

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Юлия На правах рукописи

ПАНЧЕНКО ЮЛИЯ ФЕДОРОВНА

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ
ДЕКОРАТИВНОЙ ОТДЕЛКИ ПОМЕЩЕНИЙ**

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Зимакова Г.А.

Тюмень, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1 Разработка теоретических принципов получения композиционного теплоизоляционного материала для декоративной отделки помещений	12
1.1 Теоретические и практические предпосылки создания композиционного теплоизоляционного материала	12
1.2 Аналитический обзор современных тонкослойных теплоизоляционных материалов	21
1.3 Обоснование выбора связующего для композиционного теплоизоляционного материала	32
1.4 Особенности пигментов для композиционных теплоизоляционных материалов, обладающих декоративной выразительностью	35
1.5 Наполнители для композиционных теплоизоляционных материалов	39
1.6 Принципы разработки составов композиционных теплоизоляционных материалов, влияние вещественного состава на формирование свойств покрытий на их основе	47
Выводы по главе 1	54
Глава 2 Методы исследований и характеристика сырьевых материалов для получения композиционного теплоизоляционного материала	57
2.1 Методы исследования	57
2.2 Сырьевые материалы, применяемые в работе и их характеристика	71
Выводы по главе 2	77

Глава 3 Разработка состава и исследование свойств композиционного теплоизоляционного материала на основе водной дисперсии полимера	79
3.1 Исследование влияния степени наполнения композиционного теплоизоляционного материала пигментом и наполнителем на формирование структуры пленки	80
3.2 Определение оптимальной степени наполнения композиционного теплоизоляционного материала на основании метода критической объемной концентрации пигмента и наполнителя	88
3.3 Оптимизация состава композиционного теплоизоляционного материалов с позиции обеспечения наилучших теплоизоляционных и декоративных характеристик	93
3.4 Оптимальные составы и свойства композиционного теплоизоляционного материала	99
3.5 Технологическая схема производства композиционного теплоизоляционного материала	100
Выводы по главе 3	101
Глава 4. . Оценка теплотехнической и экономической эффективности композиционного теплоизоляционного материала	103
4.1 Расчет примерной стоимости композиционного теплоизоляционного материала	103
4.2 Оценка эффективности композиционного теплоизоляционного покрытия по сравнению с аналогами	104
4.3 Натурные испытания композиционных теплоизоляционных покрытий	105
4.4 Влияние композиционного теплоизоляционного покрытия на теплотехнические свойства ограждающих	110

конструкций с воздушной прослойкой

Выводы по главе 4	117
Заключение	119
Список используемой литературы	141
ПРИЛОЖЕНИЯ:	143
А. Патент на полезную модель	143
Б. Акт внедрения научно-технического мероприятия №1	147
В. Акт внедрения научно-технического мероприятия №2	148
Г. Оценка экономической эффективности предлагаемых решений	151
Д. Рекомендации по производству работ при нанесении композиционного теплоизоляционного материала	159
Е. Оценка гигиенической и пожарной безопасности композиционного теплоизоляционного материала	162

Введение

Актуальность темы исследования:

С введением в действие более жестких нормативов по термическому сопротивлению ограждающих конструкций [1-10], интерес к производству новых высокоэффективных теплоизоляционных материалов возрос. Кроме стеновых материалов с низкой теплопроводностью, таких, как пенно- и газобетоны, газосиликаты, керамзитобетон низкой плотности, полистиролбетон, пеностекло, пенокерамика, пено- и газокерамобетон, все большее применение в строительстве находят теплоизоляционные материалы в виде тонкослойных покрытий. Данные материалы представляют собой покрытия белого цвета, включающие связующее, полые микросферы различной природы (полимерные, стеклянные, силиконовые) и титановый пигмент. Они имеют матовую, пористую поверхность, что в совокупности с белым цветом приводит к их очень быстрому загрязнению и потере внешнего вида. До 90% объема в данных композициях занимают полимерные или стеклянные микросферы, которые вследствие применения дорогостоящего сырья и сложности технологии изготовления, имеют высокую стоимость.

Поэтому представляются актуальными исследования в области разработки композиционного теплоизоляционного материала с применением более дешевого микросферического наполнителя – полых алюмосиликатных микросфер, с одновременным решением вопросов по повышению его декоративной выразительности и стойкости к загрязнению за счет введения в состав алюминиевого пигмента. Частицы алюминиевого пигмента имеют чешуйчатую и пластинчатую форму, ориентируются параллельно поверхности композиционного материала, тем самым увеличивая путь агрессивных и загрязняющих веществ вглубь покрытия.

Исследования в данном направлении были начаты на кафедре «Строительные материалы» Тюменского государственного архитектурно-строительного университета по заказу «Союза строителей Тюменской

области». В рамках данной работы были проведены исследования по эффективности теплоизоляционных тонкослойных покрытий на строящемся объекте Административно-торговом комплексе по ул. Харьковская-Одесская, г. Тюмень. Исследования были продолжены в рамках научно-исследовательской работы по контракту АОМП-169/9 от 01.06.09 на тему «Разработка теплоотражающих покрытий для обеспечения ресурсосбережения при эксплуатации зданий» по заказу министерства образования РФ.

