

На правах рукописи



Фролов Михаил Владимирович

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

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза 2018

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Логанина Валентина Ивановна

Официальные оппоненты: **Белов Владимир Владимирович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тверской государственной
технической университет», заведующий
кафедрой «Производство строительных
изделий и конструкций»

Низина Татьяна Анатольевна,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Мордовский
государственный университет имени
Н.П.Огарёва», профессор кафедры
«Строительные конструкции»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Волгоградский
государственный технический
университет»

Защита состоится 8 февраля 2019 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.01, созданного на базе Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, корп.1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/d-212-184-01/99-22-frolov-mihail-vladimirovich>.

Автореферат разослан 7 декабря 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бакушев
Сергей Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

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

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

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

Степень разработанности темы исследования. Вопросам разработки теплоизоляционных ССС посвящены многочисленные работы российских и зарубежных ученых Загороднюк Л.Х., Трофимова Б.Я., Баженова Ю.М., Лесовика В.С., Крамаренко А.В., Низиной Т.А., Нациевского С.Ю., Пустовгар А.П., Ерофеева В.Т., Cachova M., Vejmelkova E, Palomar I., Shoukrya H., Chen J.P. и др. Для снижения средней плотности отделочных

покрытий в их состав вводят различные высокопористые наполнители. В работах Королева Е.В., Орешкина Д.В., Величко Е.Г., Семенова В.С. обоснована возможность эффективного использования микросфер в качестве высокопористого наполнителя для цементных растворов. Однако низкая паропроницаемость цементных отделочных составов с микросферами по сравнению с газобетоном марок D300-D600 ограничивает возможность их использования в качестве наружной отделки для стен из газобетона.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка рецептуры и технологии производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона марок D300-D600, покрытия на основе которой будут обладать пониженной плотностью, 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 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 за счет формирования структуры композита с закрытой пористостью.

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

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

Разработан состав теплоизоляционной ССС, предназначенный для отделки газобетона и содержащий известь-пушонку, зольные микросферы алюмосиликатные, белый цемент, добавку на основе смеси гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, размолотые отходы производства газобетона, пластификатор Melflux 2651 F, редиспергируемый порошок VINNAPAS 8031 H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность покрытия $\rho=650$ 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 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, обобщении.

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

Положения, выносимые на защиту:

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

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

– состав и технология производства теплоизоляционной ССС для отделки газобетона.

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

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы представлены на международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (г. Белгород, 2017 г.), XX межрегиональной специализированной выставке «Промышленность. Строительство. Коммунальное хозяйство. Энергосбережение.» (г. Пенза, 2017 г.), международном молодежном образовательном форуме «Евразия – 2016» (г. Оренбург, 2016 г.), молодежном форуме ПФО «iВолга 2016» (г. Самара, 2016 г.), молодежном инновационном форуме «Инновационные технологии в информатике, медицине, современных материалах и биотехнологиях» в рамках финала отбора по программе «У.М.Н.И.К.» (г. Пенза, 2016 г.), молодежном форуме ПФО «iВолга 2017» (г. Самара, 2017 г.), Всероссийском молодежном образовательном форуме «Территория смыслов» (г. Владимир, 2017 г.). В промышленных условиях апробацию полученных результатов осуществляли на предприятии ПТО ООО РСУ «Спецработ».

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

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В результате проведенного анализа установлено, что в России в последние годы наблюдается рост производства газобетонных блоков марок D300-D600. 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 газобетонных блоков марок D300-D600. Из-за этого возникает несоответствие теплофизических и деформационных характеристик отделочного слоя и газобетона, что приводит к значительным внутренним напряжениям и интенсивному увлажнению в месте контакта штукатурного покрытия и газобетона, в результате чего нарушается сцепление отделочного покрытия с основанием и происходит отрыв штукатурных слоев от стены.

