарев П.А., Кувшинов П.И., Лахно А.В. Анализ распределения наполнителя в структуре композитов// 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., Горшков А.С., Глумов А.В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков// 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.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.

20. ГОСТ 6992-68 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрyтия 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. Дружинкин, С. В. Вопросы высолообразования сухих строительных смесей с цеолитсодержащей породой // Вестник развития науки и образования. – 2007. – №2. – С. 3-6.

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

40. Жерновский, И.В. Структурообразование известковых композитов в присутствии гидросиликатов и алюмосиликатов кальция / И.В. Жерновский, В.И. Логанина, С.Н. Кислицина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №4. – С. 42 – 47.

41. 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, Выпуск 18. Москва.2014.С. 112-119.

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

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

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

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

46. Зырянов М.С., Ахметжанов А.М., Манушина А.С., Потапова Е.Н. Определение пуццолановой активности метакаолина// Успехи в химии и химической технологии. ТОМ XXX. 2016. № 7. С. 44-46.

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

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

49. Итоги отрасли в 2017 году. Прогноз балансов спроса и предложения в промышленности строительных материалов. Научно-исследовательский институт промышленности строительных материалов.

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

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

52. Корнеев, В.И., Медведева, И.Н., Илясов, А.Г. 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.

53. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С., Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле// Строительство уникальных зданий и сооружений -2015-№6-С.19-33.

54. 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, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – №1. – С. 136 – 140.

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

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

57. 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.

58. Кузнецова, Т. В. Получение и свойства цеолитосодержащих цементов / Т. В. Кузнецова, Е. Н. Потапова, А. С. Горелик, М. В. Сидорова // Цемент, 1989. – №7. – С. 22–23.

59. Легкая штукатурка для ячеистого бетона ATLAS KB-TYNK.
[Электронный ресурс]: Режим доступа:
<http://www.atlasplus.ru/catalog/atlas/atlas-kb-tynk.html>.
60. 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.
61. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ// Строительные материалы. – 2014. – №7 – С. 82-85.
62. Литовский Е.Я., Пучкелевич Н.А. Теплофизические свойства огнеупоров: Справочное издание М.: Изд. Металлургия. 1982. 150 с.
63. 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. – С. 28-32.
64. 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. – С. 167-169.
65. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые составы, наполненные стеклянными полыми микросферами / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений «Строительство». – 2016. – № 4. – С. 47 – 52.
66. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2016. – №5. – С. 82 – 92.
67. Лыков А.В., Тепломассообмен. М., Энергия, 1972, 558 с.

68. Макаревич, М.С. Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Макаревич Марина Сергеевна. – Томск, 2005. – 22 с.
69. Макаренко Ю.В., Беляев К.В. Цементные растворы с различной объемной долей цементной матрицы // Научные чтения, посвященные памяти 24 Горчакова Г.И. и 75-летию с момента основания кафедры "Строительные материалы" МГСУ, Москва, 2009, С. 153-155.
70. Малявина Е.Г. Строительная теплофизика: Учебное пособие / Мос. гос. строит. ун-т. – М.: МГСУ, 2011. 152 с.
71. Нациевский С.Ю., Алексеева Л.В. Производство сухих строительных смесей с применением вспученного перлита// Сухие строительные смеси. – 2012 – № 6. – С. 26-27.
72. Низовцев М.И., Стерлягов А.Н., Терехов В.И.. Влияние градиента температуры на влагоперенос в пористых материалах// Ползуновский вестник. 2012. №3/1 С.17-21.
73. Орешкин Д.В., Беляев К.В., Макаренко Ю.В. Моделирование и разработка оптимальной структуры сверхлёгкого цементного раствора // Строительные материалы. 2011, № 5. С. 42 – 43.
74. 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.
75. Павлюкевич, Н.В. Введение в теорию тепло- и массопереноса в пористых средах. - Минск: Ин-т тепло- и массообмена НАНБ, 2002. – 140 с.
76. Пат. RU23948006 Российская федерация, С01В38/08, С01В38/10, С01В24/24. 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) 3с.