Степень разработанности темы исследования:

Вопросами разработки высокоэффективных теплоизоляционных материалов, путем создания пористых структур занимаются ученые Ю.М. Баженов, В.Т. Ерофеев, Е.В. Королев, Ю.В. Пухаренко, В.Н. Соков, С.В. Федосов. Теоретические основы формирования структур наполненных полимерных композиционных материалов рассмотрены в работах А.Н. Бобрышева, В.Т. Ерофеева, Ю.Г. Иващенко, В.Ф. Строганова, Б. Мюллера. Труды Д.В. Орешкина и Е.В. Королева по применению полых микросфер в высокопрочных легких бетонах, тампонажных и кладочных растворах подтверждают их эффективность в качестве легкого наполнителя. Большой интерес представляют исследования способов определения теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов и конструкций, рассмотренные в работах М.О. Баканова и В.Г. Котлова.

Вопросами разработки и исследования свойств тонкослойных композиционных теплоизоляционных покрытий занимаются В.П. Селяев и Т.А. Низина в Мордовском государственном университете им. Н.П. Огарева.

Однако на сегодняшний день вопросы применения полых алюмосиликатных микросфер в качестве наполнителя в композиционных теплоизоляционных материалах и их влияния на свойства тонкослойных покрытий изучены не достаточно. Нет данных о совместном применении в составе композиционных теплоизоляционных материалах полых

алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента для повышения декоративной привлекательности покрытий на их основе.

Цель исследования заключается в разработке и исследовании свойств композиционного теплоизоляционного материала для декоративной отделки наружных стен в помещениях жилых и общественных зданий.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. На основании анализа литературных данных обосновать целесообразность совместного применения в составе композиционного теплоизоляционного материала низко теплопроводного наполнителя – полых алюмосиликатных микросфер и декоративного компонента – алюминиевого пигмента.

2. Исследовать возможность получения композиционного теплоизоляционного материала на основе полых алюмосиликатных микросфер, алюминиевого пигмента и водной дисперсии полимера, обладающего комплексом необходимых технологических и эксплуатационных характеристик.

3. Установить количественные зависимости изменения свойств композиционного теплоизоляционного материала от состава. На основании полученных зависимостей, определить критическую объемную концентрацию пигментов и наполнителей (КОКП).

4. Оптимизировать состав композиционного теплоизоляционного материала с позиции получения наилучших теплоизоляционных и декоративных характеристик.

5. Провести оценку экономической и теплотехнической эффективности разработанного композиционного теплоизоляционного материала по сравнению с существующими аналогами.

Предмет исследования – влияние состава композиционного теплоизоляционного материала для внутренней отделки помещений на его технологические и эксплуатационные свойства.

Научная новизна исследования:

Основные результаты, полученные автором и составляющие новизну диссертации, заключаются в следующем:

- обоснована возможность получения композиционного материала обладающего как теплоизоляционными, так и декоративными свойствами, путем комплексного использования низко теплопроводного наполнителя – полых алюмосиликатных микросфер и декоративного компонента – алюминиевого пигмента;

- выявлены закономерности формирования структуры и свойств композиционного теплоизоляционного материала на основе полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента;

- установлены количественные зависимости изменения технологических и эксплуатационных свойств композиционного теплоизоляционного материала от состава; определена критическая объемная концентрация пигментов и наполнителей;

- разработаны многофакторные математические модели, позволяющие оптимизировать состав композиционного теплоизоляционного материала по коэффициенту теплопроводности и степени блеска покрытия на его основе;

- показано, что частицы алюминиевого пигмента в композиционном теплоизоляционном покрытии располагаются параллельно поверхности и, за счет пластинчатой формы и ровных краев, увеличивают стойкость покрытия к загрязнению.

Теоретическая и практическая значимость:

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей комплексного влияния компонентов композиционного теплоизоляционного материала на его теплоизоляционные характеристики и декоративные свойства. На основании метода критической объемной концентрации пигментов и наполнителей изучено влияние состава композиционного теплоизоляционного материала на его технологические и

эксплуатационные свойства. Проведен комплексный анализ особенностей структуры и свойств композиционного теплоизоляционного материала.

Практическая значимость заключается в:

- разработке эффективного состава композиционного теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,065-0,068$ Вт/м·К, адгезией к бетонной поверхности 0,88 МПа, коэффициентом паропроницаемости 0,012, мг/(м·ч·Па) и степенью блеска 37-38 единиц;

- использовании в качестве наполнителя полых алюмосиликатных микросфер, выделяемых из золошлаковых отходов от сжигания угля топливных электростанций, и имеющих стоимость в 8 – 10 раз ниже традиционно применяемых стеклянных или полимерных микросфер;

- применении в качестве декоративного компонента алюминиевого пигмента, за счет чего достигается не только высокий художественно-декоративный эффект, но и значительно увеличивается стойкость покрытия к загрязнению.

Методология и методы исследования:

Теоретические исследования основаны на анализе и систематизации научно-технической литературы. Экспериментальные исследования выполнены с применением методов математического планирования эксперимента и статистической оценки достоверности. Обработка результатов экспериментов осуществлялась с использованием систем автоматизированного проектирования Mathcad и Excel. Исследования физико-механических характеристик осуществлялись по действующим нормативным документам с использованием современного лабораторного оборудования. Для исследования процессов структурообразования применялся метод растровой электронной микроскопии.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности формирования структуры и свойств композиционного теплоизоляционного материала на основе полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента;

- математические модели, позволяющие прогнозировать теплотехнические и декоративные свойства композиционного теплоизоляционного материала на основе стирол-акриловой дисперсии, алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента;

- данные подтверждающие более высокую стойкость покрытия на основе композиционного теплоизоляционного материала к загрязнению, что обусловлено наличием в составе алюминиевого пигмента, имеющего частицы в форме пластинок.