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

Для обоснования выбора вяжущего была рассмотрена модель теплоизоляционного композита, построенная на основании следующего положения: частицы вяжущего имеют одинаковые размеры, микросферы имеют одинаковые размеры и разделены между собой прослойкой вяжущего постоянной толщины. При этом толщина прослойки вяжущего между микросферами равна двум диаметрам частиц вяжущего, а каждая отдельная микросфера покрыта слоем вяжущего толщиной, равной одному диаметру частицы вяжущего. 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 микрофер. Рассмотрено применение в качестве наполнителя в теплоизоляционных отделочных составах зольных микрофер алюмосиликатных (ЗМА) и полых стеклянных микрофер (ПСМ). На основании рассматриваемой модели рассчитано оптимальное содержание микрофер и спрогнозирована плотность получаемого теплоизоляционного композита (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетные характеристики теплоизоляционных композитов

Вяжущее	Наполнитель	Объем микрофер в композите V_M , %	Содержание микрофер от массы вяжущего $M^%$, %	Плотность композита ρ , кг/м ³
Известь	ПСМ	41,43	17,3	684
Цемент	ПСМ	26,99	3,5	1663
Известь	ЗМА	60,45	89,9	766
Цемент	ЗМА	51,17	28,6	1381

Полученные расчетные характеристики сравнивали с результатами проведенного эксперимента: при содержании ПСМ 20% от массы извести плотность композита равна 610 кг/м³, при содержании ЗМА 80% – 690 кг/м³. Разницу между расчетными и экспериментальными значениями плотностей можно объяснить рядом принятых при расчете модели упрощений.

Выявлено, что использование извести в качестве вяжущего в теплоизоляционных ССС способствует снижению плотности и повышению теплоизоляционных свойств получаемых покрытий.

Технологические и эксплуатационные свойства покрытий на основе теплоизоляционных ССС в значимой степени определяются их поровой структурой, на которую в наибольшей степени оказывает влияние

водопотребность используемого наполнителя, его природа и структура.

Исследовали изменение водопотребности известковых составов по мере увеличения содержания в них микрофер. Сравнивали водопотребность составов с микроферами с водопотребностью составов, полученных с использованием традиционных высокопористых наполнителей – вспученного вермикулитового (ВВП) и перлитового песка (ВПП). Для этого готовили равнопластичные составы с

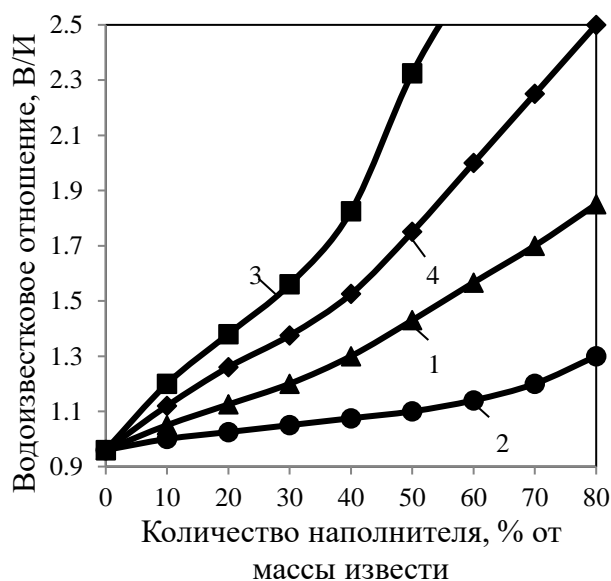


Рисунок 1 – Влияние содержания наполнителя на водопотребность составов: 1 - ПСМ; 2 - ЗМА; 3 - ВВП; 4 - ВПП

различным содержанием наполнителей. Предельное напряжение сдвига определяли с помощью конического пластометра КП-3 (рисунок 1). Низкая водопотребность составов, полученных с использованием ЗМА, по сравнению с составами, полученными с использованием ВВП и ВПП, объясняется отсутствием у микросфер открытых микропор, способных активно впитывать воду, и формой микросфер, обеспечивающей высокий коэффициент заполнения ими объема состава.

Сравнивали соотношения объема открытых и закрытых пор в композитах, полученных с использованием различных наполнителей (рисунок 2). Все наполнители использовали в количестве 40 % от массы извести.

