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

*На правах рукописи*



Фролов Михаил Владимирович

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

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

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

C:\Users\Pavel\AppData\Local\Temp\Rar$DIa0.986\media\image2.jpeg

Пенза 2018

**Оглавление**

Введение 5

[Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования 11](#bookmark1)

1. [Анализ существующих тенденций развития рынка сухих строительных смесей и газобетона 11](#bookmark2)
2. [Особенности эксплуатации отделочных покрытий для газобетона 15](#bookmark4)
3. [Анализ влияния высокопористых наполнителей на свойства штукатурных составов 22](#bookmark5)
4. Обоснование возможности регулирования свойств теплоизоляционных известковых покрытий за счет использования модифицирующих добавок 26
5. [Цели и задачи исследования 28](#bookmark8)

Глава 2. Характеристика материалов и методика проведения исследований 30

1. Характеристика материалов 30
2. [Методика оценки физико-механических свойств сухих строительных смесей и покрытий на их основе 37](#bookmark9)
3. [Методика оценки реологических и технологических свойств отделочных составов 41](#bookmark11)
4. [Методика оценки гидрофизических свойств покрытий на основе разрабатываемой сухой строительной смеси 43](#bookmark13)
5. [Методика оценки пуццоланической активности материалов 46](#bookmark15)
6. Методы оценки кинетики тепломассопереноса в отделочном покрытии 48

[2.7. Прочие методы исследований 50](#bookmark17)

[2.8 Статистическая обработка результатов испытаний 53](#bookmark18)

[Глава 3. Обоснование выбора компонентов при создании теплоизоляционных сухих строительных смесей 55](#bookmark21)

1. [Анализ влияния наполнителей на механизм передачи тепла в исследуемых растворных композитах 55](#bookmark22)
2. [Оценка влияния наполнителей на кинетику влагопереноса в исследуемых растворных композитах 62](#bookmark24)
3. [Определение активности наполнителей 66](#bookmark26)
4. Анализ распределения микросфер в структуре растворного композита 69

[Выводы по главе 3 76](#bookmark29)

Глава 4. Разработка рецептуры теплоизоляционной сухой строительной смеси ... 78

* 1. [Физико-химические свойства добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция 78](#bookmark31)
  2. [Закономерности влияния добавки на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция на свойства известковых композитов 86](#bookmark33)
  3. [Исследование возможности применения отходов производства газобетона в рецептуре разрабатываемой теплоизоляционной сухой строительной смеси 91](#bookmark35)
  4. Реологические и технологические свойства разрабатываемой

теплоизоляционной сухой строительной смеси 94

[Выводы по главе 4 98](#bookmark44)

[Глава 5. Эксплуатационная стойкость отделочного слоя на основе теплоизоляционной сухой строительной смеси 100](#bookmark45)

1. [Гидрофизические свойства теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов 100](#bookmark46)
2. [Трещиностойкость теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов 103](#bookmark48)
3. Оценка влияния отделочных покрытий на основе разрабатываемых составов на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции . 109
4. [Прочность сцепления с газобетоном теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов 118](#bookmark53)
5. [Морозостойкость теплоизоляционных покрытий на основе разрабатываемых составов 119](#bookmark55)
6. [Технико-экономические показатели и технологическая схема производства разрабатываемых теплоизоляционных сухих строительных смесей 124](#bookmark57)
7. Оценка экономической эффективности использования разрабатываемых

теплоизоляционных сухих строительных смесей 138

[Выводы по главе 5 141](#bookmark60)

Заключение 144

Список литературы 148

Приложение А. Акт опытно-производственного апробирования

теплоизоляционной известково-цементной сухой строительной смеси 167

Приложение Б. Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные

смеси для отделки газобетона. Технические условия. Проект

СТО 168

**Введение**

**Актуальность темы исследования.** Ужесточение требований к энергоэффективности вновь возводимых зданий вызвало увеличение объемов использования при строительстве газобетонных блоков марок D300-D600, позволяющих возводить однослойные наружное 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 (CCC).

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

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

Диссертационная работа выполнена на базе кафедры «Управление качеством и технология строительного производства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» в рамках программы «У.М.Н.И.К.» по теме «Разработка теплоизоляционной сухой строительной смеси, наполненной стеклянными микросферами, для отделки газобетона» при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Договор № 11336ГУ1/2017 от 21 апреля 2017 г., срок выполнения 2017-2019 г.), и стипендии Правительства РФ на 2016/2017 год (Приказ Министерства образования и науки РФ № 143 от 24 февраля 2016 г.).