Степень достоверности и апробация результатов исследований:

Достоверность результатов научных исследований и выводов подтверждена большим объемом экспериментальных данных, полученных в лабораторных и натуральных условиях, и обработанных с помощью методов статистической оценки.

Отдельные результаты диссертационной работы докладывались: на 63-й научно-технической конференции (НГАСУ, г. Новосибирск); на X Юбилейной международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России» (УГНТУ, г. Уфа); на Всероссийской научно-практической конференции «Строительное материаловедение сегодня: актуальные проблемы и перспективы развития» (ЮУрГУ, г. Челябинск); на научно-практических конференциях 2005–2011 г. (ТюмГАСУ, г. Тюмень); на Международной научной конференции «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы» (Томск, 2017).

Результаты исследований внедрены:

- при строительстве Административно-торгового комплекса по ул. Харьковская – Одесская, г. Тюмень;

- в Тюменском индустриальном университете (ТИУ) при выполнении лабораторных работ по курсам «Неразрушающие методы исследования строительных материалов» и «Технология звуко- и теплоизоляционных материалов»;

- при строительстве объекта «Совмещенная малоэтажная застройка п. Винзили Тюменского района, ул. 60 лет Октября».

Публикации. По материалам исследований опубликовано двенадцать работ, в том числе четыре в изданиях, входящих в перечень ВАК и один патент на полезную модель. Результаты работы представлены в отчете о научно-исследовательской работе по контракту АОМП-169/9 от 01.06.09 на тему «Разработка теплоотражающих покрытий для обеспечения ресурсосбережения при эксплуатации зданий» по заказу министерства образования РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы. Работа изложена на 142 страницах машинописного текста и включает 36 рисунков и 37 таблиц. Библиографический список включает 168 наименований.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.23.05 п. 2 «Создание новых строительных материалов, обеспечивающих строительство быстровозводимых, трансформируемых и долговечных зданий и сооружений», п. 7 «Разработка составов и принципов производства эффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов промышленности», п. 10 «Исследование совместной работы строительных материалов с разными свойствами в слоистых и сложных строительных конструкциях», п. 11 «Разработка материалов и технологий для реконструкции и санации зданий и сооружений».

Глава 1 Разработка теоретических принципов получения композиционного теплоизоляционного материала

1.1 Теоретические и практические предпосылки создания композиционного теплоизоляционного материала

Высокие требования к сопротивлению теплопередаче наружных стен привели к повышению активности в области разработки и улучшения свойств теплоизоляционно-конструкционных материалов [11], таких как ячеистый бетон, полистиролбетон [12-14], в некоторых случаях - керамзитобетон. Требованиям по тепловой защите удовлетворяют конструкции из полистиролбетона. При плотности 250-350 кг/м³, значения коэффициента теплопроводности полистиролбетона составляют 0,08- 0,1 Вт/м·К, однако при такой плотности стеновой материал имеет низкую прочность от 0,7 до 1,2 МПа [15-18] и недостаточную морозостойкость. Достаточно эффективно использовать в ограждающих конструкциях ячеистые бетоны [19, 20], неоспоримым преимуществом которых является их низкая теплопроводность. Однако, пенно- и газобетон имеет ряд недостатков, таких как значительные усадочные деформации при твердении, низкая трещиностойкость. Согласно работам профессора Пухаренко Ю.В. эти недостатки могут быть устранены путем дисперсного армирования [21-23]. Разновидностью ячеистых и поризованных бетонов являются бетоны на основе отходов стекла [24-26], которые при плотности 500 и 800 кг/м³ соответственно, имеют прочность до 2,5 МПа. Однако, использование ячеистобетонных изделий возможно лишь в малоэтажном строительстве или в домах каркасного типа.

Имеются разработки высокоэффективных стеновых материалов на основе пеностекла [27], пенокерамики [28], а также пено- или газокерамобетона [29, 30], с коэффициентом теплопроводности 0,1 Вт/м·К,

но область применения данных материалов также ограничена их прочностью. Кроме того, массовое производство данных материалов еще не освоено.

Не смотря на значительные достижения в области разработки и применения эффективных теплоизоляционных стеновых материалов, для многих регионах нашей страны однослойные стены из этих материалов не могут обеспечить достижение требуемого сопротивления теплопередаче. Поэтому в практику строительного производства были внедрены многослойные стеновые конструкции с эффективными теплоизоляционными материалами [31-37].