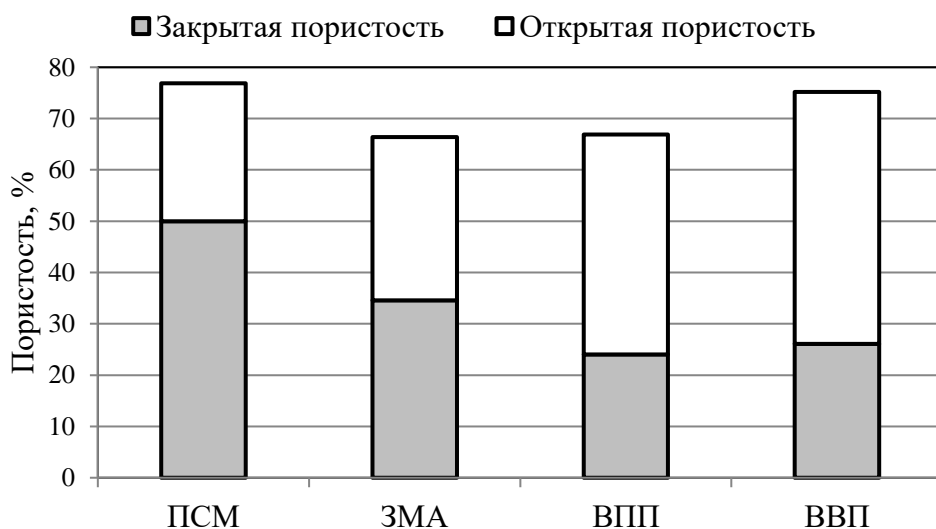


Рисунок 2 – Структура известковых композитов

В композитах, полученных с использованием ВВП и ВПП, преобладают открытые поры, образующиеся из-за высокой водопотребности данных составов. В композитах, полученных с использованием микросфер, преобладают закрытые поры, образующиеся из-за полой структуры данных наполнителей.

Исследовано влияние наполнителей на механизм передачи тепла и кинетику влагопереноса. Для оценки способности штукатурных покрытий противостоять переносу тепла за счет теплового излучения определяли коэффициент излучения ϵ , характеризующий способность отделочного покрытия отражать тепло. Коэффициент излучения ϵ исследуемых покрытий определяли при помощи тепловизора Testo 882 и электронного термометра ТЭН-5. Установлено, что коэффициент излучения ϵ не зависит от используемого наполнителя и для всех исследуемых покрытий коэффициент излучения составил $\epsilon=0,93$.

При оценке кинетики влагопереноса в отделочном слое исследовано изменение дифференциального влагосодержания в процессе увлажнения, для чего образец покрытия, состоящий из четырех плоскопараллельных дисков толщиной 5 мм каждый, размещали между двумя камерами, в

которых поддерживали следующие температурно-влажностные условия: в камере 1 – температура $t_1=60$ °С, относительная влажность $\phi_1=100$ %, в камере 2 – температура $t_2=20$ °С, относительная влажность $\phi_2=50$ %.

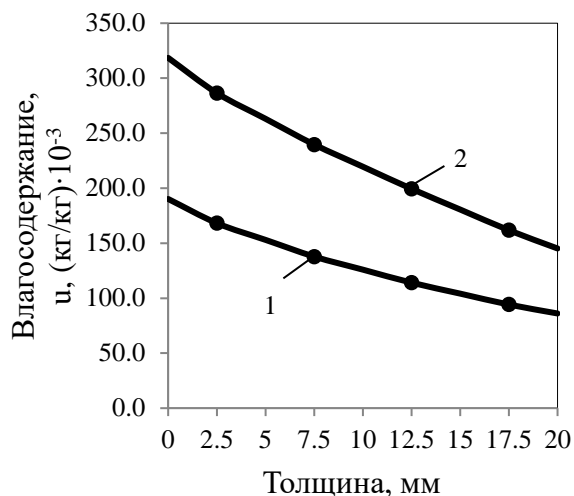


Рисунок 3 – Распределение влагосодержания по толщине отделочного слоя: 1 – ЗМА; 2 – ВВП

Установлено, что влагосодержание в покрытии, полученном с использованием ЗМА, распределено более равномерно по сечению материала по сравнению с влагосодержанием в покрытии, полученном с использованием ВВП (рисунок 3).

В связи с этим покрытие, полученное с использованием ЗМА, способно лучше противодействовать температурно-влажностным деформациям, возникающим в слое отделки.