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

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

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

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

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

Установлен синергетический эффект влияния модифицирующей добавки на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, обладающей высокой пуццоланической активностью, на структурообразование известковых отделочных составов, проявляющийся в снижении содержания свободной извести до 28,6 %, повышении прочности при сжатии в 2,87 раза, ускорении набора пластической прочности, увеличении коэффициента размягчения в 2,2 раза.

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

Разработан состав теплоизоляционной ССС, предназначенный для отделки газобетона и содержащий известь-пушонку, зольные микросферы алюмосиликатные, белый цемент, добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, размолотые отходы производства газобетона, пластификатор Melflux 2651 F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность покрытия р=650 кг/м , коэффициент теплопроводности Х=0,137 Вт/(м-°С), адгезионная прочность Rw=0,71 МПа, коэффициент паропроницаемости ^=0,15 мг/(мчПа), коэффициент размягчения Кразм=0,82, прочность при сжатии R^=4,1 МПа.

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

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

**Методология и методы диссертационного исследования.** Методологической базой проведенных исследований служат общенаучные методы, основанные на эксперименте, методе системного подхода, принципе рассмотрения во взаимосвязи, обобщение.

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

**Положения, выносимые на защиту:**

* результаты исследований влияния вида используемого в составе теплоизоляционной известковой ССС высокопористого наполнителя на теплоизоляционные, гидрофизические и деформационные свойства отделочного покрытия;
* закономерности изменения реологических, технологических, физико­механических свойств известковых отделочных составов, полученных с использованием в качестве добавки смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция;
* состав и технология производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона.

**Степень достоверности результатов работы.** Высокая достоверность достигнутых результатов работы и полученных научных выводов обеспечивается хорошей сходимостью результатов проведенных экспериментальных исследований с данными, полученными в результате производственного апробирования, проведением экспериментов на исследовательском

оборудовании, прошедшем метрологическую поверку, статистической обработкой результатов выполненных экспериментальных исследований с заданной вероятностью и необходимым количеством повторных испытаний.

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

межрегиональной специализированной выставке «Промышленность.

Строительство. Коммунальное хозяйство. Энергосбережение.» (г. Пенза, 2017 г.), международном молодежном образовательном форуме «Евразия - 2016» (г. Оренбург, 2016 г.), молодежном форуме ПФО «ЇВолга 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 «ЇВолга 2017» (г. Самара, 2017 г.), Всероссийском молодежном образовательном форуме «Территория смыслов» (г. Владимир, 2017 г.). В промышленных условиях апробацию полученных результатов осуществляли на предприятии ПТО ООО РСУ «Спецработ».