В качестве среднего слоя трехслойных конструкций могут быть использованы различные теплоизоляционные материалы. На отечественном рынке представлен широкий ассортимент теплоизоляционных материалов, отличающихся видом исходного сырья, структурой, формой, техническими и теплофизическими характеристиками [38]. Как и в предыдущие годы, преобладающими в структуре потребления на отечественном рынке являются волокнистые материалы, включающие теплоизоляционные изделия на основе стеклянного и базальтового волокна, минеральной и шлаковой ваты [39]. Более 20 % рынка приходится на теплоизоляционные пенопласты, преимущественно пенополистирол (беспрепессовый - ПСБ-С (EPS) - 17 % и экструзионный-ЭППС (XPS) - 4 %) и пенополиуретан (ППУ) - 1 %. На долю других теплоизоляционных материалов, включающих изделия из природного сырья, вспененного каучука, вспученного перлитового и вермикулитового песка, изделия из синтетических волокон (эковата и др.), приходится не более 5 % [40]. Перспективным вариантом трехслойных ограждающих конструкций являются стеновые панели с монолитно-формуемым слоем из бетона низкой теплопроводности, например, полистиролбетона [41] или керамзитобетона [42, 43], но они удовлетворяют требованиям по тепловой защите стен не для всех регионов России.

Не зависимо от вида применяемого теплоизоляционного материала, имеющийся опыт производства и применения трехслойных стен, выявил ряд

трудно устранимых недостатков, таких как: возможность конденсатообразования в сечении конструкции [44], приводящее к снижению теплотехнической эффективности утеплителя; ограниченная долговечность теплоизоляционных материалов [45-47]; теплотехническая неоднородность за счет наличие связей между слоями [48-51], повышенная воздухопроницаемость, снижающая фактические теплозащитные функции [52]; высокие температурные деформации в наружном облицовочном слое, приводящие к его разрушению [53]. Снижение теплоэнергетической эффективности зданий с трехслойными стеновыми конструкциями может достигать 50% уже через 8-10 лет [54]. Трехслойные конструкции, возводимые в условиях строительного объекта, могут иметь дефекты, связанные с качеством строительно-монтажных работ. Все это может привести к необходимости полного или частичного дополнительного утепления относительно новых зданий [55].

Утепление существующих зданий может быть выполнено как снаружи, так и изнутри помещения [56]. Утепление снаружи теплотехнически более правильно, но не всегда возможно и экономически оправдано. Например, технология наружного утепления «мокрый фасад», носит сезонный характер, требует тщательного выбора материалов, установку лесов или высококвалифицированных рабочих, имеющих допуск к выполнению работ на высоте. Утепление по технологии «навесной фасад с вентилируемым воздушным зазором» предполагает применение дорогостоящих облицовочных материалов, а также отличается более высокой стоимостью монтажа и текущего ремонта [57]. Утепление снаружи должно производиться по всему объему здания, так как это приводит к изменению его облика, а иногда требуется частичное утепление, например, в случае возникновения дефектов, связанных с нарушениями технологии строительных работ.

При утеплении внутри помещения с применением традиционных теплоизоляционных материалов, таких как пенополистирол или минеральная вата, возникает проблема уменьшения полезной площади помещений. А при

утеплении изнутри однослойных ограждающих конструкций, за утеплителем образуется зона конденсации влаги, что приводит к активному развитию грибка.

Поэтому, при разработке материалов для внутренней теплоизоляции зданий необходим совершенно новый подход. Безусловно важнейшим аспектом является условие соизмеримости затрат по материалоемкости квадратного метра жилья, его стоимости по сравнению с экономическим эффектом от внедрения теплозащитных материалов и систем. Одним из перспективных направлений по улучшению теплоизолирующих свойств ограждающих конструкций как вновь возводимых, так и существующих зданий является устройство на их внутренней поверхности экрана путем применения теплоотражающих материалов.

Тепловая обстановка в помещении определяется совместным действием ряда факторов: температуры, подвижности и влажности воздуха помещения, наличия струйных течений, распределением параметров воздуха в плане и по высоте помещения, а также радиационным излучением окружающих поверхностей, зависящим от их температуры, геометрии и радиационных свойств. Под действием конвективного и лучистого теплообмена и процессов массопереноса, температуры воздуха и поверхностей в помещении взаимосвязаны и оказывают воздействие друг на друга [58].

В том случае, если на ограждающей конструкции присутствует экран (рисунок 1.1) уменьшающий лучистый теплообмен (выполненные из материалов с большой отражательной способностью – полированные тонкие листы алюминия, меди, теплоотражающие лакокрасочные покрытия и др.), происходят процессы переизлучения энергии в направлении обратном направлению излучения.

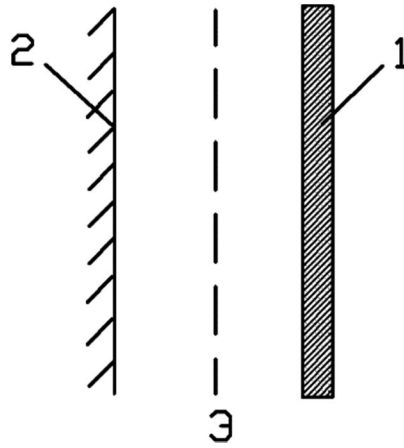


Рис. 1.1 Теплообмен при наличии экрана

1 – источник тепла; 2 – поверхность стены; Э – экран

Величина результирующего потока равна:

$$Q = \frac{1}{2} \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F \quad (1.1)$$

Уравнение (10) показывает, что при наличии одного экрана лучистый поток уменьшается в два раза. Таким образом, даже без расчетов становится очевидно, что при наличии экранной изоляции, лучистая составляющая теплового потока не поглощается конструктивом стены, а отражается внутрь здания. Если на пути лучистого потока будет n экранов с одинаковым коэффициентом излучения, например, один на стене, а второй на отдельном покрытии (гипсокартон), то лучистая составляющая уменьшится в $(n+1)$ раз [59].