Для повышения прочности, водостойкости и увеличения скорости структурообразования в известковый состав предложено вводить модифицирующую добавку. Добавка представляет собой белый высокодисперсный порошок, характеризующийся следующими свойствами: истинная плотность 2140 кг/м^3 ; насыпная плотность 240 кг/м^3 ; удельная поверхность $1380 \text{ м}^2/\text{кг}$. Методами рентгенофазового и дифференциально-термического анализа определен минералогический состав добавки, представленный минералами тоберморитовой группы, гипсом, гидроалюмосиликатами кальция (рисунок 4).

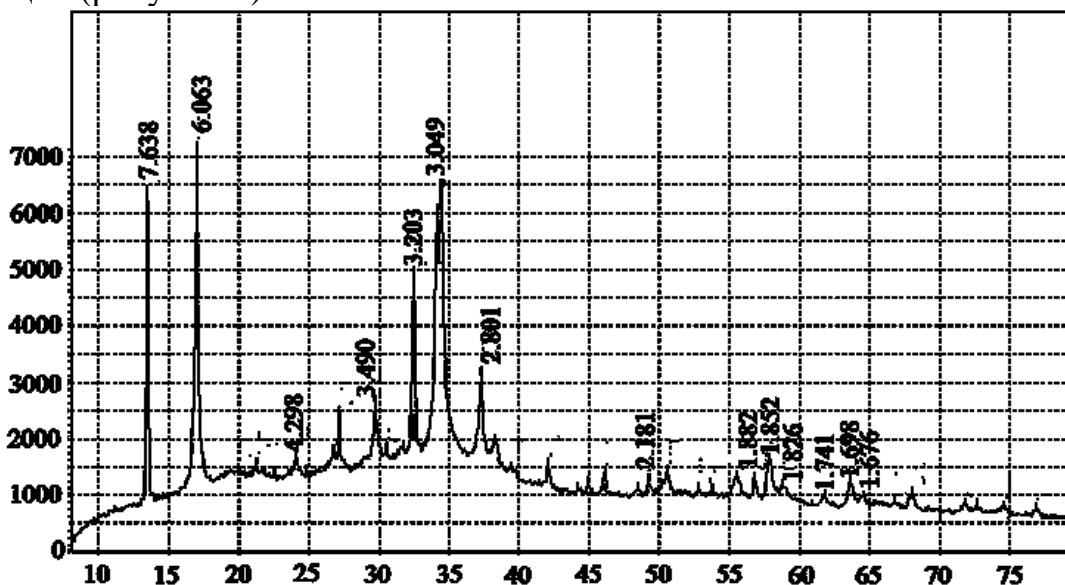


Рисунок 4 – Рентгенограмма добавки

Структура добавки представлена частицами пластинчатой и игловатой формы различного размера (рисунок 5).

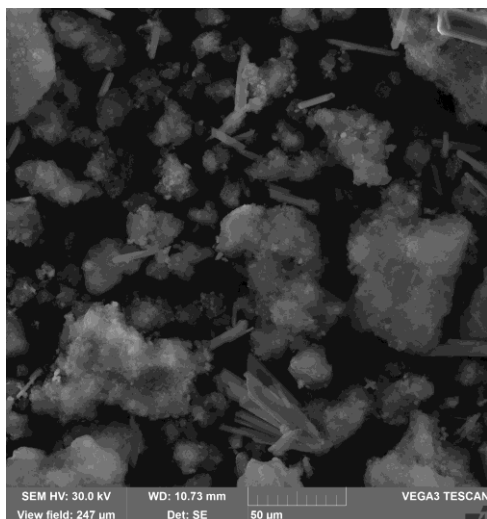


Рисунок 5 – Микроструктура добавки

Методом поглощения извести из известкового раствора выявлена высокая пуццоланическая активность добавки, составившая спустя 90 суток испытания 762,5 мг $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 1 г добавки.