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

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

79. 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

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

81. Пухаренко, Ю.В. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей / Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина, Т. Ю. Сафронова // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1. – С. 98–103.

82. 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.

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

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

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

86. Рынок сухих строительных смесей России: состояние и краткосрочный прогноз. Евгений Ботка, компания «Строительная информация»
87. Саградян А.А., Зимакова Г.А. Исследование пуццоланической активности зольных микросфер// Известия. Высших учебных заведений. «Строительство»-2012-№ 2-С. 43-47.
88. Садовникова, М.А. Свойства синтезированной добавки на основе алюмосиликатов для известковых сухих строительных смесей. / М.А. Садовникова // Молодой ученый. – 2014. – № 3. – С. 342-344.
89. Садовникова, М.А. Синтезированные алюмосиликаты и их применение в сухих строительных смесях // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 11. – С. 19-22.
90. 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.
91. 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.
92. Семенов В.С., Розовская Т.А. Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций с применением облегченных кладочных растворов // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 16-19.
93. Семенов В.С., Розовская Т.А., Орешкин Д.В. Энергоэффективные сухие кладочные смеси на основе полых микросфер / Сб. науч. труд. III (XII) Всероссийской (Международной) конференция «Бетон и железобетон – взгляд в будущее». – М.: МГСУ, 2014 г. – С. 344-352.
94. Соломатов, В. И., Селяев В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / под ред. В. И. Соломатов. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.

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

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

97. 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.

98. Сумской Д.А. Физико-химические основы проектирования теплоизоляционных растворов / Сумской Д.А., Баженов Ю.М., Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Воронов В.В., Ермолаев А.Э. // Научные технологии и инновации (XXI научные чтения) Белгород, 06 октября 2017 – 07 октября 2016 г.– С. 399 – 405.

99. 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.

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

101. Трофимов Б.Я., Ахтямов Р.Я., Ахмедьянов Р.М. Теплоизоляционные штукатурные растворы с вермикулитовым наполнителем// Цемент и его применение. – 2002. – № 6. – С. 16-19. (ссылка 1 глава 3)

102. ТУ 5951-001-87368958-2015 Алюмосиликатные микросферы АСМ-500.

103. ТУ 6-48-91-92. Микросферы стеклянные полые марок МС-ВП, МС-ВП-А9, МС-В. Технические условия. – М.,1995. – 6 с.

104. Уэндландт У. Термические методы анализа/ У. Уэндландт. М.: Мир, 1978. С. 145—212.

105. 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).

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

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

108. 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.

109. 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>)

110. Allen, W. I. Lime as a building material. / W. Allen, I. Allen, L.A. McDonald // The structural engineer. -2003. - № 17. - 317 p.

111. Ashurst, J. The technology and use of hydraulic lime /J. Ashurst // Lime news. -1997.-№5.-pp. 51-58.

112. 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.

113. Cachova, M. Application of Ceramic Powder as Supplementary Cementitious Material in Lime Plasters / M. Cachova, E. Vejmekova, D. Konakova, J Zumar, M. Keppert, P. Reiterman, R. Cerny // Materials science-medziagotyra. – 2016. – № 22-3. – pp. 440-444. <https://doi.10.5755/j01.ms.22.3.7433>

114. Cachova, M. Hygric properties of lime-cement plasters with the addition of a pozzolana / M. Cachova, J. Kot'atkova, D. Konakova, E.

Vejmelkova, E. Bartonkova, R. Cerny // *Procedia Engineering: Ecology and new building materials and products.* – 2016. – № 151. – pp. 127-132.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.403>

115. Čáchová, M. Ternary binder based plasters with improved thermal insulating ability / M. Čáchová, D. Koňáková, E. Vejmelková, M. Vyšvařil // 3rd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies (IMST 2017) 27 – 29 September 2017, Riga, Latvia, № 251.
(<https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012008>)

116. Ceresit CT 24. Штукатурка для ячеистого бетона [Электронный ресурс]: Режим доступа:
http://www.ceresit.ru/ru/products/vnutrennyay_otdelka/shtukaturki/ct-24-smoothing-plaster11.html.

117. 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.