Уравнение приводится к виду:

$$Q = \frac{1}{(n+1)} \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F \quad (1.2)$$

Из полученных расчетных зависимостей следует, что расстояние от нагретой поверхности до экранов на величину результирующего потока излучения влияния не оказывает [60]. Следовательно, принцип современной теплоизоляции должен включать элемент теплоотражения.

Теплообмен является сложным процессом и включает три способа переноса теплоты: теплопроводность, конвективный теплообмен, и теплообмен излучением [61-65]. Материалы, обладающие высокой способностью отражать тепловое излучение, оказывают влияние на все три составляющих процесса теплообмена.

Рассмотрим стационарный процесс теплопередачи через наружную ограждающую конструкцию. При этом теплота передается от теплого воздуха внутри помещения, с температурой $t_{в}$, холодному воздуху снаружи помещения $t_{н}$, с температурой, через плоскую стенку с теплопроводностью λ . Стенка имеет температуру поверхности внутри помещения $\tau_{в}$ и температуру поверхности снаружи помещения $\tau_{н}$. Толщина стенки δ значительно меньше площади ее поверхности (рисунок 1.2).

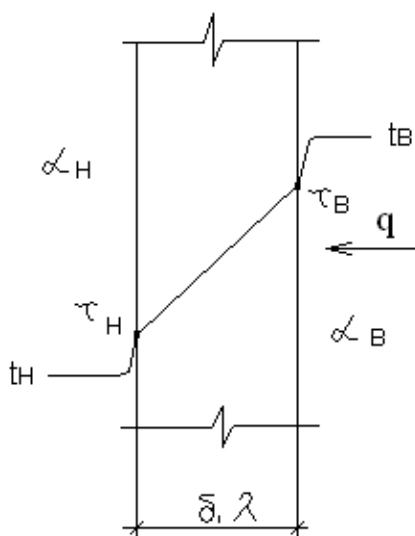


Рис. 1.2 Схема теплопередачи

В условиях стационарного режима вся теплота, передаваемая от внутреннего воздуха стенке, проходит через нее и поглощается наружным воздухом. При этом плотность теплового потока передаваемого из помещения в окружающую среду определяется [61]:

$$q_p = \alpha_{в}(t_{в} - \tau_{в}) = \lambda / \delta(\tau_{в} - \tau_{н}) = \alpha_{н}(\tau_{н} - t_{н}) \quad (1.3)$$

Где q_p – результирующая плотность теплового потока; $\alpha_в$ и $\alpha_н$ – коэффициенты теплоотдачи на внутренней и наружной стороне ограждающей конструкции соответственно.

Для многослойной стенки плотность теплового потока передаваемого из помещения в окружающую среду определяется:

$$q_p = \alpha_в(t_в - \tau_в) = \frac{\Delta t}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \alpha_н(t_н - \tau_н) \quad (1.4)$$

Значения коэффициентов теплоотдачи на внутренней стороне $\alpha_в$ и наружной стороне $\alpha_н$ зависят от физических свойств окружающей среды и от характера ее движения и определяются на основании экспериментальных данных.

Характер передачи теплоты конвекцией у внутренней и наружной поверхности ограждения различен. У внутренней поверхности ограждения – естественная конвекция, вызываемая разностью температур воздуха и поверхности стены; у наружной поверхности ограждения – вынужденная конвекция, вызываемая действием ветра.

Так как тонкослойные теплоизоляционные материалы наносятся на внутреннюю поверхность ограждающей конструкции, одной из задач является определение $\alpha_в$. Передача теплоты к поверхности ограждения или отдача ею осуществляется конвекцией и излучением. Следовательно, коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности можно выразить как сумму двух коэффициентов: коэффициента отдачи теплоты конвекцией $\alpha_к$ и коэффициента отдачи теплоты излучением $\alpha_л$, т.е. $\alpha_в = \alpha_к + \alpha_л$.

Величина конвективного коэффициента теплоотдачи $\alpha_к$ при естественной конвекции зависит от разности температур воздуха и поверхности стены Δt , линейного размера поверхности в направлении движения воздуха l , коэффициента теплопроводности воздуха у поверхности ограждения λ , коэффициента кинематической вязкости воздуха ν , коэффициента температуропроводности воздуха a . Величины λ , ν и a зависят

от средних температур воздуха и поверхности ограждения. Все перечисленные величины объединяются в критерии подобия [59, 64]:

$$\text{критерий Нуссельта: } Nu = \frac{\alpha_k l}{\lambda}; \quad (1.5)$$

$$\text{критерий Прандтля: } Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu c}{\lambda}; \quad (1.6)$$

$$\text{критерий Грасгофа: } Gr = \frac{\beta g l^3 \Delta t}{\nu^2} \quad (1.7)$$

В котором $\beta = \frac{1}{273}$ - коэффициент температурного расширения воздуха, g – ускорение свободного падения, м/с.