Подобрана оптимальная концентрация добавки, составляющая 10 % от массы извести. Установлено, что введение в известковый состав добавки позволяет значительно повысить скорость роста пластической прочности. Спустя пять часов после затворения пластическая прочность состава с добавкой составила $\tau=30,7$ кПа, пластическая прочность

контрольного состава – $\tau=3,1$ кПа. Применение добавки также позволяет существенно увеличить прочность при сжатии и водостойкость известковых композитов. После 28 суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии композита на основе контрольного состава составила $R_{сж}=0,86$ МПа, коэффициент размягчения – $K_{разм}=0,35$, а прочность при сжатии композита на основе состава с добавкой – $R_{сж}=2,47$ МПа, коэффициент размягчения – $K_{разм}=0,77$. При этом выявлено, что в образцах, полученных с использованием добавки, снизилось содержание свободной извести по сравнению с контрольными образцами с 49,1 % до 28,6 %.

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. Поэтому предложено использовать размолотые отходы производства газобетона в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС. Определена оптимальная тонкость помола размолотого газобетона – $S_{уд}=635$ м²/кг и оптимальная дозировка – 20 % от массы извести. Установлено, что при добавлении размолотого газобетона в разрабатываемую ССС наблюдается увеличение прочности сцепления отделочного покрытия с газобетоном на 33,9 %.

Для улучшения реологических и технологических свойств отделочного состава при разработке рецептуры теплоизоляционной ССС в качестве пластифицирующей добавки применяли добавки Melflux 2651 F, С-3, Melment F 15, Sika-3180, Кратасол ПФМ. Выявлено, что добавка Melflux 2651 F показала наилучший пластифицирующий эффект. С целью повышения водостойкости покрытий на основе разрабатываемой ССС в ее рецептуру вводили белый цемент и гидрофобизирующую добавку – олеат натрия. Для улучшения когезионных и адгезионных свойств и увеличения прочности разрабатываемых покрытий в рецептуре теплоизоляционной

ССС использовали ретиспергируемые порошки Neolith 7200, VINNAPAS 5044 N, VINNAPAS 8031 H. Наибольшую прочность после 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях, составившую $R_{сж}=5,67$ МПа, показал композит с добавкой VINNAPAS 8031 H.

Для оценки эффективности использования в составе разрабатываемой ССС для отделки газобетона ЗМА сравнивали гидрофизические свойства покрытий, полученных с использованием других высокопористых наполнителей (таблица 2).

Таблица 2 – Гидрофизические свойства покрытий

Характеристика	Наполнитель			
	ПСМ	ЗМА	ВВП	ВПП
Коэффициент размягчения, $K_{разм}$	0,82	0,84	0,67	0,72
Коэффициент паропроницаемости, μ , мг/(м·ч·Па)	0,157	0,154	0,202	0,186
Коэффициент диффузии влаги, $D \cdot 10^{-9}$, м ² /с	4,19	3,43	7,67	5,88
Водопоглощение при капиллярном подсосе, $W_{кп}$, кг/(м ² ·ч ^{0,5})	0,449	0,376	0,912	0,764

Установлено, что покрытия, полученные с использованием микросфер, характеризуются большей водостойкостью, меньшими значениями коэффициента диффузии влаги и водопоглощения при капиллярном подсосе, меньшей паропроницаемостью по сравнению с композитами, полученными с использованием ВВП и ВПП. Это объясняется преобладанием в поровой структуре композитов с микросферами закрытой пористости.

Для оценки трещиностойкости покрытий, полученных с использованием различных наполнителей, определены усадочные деформации (рисунок 6), значения предельной растяжимости и когезионной прочности образцов покрытий (рисунок 7).

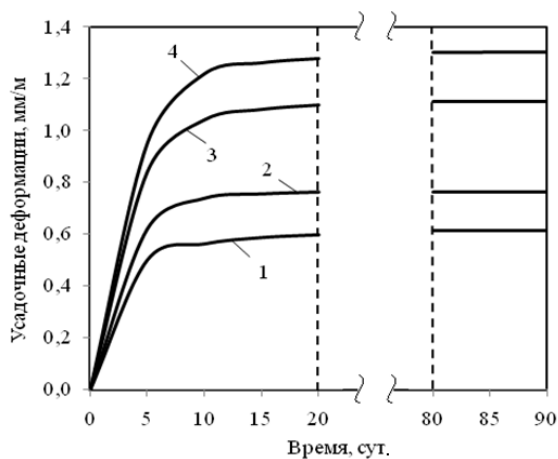


Рисунок 6 – Изменения усадочных деформаций покрытий, наполненных: 1 – ПСМ; 2 – ЗМА; 3 – ВПП; 4 – ВВП