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

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

Заключение

Итоги выполненного исследования

1. Рассмотрена модель, позволяющая получить теплоизоляционный композит оптимальной структуры. Спрогнозирована средняя плотность теплоизоляционных композитов для различных пар «вяжущее - наполнитель»: известь - ПСМ; цемент - ПСМ; известь - ЗМА; цемент - ЗМА. Рассчитано оптимальное содержание микросфер для данных композитов.
2. Обоснована возможность снижения плотности, теплопроводности, повышения паропроницаемости покрытий на основе теплоизоляционных ССС для отделки газобетона марок D300-D600 за счет использования в качестве наполнителя ЗМА, в качестве вяжущего извести. Разработана рецептура теплоизоляционной ССС для отделки газобетона, включающая известь-пушонку, ЗМА, добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, белый цемент, молотые отходы производства газобетона, суперпластификатор Melflux 2651 F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность рср=650 кг/м , коэффициент паропроницаемости jlx=0, 15 мг/(м-ч-Па), коэффициент теплопроводности Х=0,137 Вт/(м-°С) прочность при сжатии R^=4,1 МПа, марка по морозостойкости F35.
3. Исследовано влияние вида используемого высокопористого наполнителя в теплоизоляционной ССС на механизм передачи тепла через получаемое отделочное покрытие. Установлено, что способность отделочного покрытия отражать тепло и передавать его при помощи конвекции не зависит от вида используемого наполнителя. Коэффициент излучения, независимо от вида используемого наполнителя, составил є=0,93.
4. Установлен характер влияния наполнителя на поровую структуру отделочных покрытий. Выявлено, что при использовании ВВП и ВПП происходит увеличение общей пористости отделочного покрытия за счет роста количества открытых пор, образующихся из-за высокой водопотребности данных наполнителей. Рост общей пористости у отделочных покрытий при использовании ЗМА и ПСМ происходит за счет увеличения закрытой пористости из-за полой структуры данных наполнителей, при этом количество открытых пор уменьшается.
5. Обоснована целесообразность использования модифицирующей добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция в рецептуре теплоизоляционных известковых ССС для отделки газобетона. Доказана целесообразность принятой двухстадийной технологии синтеза модифицирующей добавки. Пуццоланическая активность добавки составляет 762,5 мг/г. Установлены закономерности твердения известкового композита в присутствии добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, заключающиеся в том, что введение добавки ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси, повышает прочность при сжатии известковых композитов в 2,87 раза, снижает содержание свободной извести в 1,72 раза. Подобрана оптимальная концентрация модифицирующей добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, составляющая 10 % от массы извести.
6. Оценено влияние вида используемого высокопористого наполнителя на гидрофизические свойства покрытий на основе разрабатываемой теплоизоляционной ССС. Установлено, что покрытия на основе ВВП и ВПП характеризуются низкими значениями коэффициента водостойкости Кразм, равными соответственно 0,67 и 0,72. Покрытия на основе ПСМ и ЗМА являются водостойкими. Коэффициент размягчения Кразм составляет соответственно 0,82 и 0,84.
7. Уставлено, что покрытия на основе микросфер обладают повышенной трещиностойкостью по сравнению с покрытиями с применением ВВП и ВПП за счет снижения усадочных деформаций, повышения когезионной прочности и предельной растяжимости. Коэффициенты трещиностойкости Ктр покрытий на основе микросфер составляют 26,1 и 20,9 (для ПСМ и ЗМА соответственно).
8. Выявлено, что за счет использования для отделки газобетонных блоков марок D300-D600 разрабатываемой ССС конденсация влаги начинается при существенно более низкой температуре наружного воздуха.
9. Обоснована целесообразность применения в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС молотых отходов производства газобетона. При добавление размолотого до удельной поверхности Syд 635 м /кг газобетона в разрабатываемую ССС, с применением ЗМА, наблюдается рост прочности сцепления отделочного покрытия с газобетоном Rw с 0,53 МПа до 0,71 МПа, с применением ПСМ с 0,49 МПа до 0,65 МПа.
10. Рассчитаны технико-экономические показатели и разработана технологическая схема производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона. Установлено, что разработанная ССС, полученная с использованием в качестве наполнителя ЗМА, является экономически эффективной. Себестоимость покрытия, полученного с использованием ЗМА, в 3,32 раза ниже себестоимости покрытия, полученного с использованием ПСМ. Разработан проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные смеси для отделки газобетона. Технические условия» (Приложение Б).

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

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

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

Список литературы

1. Акжигитова Э.Р. Сухие строительные смеси на основе местных материалов / Э.Р. Акжигитова, Е.Е. Симонов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. - 2013. - № 3. - С. 46-49.
2. Ахтямов Р.Я. Легкие строительные штукатурные растворы с вермикулитовым заполнителем / Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2002. - №11. - С. 16-17.
3. А.с. 698923 Способ получения алюмосиликатного наполнителя. / В.С. Сажин, М.К. Мокшина, С.Д. Дементьева, Р.И. Калинина, А.И. Волковская, Н.В. Игнатьев, 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.

1. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. - М: Издательство АСВ, 2003. - 96 с.
2. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей / Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания. - 2007. - № 7. - С. 60-62.
3. Бобрышев А.Н. Анализ распределения наполнителя в структуре композитов / А.Н. Бобрышев, П.А. Зубарев, П.И. Кувшинов [и др.] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. - 2012. - №1 (20).
4. 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.
5. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов/ под ред. Ю.М. Бутта. М: Высшая школа. 1973. 504 с.
6. Ватин В.И., Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков / В.И. Ватин, А.С. Горшков, А.В. Глумов // Инженерно-строительный журнал. - 2011. - №1. - С.28-33.
7. Вернигорова В.Н. Кинетика взаимодействия оксида кремния с катионами кальция в системе СаО - SIO2 - Н2О бетонной смеси /

В.Н. Вернигорова, С.М. Саденко // Образование и наука в современном мире. Инновации. - 2016. - № 6-2. - С. 122-128.

1. 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.
2. 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.

1. 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.