Эти критерии объединяются в критериальное уравнение, которое для вертикальных поверхностей при ламинарном режиме движения жидкости имеет вид:

$$Nu = 0,75(Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad (1.8)$$

Из выше сказанного следует, что коэффициент теплоотдачи конвекцией может быть определен по формуле:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (1.9)$$

Передача тепла излучением к внутренней поверхности ограждения происходит от поверхностей внутренних конструкций (перегородок, потолка, пола и пр.), имеющих температуру более высокую, чем температура внутренней поверхности ограждения. Коэффициент теплоотдачи излучением определяется обычно по формуле (1.10), полученной из формулы (1.11):

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F \quad (1.10)$$

$$\alpha_n = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0}} \cdot \frac{\left[\frac{t_1 + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{t_2 + 273}{100} \right]^4}{t_2 - t_1} \quad (1.11)$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты излучения поверхностей, Вт/м²·К; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/м²·К; t_1 и t_2 – температуры поверхностей, К.

Создание теплоотражающего экрана на ограждающей конструкции может быть реализовано путем применения теплоизоляционных композиционных материалов. Данные материалы представляют собой вязко-жидкие композиции, которые наносятся на теплоизолируемую поверхность, и отверждаясь, образуют покрытия, выполняющие как декоративную, так и теплоизоляционную функцию.

Эффективность существующих композиционных теплоизоляционных покрытий объясняется их низким коэффициентом теплопроводности и способностью отражать тепловое излучение. Низкая теплопроводность покрытия достигается за счет наличия в его составе полых микросфер различной природы: стеклянных, керамических, полимерных. Данные микросферы имеют высокую стоимость, что сказывается на стоимости композиционного материала. Отражательная способность определяется наличием в составе диоксида титана в качестве пигмента.

Применением в качестве микросферического наполнителя полых алюмосиликатных микросфер, выделяемых из золошлаковых отходов от сжигания угля топливных электростанций, можно значительно снизить стоимость композиционного теплоизоляционного покрытия, а более высокая теплоотражающая способность покрытия должна быть обеспечена путем наличия в составе металлического пигмента.

Это может быть реализовано путем создания композиции на основе водной дисперсии полимера, полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента.

Кроме того, в научно-технической литературе нет данных по принципам проектирования и технологиям производства композиционных теплоизоляционных покрытий. Вопросы взаимосвязи структуры и свойств таких материалов, а также механизмы, обуславливающие

теплоизоляционные свойства не достаточно изучены. В этой связи, исследования, проведенные в диссертационной работе, имеют теоретическую и практическую ценность.

1.2 Аналитический обзор современных тонкослойных теплоизоляционных материалов

Современные тонкослойные теплоизоляционные материалы, включающие показатель теплового отражения можно разделить на: рулонные и окрасочные материалы.

На российском рынке появился ряд материалов именуемых: пенотерм, изуран, термофол, фомисол, изобабл [40]. В качестве отражающего элемента – теплового зеркала – в данных материалах используется полированная алюминиевая фольга или металлизированная лавсановая пленка. Основой отражающей теплоизоляции является вспененный полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, пенополиуретан. В отличие от пенополиэтилена, пенополипропилен значительно лучше противодействует сжимающим и растягивающим усилиям, меньше подвержен водопоглощению и имеет более низкий коэффициент теплопроводности – $0,0344 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$, при коэффициенте отражения 97 %. Полиуретановую теплоотражающую изоляцию получают при взаимодействии гидроксилсодержащих полиэфиров с изоцианатами в присутствии катализаторов, стабилизаторов пены и вспенивающих агентов. В качестве последних, применяют легко кипящие жидкости, например, фреоны, которые в процессе реакции вскипают и вспенивают полимерную массу. Так как материалы на полимерной основе являются горючими, то в состав композиций обязательно вводят огнезащитные добавки. Собственное производство полимерных материалов связано с использованием горючих и токсичных веществ, а при эксплуатации возникает определенная

токсикологическая опасность, поэтому применение этих материалов имеет некоторые ограничения.

Одной из серьезнейших проблем применения теплоотражающих вспененных рулонных материалов является необходимость применения клеевых композиций. При выборе клеевой композиции вновь возникают вопросы о сочетании полимерной основы и клея. Как правило, рекомендуется, в зависимости от условий эксплуатации, подбирать специальные клеевые составы. Долговечность теплоизоляции будет определяться, в том числе, и долговечностью клея. Ряд вопросов по выполнению строительных работ решен фирмой НПП «Технология эластомерных композитов». А именно, разработан материал на самоклеящейся основе. Данной фирмой на базе европейского оборудования освоено производство самоклеящихся материалов, стеклотканей и кремнеземистой ткани с покрытием из алюминиевой фольги. Осваивается производство новых перспективных трансфертных самоклеющихся материалов, состоящих из наплавляемых пленок и защищенного клеевого покрытия на основе синтетического каучука. С экономической точки зрения самоклеющаяся изоляция наиболее совершенный вид, так как на порядок сокращается время монтажа, расширен температурный диапазон, нет необходимости в проветривании помещений и обеспечении мер усиленной противопожарной защиты, как это происходит при использовании монтажного клея с растворителем.

На сегодняшний день на Российском рынке предлагается огромное количество композиционных материалов позиционируемых как теплоизоляционные покрытия под марками «Изолат», «Корунд» [66], «Теплос-Топ» [67], «Актерм», «Теплометт», «Теплокрас», «Магнитерм», «Раум Профи», «Альтермо», «Теплокор», «Тезолат», «Керамоизол». Данные покрытия называют: «Жидкое керамическое покрытие», «Теплоотражающая краска», «Жидкая теплоизоляция», «Краска теплоизоляционная», но все они представляют собой композиции, включающие связующее и полые

микросферы различной природы [68, 69].