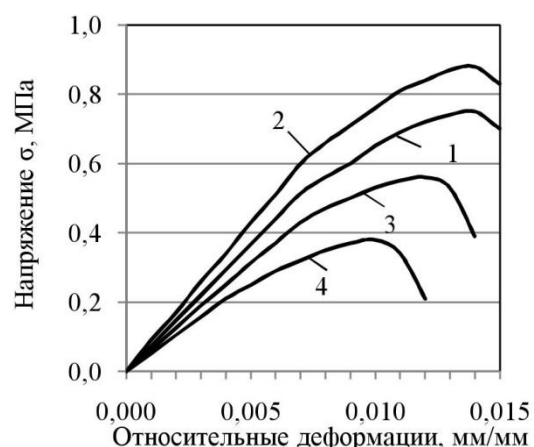


Рисунок 7 – Изменение относительных деформаций при растяжении образцов покрытий, наполненных: 1 – ПСМ; 2 – ЗМА; 3 – ВПП; 4 – ВВП

Выявлено, что при использовании в качестве наполнителя микросфер повышается трещиностойкость покрытий за счет снижения усадочных деформаций в процессе твердения, увеличения предельной растяжимости и когезионной прочности отделочных покрытий.

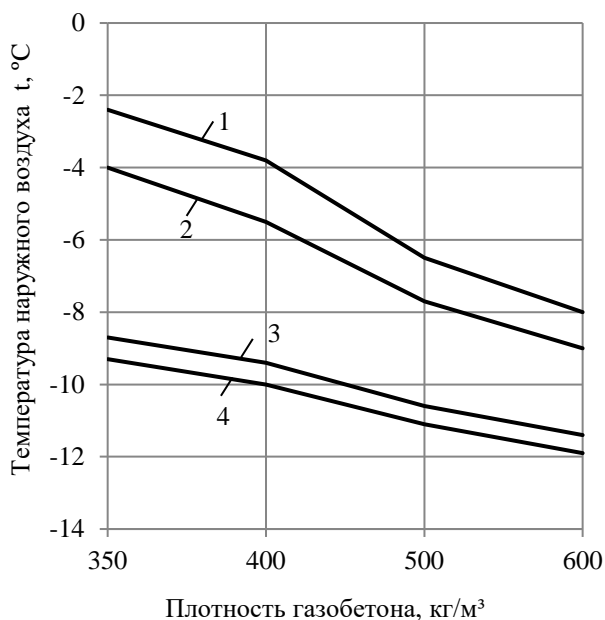


Рисунок 8 – Зависимость температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ от плотности газобетона: 1 – цементно-песчаная штукатурка, 2 – Кнауф GRUNBAND, 3 – ЗМА, 4 – ПСМ

Оценено влияние вида наружного отделочного покрытия на изменение влажностного режима газобетонной стены на примере г. Пенза. Для этого определяли $t_{н.к.}$ – температуру наружного воздуха, при понижении до которой в стене начинается конденсация влаги. Установлено, что благодаря использованию для отделки газобетонных блоков марок D300-D600 разработанных теплоизоляционных ССС, полученных с использованием в качестве наполнителя ЗМА и ПСМ, конденсация влаги начинается при существенно более низкой температуре наружного воздуха $t_{н.к.}$

Установлено, что марка по морозостойкости образцов отделочных покрытий на основе разработанной ССС составила F 35, марка по морозостойкости контактной зоны составила F_{кз} 35.

Разработаны технологические схемы производства и проведены технико-экономические расчеты показателей производства теплоизоляционных ССС для отделки газобетона, полученных с использованием в качестве наполнителей ЗМА и ПСМ. Установлено, что из-за высокой стоимости ПСМ себестоимость получаемого при их использовании покрытия в 3,32 раза выше себестоимости покрытия, получаемого с использованием ЗМА. Себестоимость 1 м² покрытия, полученного с использованием ПСМ, при толщине слоя 10 мм составляет 444,4 руб., полученного с использованием ЗМА – 154,5 руб. (по ценам 2018 года). Разработанная ССС, полученная с использованием в качестве наполнителя ЗМА, является экономически эффективной.