118. Colangeloab, F. Mechanical and thermal properties of lightweight geopolymer composites / F. Colangeloab, G. Rovielloab, L. Ricciottiab, V. Ferrándiz-Masc, F. Messinaab, C. Feroneab, O. Tarallod, R. Cioffiab, C.R. Cheesemane // *Cement and Concrete Composite.* – 2018. – № 86. – pp. 266-272.
(<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.11.016>)

119. 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. (ссылка 1 глава 5)

120. Govaertsa, Y. Performance of a lime-based insulating render for heritage buildings / Y. Govaertsa, R. Hayenb, M. Bouwc, A. Verdoncka, W. Meulebroeckd, S. Mertense, Y. Grégoiree // *Construction and Building Materials.* – 2018. – № 159. – pp. 376-389.
(<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.115>)

121. 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>)

122. Koňákováa, D. Lime-based plasters with combined expanded clay-silica aggregate: Microstructure, texture and engineering properties/ D. Koňáková, M. Čáchová, E. Vejmelková, M. Keppert, M. Jerman, P. Bayer, P. Rovnaníková, R. Černýa // Cement and Concrete Composites. – 2017. – № 83. – pp. 374-383. (<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.08.005>)

123. Lesovik, V.S., Chulkova, I.L., Zagordnyuk, L.K., Volodchenko, A.A., Yurievich, P.D. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works //Research Journal of Applied Sciences 2014 Volume: 9 Issue: 12, p.1100-1105.

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

125. 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>)

126. 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>)

127. Pavlíka, Z. Modified lime-cement plasters with enhanced thermal and hygric storage capacity for moderation of interior climate / Z. Pavlíka, J. Fořta, M. Pavlíkováa, J. Pokornýa, A. Trníkab, R. Černý // Energy and Buildings – 2016. – № 126. – pp. 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.004>

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

129. 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>

130. 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>)

131. 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, редиispersируемый порошок Vinparas 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 $6,6 \text{ кг/м}^2$ при нанесении слоя толщиной 10 мм. Общая площадь отделанной поверхности составила 480 м^2 .

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» мая 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

**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 алумосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алумосиликатов 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

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 алумосиликатных, белого цемента, добавки на основе гидросиликатов и алумосиликатов 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 алумосиликатов

кальция;

- размолотые отходы производства газобетона;
- зольные микросферы алумосиликатные (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 смесей

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 алумосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алумосиликатов 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 алумосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алумосиликатов 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

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 алюмосиликатных, в качестве модифицирующей добавки гидросиликатов и алюмосиликатов 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 МКК «Еврохим»	Принимается по паспорту поставщика

ПРОЕКТ СТО

1	2	3	4
9	Вода	ГОСТ 23732	-водородный показатель pH. -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 – Рецептура 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

«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 растворных смесей определяют по ГОСТ 5802-86 путем испытания уложенной на промокательную бумагу растворной смеси толщиной 12 мм.

8.5 Водопоглощение при капиллярном подсосе затвердевших растворных 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

- 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/м^3 .

11.5 Санитарно- и радиационно-гигиеническую безопасность применения смесей устанавливают на основании санитарно-эпидемиологического заключения уполномоченных органов государственного санитарного надзора и оценивают по безопасности смесей или их составляющих.

11.6 Безопасность минеральных составляющих смесей (цемента, извести, заполнителей, наполнителей) оценивают по содержанию

радиоактивных веществ, а химических добавок – по их санитарно-гигиеническим характеристикам.

11.7 Смеси не должны выделять во внешнюю окружающую среду вредные химические вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК), утвержденные органами здравоохранения.

11.8 Запрещается сбрасывать сухие смеси, а также отходы от промывки оборудования в водоемы санитарно-бытового использования и канализацию.

11.9 Отходы производства образуются в ходе технологического процесса и сосредотачиваются на площадке, где собираются и помещаются в тару:

- третий класс – в бумажные мешки,

- четвертый класс – собираются в виде конуса, откуда автопогрузчиком перегружаются в автотранспорт и доставляются на полигон захоронения.

11.10 Во избежание пыления сверху отходы следует закрывать брезентом или полиэтиленовой пленкой по ГОСТ 10354-82.

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.

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.