Например, теплоотражающая краска «ВД-АК-518», производимая предприятием в Московской области ООО «Атлас Регион», содержит полистирольные микросферы. Теплоизоляционное покрытие «Изолат», выпускаемое Екатеринбургской фирмой ООО «Специальные технологии» содержит в составе силикатные микросферы, при этом производителем заявлено, что микросферы заполнены разряженным воздухом. Жидкая теплоизоляция «Актерм» содержит в составе «вакуумированные» микросферы нескольких разновидностей: стеклянные или керамические. В состав теплоизоляционных покрытий «Альтермо» и «Магнитерм» входят «вакуумированные» керамические и силиконовые микросферы, а покрытие Раум Профи содержит смесь керамических и стеклянных микросфер, также заполненных разряженным воздухом. При этом, ни какой информации по тому, какой именно вид микросфер имеет вакуумированную внутреннюю полость, и каким образом обеспечивается сохранение разряжения во времени, не предоставляется. Способность данных покрытий отражать тепловое излучение также объясняется наличием в составе полых микросфер, однако природа теплоотражающей способности данных микросфер не только не понятна, но и вызывает сомнение [70]. Технические характеристики подобных материалов, заявляемые производителями, не подтверждены ни какими протоколами испытаний независимых лабораторий, либо не приводятся вообще. Также нет информации, согласно каким нормативным документам и по каким методикам, эти характеристики определялись.

В таблицах 1.1-1.6 приведены характеристики некоторых теплоизоляционных покрытий по данным производителей.

Характеристики теплоотражающего покрытия марки «Изолат»

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	Нормативный документ
1	Плотность в жидком состоянии	кг/дм ³	0,60	ГОСТ 28513-9
2	Плотность готового покрытия	кг/дм ³	0,40	ГОСТ 17177-94
3	Коэффициент паропроницаемости	мг/м ч Па	0,012	ГОСТ РЕН 12086-2008
4	Водопоглощение	грамм/м ² /24 часа	менее 30	-
5	Кажущаяся вязкость по Брукфильду (Ротор R4, 10 об/мин)	сП	12000-16000	ГОСТ 25271-93
6	Прочность при разрыве,	кгс/см ²	80	ГОСТ 21751-76
7	Относительное удлинение на разрыв	%	5	-
8	Светорассеяние (видимого и инфракрасного излучения)	%	85	-
9	Адгезия: к металлу к бетону	балл кгс/см ²	1 25	ГОСТ 15140-78 ГОСТ 28574-90
10	Морозостойкость, замораживание при температуре -50°С, оттаивание при +20°С	циклов	10	ГОСТ 27037-86

Таблица 1.2

Характеристики теплоотражающего покрытия марки «Керамоизол»

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	Плотность, жидкой/твердой	кг/м ³	800/500
2	Прочность при разрыве	кг/см ²	8,7
3	Относительное удлинение при разрыве	кг/см ²	до 2%
4	Адгезия к стали, не менее	МПа	0,6
5	Адгезия к бетону, не менее	МПа	1,0
6	Коэффициент теплопроводности	Вт/м К	0,0025
7	Коэффициент теплопередачи от внешней поверхности изоляции	Вт/м ² К	1,5
8	Коэффициент паропроницаемости, не более	мг/м.час. Па	0,02
9	Водопоглощение за 24 часа, поверхностное	г/см ²	0,08

Таблица 1.3

Характеристики теплоотражающего покрытия марки «Корунд»

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	Эластичность пленки при изгибе	мм	1
2	Адгезия покрытия	балл	1
3	Адгезия по силе отрыва, к поверхности: - бетонной - кирпичной - стали	МПа	1,28 2,00 1,20
4	Коэффициент теплопроводности	Вт/м К	0,0012
5	Тепловосприятие	Вт/м К	2,2
6	Теплоотдача	Вт/м К	4,0
7	Коэффициент паропроницаемости	мг/м ч Па	0,03
8	Водопоглощение за 24 часа	% по объему	2

Таблица 1.4

Характеристики теплоотражающего покрытия марки «Теплокрас»

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	Нормативный документ
1	Плотность в жидком состоянии	кг/м ³	590	ГОСТ 17177-94
2	Плотность готового покрытия	кг/м ³	410	ГОСТ 17177-94
3	Коэффициент паропроницаемости	мг/м ч Па	0,0014	
4	Теплоотдача	Вт/м К	1,29	
5	Прочность при растяжении	МПа	2,0	ГОСТ 11262-80
6	Относительное удлинение при разрыве	%	8	
7	Адгезия к металлу к бетону	МПа	1,5 1,84	ГОСТ 15140-78
8	Время высыхания до степени 3 при 20°C	час	2	ГОСТ 19007-73*
9	Укрывистость высушенной плёнки	г/см ²	120	ГОСТ 8784-75*

Таблица 1.5

Характеристики теплоотражающего покрытия марки «ВД-АК-518»

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	Адгезия	баллы	1
2	Коэффициент теплопроводности	Вт/м·К	0,06
3	Тепловое сопротивление* (плотность теплового потока $q = 254$ Вт/м ² при разности температур 100 °С)	м ² ·К/Вт	0,039
4	Паропроницаемость	м ² чПА/мг	0,17
5	Время высыхания до степени 3 при +20 °С, не более	мин	60
6	Условная вязкость по Брукфелдью, об/мин	сП	8000-10000
7	Морозостойкость, не менее	циклов	5