В таблице 3 приведены основные эксплуатационные и технологические свойства разработанной ССС для отделки газобетона, полученной с использованием в качестве наполнителя ЗМА, и покрытий на ее основе. В качестве прототипа 1 выбрана легкая цементная штукатурка для отделки газобетона «Кнауф GRUNBAND», производимая

компанией ООО «КНАУФ ГИПС», в качестве прототипа 2 – штукатурка «Известково-цементная» для отделки газобетона фирмы «Боларс».

Таблица 3 – Технологические и эксплуатационные свойства разработанной теплоизоляционной ССС для отделки газобетона и покрытий на ее основе

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

Анализ данных, приведенных в таблице 3, показал, что разработанный состав теплоизоляционной ССС для отделки газобетона и покрытия на его основе обладают рядом преимуществ по сравнению с аналогами: высокая паропроницаемость, низкая теплопроводность, высокая прочность сцепления с поверхностью газобетона, высокая водоудерживающая способность.

Разработан проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные известково-цементные сухие строительные смеси для отделки газобетона. Технические условия».

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, релаксифицируемый порошок VINNAPAS 8031 H, гидрофобизатор олеат натрия. Отделочное покрытие на основе разработанной ССС характеризуется следующими показателями: средняя плотность $\rho_{\text{ср}}=650 \text{ кг/м}^3$, коэффициент паропроницаемости $\mu=0,15 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,137 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ прочность при сжатии $R_{\text{сж}}=4,1 \text{ МПа}$, марка по морозостойкости F35.

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

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 полый 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 $762,5 \text{ мг/г}$. Установлены закономерности твердения известкового композита в присутствии добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, заключающиеся в том, что введение добавки ускоряет скорость набора пластической прочности известковой смеси, повышает прочность при сжатии известковых композитов в 2,87 раза, снижает содержание свободной извести в 1,72 раза. Подобрана оптимальная концентрация модифицирующей добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция, составляющая 10 % от массы извести.

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

7. Установлено, что покрытия на основе микросфер обладают повышенной трещиностойкостью по сравнению с покрытиями с применением ВВП и ВПП за счет снижения усадочных деформаций, повышения когезионной прочности и предельной растяжимости. Коэффициенты трещиностойкости $K_{\text{тр}}$ покрытий на основе микросфер составляют 26,1 и 20,9 (для ПСМ и ЗМА соответственно).

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

9. Обоснована целесообразность применения в составе разрабатываемой теплоизоляционной ССС молотых отходов производства газобетона. При добавлении размолотого до удельной поверхности $S_{\text{уд}}$ 635 м²/кг газобетона в разрабатываемую ССС с применением ЗМА наблюдается рост прочности сцепления отделочного покрытия с газобетоном $R_{\text{адг}}$ с 0,53 МПа до 0,71 МПа, с применением ПСМ с 0,49 МПа до 0,65 МПа.

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

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 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.

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных перечнем ВАК Минобрнауки России:

1. Логанина, В.И. Разработка добавки на основе смеси синтезированных гидросиликатов кальция и алюмосиликатов для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – №2. – С. 93-95. (ИФ РИНЦ – 0, 413. 0,38/0,09)

2. Логанина, В.И. Известковое композиционное вяжущее с применением добавки на основе алюмосиликатного наполнителя / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2015. – №6. – С. 70-73. (ИФ РИНЦ – 0,528. 0,50/0,17)

3. Жерновский, И.В. Структурообразование известковых композитов в присутствии гидросиликатов и алюмосиликатов кальция / И.В. Жерновский, В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №4 (25). – С. 42-47. (ИФ РИНЦ – 0,574. 0,75/0,19)

4. Логанина, В.И. Тонкодисперсный наполнитель на основе силикатов кальция для известковых смесей / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №5 (52). – С. 144-147. (ИФ РИНЦ – 0,299. 0,50/0,25)

5. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник МГСУ. – 2016. – №5. – С. 82-92. (ИФ РИНЦ – 0,584. 0,63/0,21)

6. Логанина, В.И. Известковый состав для отделки стен зданий из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – №2. – С. 33-37. (ИФ РИНЦ – 0,261. 0,56/0,19)

7. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые составы, наполненные стеклянными полыми микросферами / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 4 (688). – С. 47-52. (ИФ РИНЦ – 0,436. 0,75/0,37)

8. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые составы для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство – 2016. – № 2 (27). – С. 75-80. (ИФ РИНЦ – 0,574. 0,75/0,37)

9. Логанина, В.И. Эффективность применения теплоизоляционной штукатурки с применением микросфер для отделки газобетонной ограждающей конструкции / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 5 (689). – С. 55-62. (ИФ РИНЦ – 0,436. 0,81/0,40)

10. Логанина, В.И. Гидрофизические свойства покрытий для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство – 2016. – № 3 (28). – С. 33-37. (ИФ РИНЦ – 0,574. 0,75/0,38)

11. Логанина, В.И. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – №3. – С. 6-8. (ИФ РИНЦ – 0,528. 0,25/0,12)

12. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости покрытий на основе теплоизоляционного состава для отделки газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1 (30). – С. 30-35. (ИФ РИНЦ – 0,574. 0,63/0,21)

13. Логанина, В.И. Влияние вида наполнителя на механизм передачи тепла в теплоизоляционных штукатурках / В.И. Логанина, М.В. Арискин, М.В. Фролов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 5. – С. 6-10. (ИФ РИНЦ – 0,528. 0,44/0,15)

14. Логанина, В.И. Активность высокопористых наполнителей для теплоизоляционных сухих строительных смесей / В.И. Логанина, С.Н. Кислицина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 5 (701). – С. 43-48. (ИФ РИНЦ – 0,436. 0,69/0,23)

15. Логанина, В.И. Оценка экономической эффективности использования теплоизоляционных отделочных составов / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №3 (32). – С. 80-83. (ИФ РИНЦ – 0,574. 0,50/0,25)

16. Логанина, В.И. Исследование процесса теплопереноса в штукатурных покрытиях / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 1. – С. 19-24. (ИФ РИНЦ – 0,528. 0,56/0,19)

17. Кошев, А.Н. Закономерности теплопереноса 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 (36). – С. 136-140. (ИФ РИНЦ – 0,574. 0,63/0,16)

Публикации в рецензируемых научных изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систем цитирования Web of Science:

18. Loganina, V.I. Addition on the Basis of Mix of the Synthesized Hydrosilicates of Calcium and Aluminosilicates for Dry Building Mixtures / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, M.V. Frolov // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016. Procedia Engineering. – 2016. – № 150. – Pp. 1627 – 1630.

19. Loganina, V.I. Lime composition for the walls of buildings made of aerated concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov, Yu. P. Skachkov // International Symposium on Mechanical Engineering and Material Science. – 2016. – № 93. – Pp. 165–169.

Публикации в других изданиях:

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

21. Loganina, V.I. Rheological properties of lime compositions with admixture based on calcium silicates / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – № 18(2). – Pp. 77-81.

22. Loganina, V.I. Thermal Insulation Lime Compounds for Walls of Aerated Concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov, N.I. Makridin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Volume 11, № 18. – Pp. 9443-9445.

23. Логанина, В.И. Составы с применением известкового композиционного вяжущего для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Сухие строительные смеси. – 2016. – № 1. – С. 9-11.

24. Логанина, В.И. Свойства композиционного известкового вяжущего с применением силикатосодержащей добавки / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – № 1 (2). – С. 64-67.

25. Фролов М.В. Использование стеклянных полых микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки газобетона // Сборник научных трудов международной научной конференции: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства (Белгород, 15 – 16 марта 2016 года). Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. – С. 234-237.

Фролов Михаил Владимирович

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ СМЕСИ
ДЛЯ ОТДЕЛКИ СТЕН ЗДАНИЙ ИЗ ГАЗОБЕТОНА

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 25.11.2018. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать на ризографе.
Объем 1 п.л. Заказ №58. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии печатного дома «Инженер»
440000, г. Пенза, ул. Пушкина, дом 7