Характеристики теплоотражающего покрытия марки «Теплометт»

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	Плотность в жидком состоянии	г/см ³	0,5 - 0,75
2	Плотность готового покрытия	г/см ³	0,3 – 0,45
3	Коэффициент паропроницаемости	мг/м ч Па	от 0,001 до 0,6
4	Водопоглощение, за 24 часа	%	0,4
5	Прочность при растяжении,	кгс/см ²	4,84
6	Коэффициент отражения лучистой энергии	%	90-95
7	Адгезия Люка	%	100

Анализируя заявляемые производителями характеристики теплоизоляционных композиционных покрытий и методы их определения можно сделать вывод, что нет единого мнения, каким нормативным документам должны соответствовать данные материалы и по каким методикам осуществлять их испытания. А большинством производителей вообще не предоставляется информация о методах испытаний подобных материалов.

Например, производители теплоизоляционного покрытия Изолат определяют плотность жидкой композиции по нормативному документу на лакокрасочные материалы [71], а плотность готового покрытия по ГОСТ на теплоизоляционные материалы [72]. Вязкость композиции приводится по методу определения «кажущейся вязкости по Брукфильду» по ГОСТу распространяющемуся на пластмассы и жидкие смолы, тогда как, для лакокрасочных материалов есть свой нормативный документ для определения условной вязкости [73].

Прочность при разрыве одними производителями определяется по нормативному документу на герметики (для покрытия Изолат) [74], другими – на пластмассы (для покрытия Теплокрас) [75], хотя для лакокрасочных водно-дисперсионных материалов принято определять только эластичности пленки при изгибе [76]. Паропроницаемость покрытия Изолат

производителями определялась по ГОСТ на теплоизоляционные материалы [77], хотя для тонкопленочных материалов более подходит ГОСТ 25898-2012 «Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию» [78], а в 2016 г. вступил в силу новый ГОСТ 33355-2015 «Материалы лакокрасочные. Определение характеристик паропроницаемости. Метод чашки» [79].

Производители лакокрасочного материала марки «Теплокрас» приводят данные по адгезионной прочности покрытия к бетону и металлу, выраженное в МПа, ссылаясь на метод его определения по ГОСТ 15140-78, хотя данный ГОСТ устанавливает методы определения адгезии лакокрасочных покрытий только к металлическим поверхностям, и включает методы (метод отслаивания; метод решетчатых надрезов; метод решетчатых надрезов с обратным ударом; метод параллельных надрезов), не позволяющие получить значения, выраженные в МПа.

Кроме того, производители приводят такие показатели как: коэффициент отражения лучистой энергии и коэффициент теплоотдачи, не предоставляя информации, по каким методикам данные показатели определялись. А такие важные, и регламентируемые нормативными документами для лакокрасочных покрытий, характеристики как: укрывистость, время высыхания и т.д. вообще не приводятся.

Нет и единого мнения о методиках испытания, а, следовательно, и о свойствах теплозащитных покрытий и в литературных данных [80]. Например, в некоторых источниках коэффициент теплопроводности покрытий определяется методом стационарного теплового потока контактным способом [81-83], тогда коэффициент теплопроводности таких материалов находится в диапазоне 0,016 – 1,109 Вт/м·°С. Данный метод не учитывает теплоотражающую способность покрытия, так как источник тепла плотно прилегает к поверхности покрытия, и тепло от источника покрытию передается только посредством теплопроводности. Методики, учитывающие теплоотражающую способность тонкослойных теплоизоляционных

покрытий, путем создания воздушной прослойки между источником тепла и теплоизоляционным покрытием, позволяют получить значения коэффициента теплопроводности в диапазоне 0,0026-0,0056 Вт/м·К [84].

Несколько отличное от описанных выше материалов теплоизоляционное тонкослойное покрытие предлагает фирма «ТИКО». Этот материал называется «Жидкая фольга» и вся предоставляемая производителем информация по данному покрытию сводится к следующему его описанию:

Это композиционный материал, который после нанесения на любую поверхность образует пленочное покрытие с такими же теплоотражающими свойствами, как у медной и алюминиевой фольги. Так, полированная алюминиевая фольга способна отражать до 97 % теплового излучения. Различные рецептуры жидкой фольги позволяют обеспечить высокую эластичность пленочного покрытия и имеют хорошую адгезию к большинству строительных материалов. Жидкая фольга обладает следующими эксплуатационными свойствами: имеет теплоотражающие свойства, близкие к свойствам фольги (отражает до 86 % видимого спектра, 94% инфракрасного теплового излучения); температуростойка (не меняет свои свойства в интервале температур от -60 до $+150$ °С); долговечна; представляет собой экологически чистый материал (может контактировать с пищевыми продуктами); не электропроводна.

В Российских патентах применение полых микросфер в составе теплоизоляционных материалов упоминается еще с 1993 [84]. Сущность изобретения заключается в том, что полые зольные алюмосиликатные микросферы используются в качестве наполнителя в пенопласты на терморезистивных полимерных связующих с целью повышения их прочности и снижения себестоимости.

Тонкослойные теплоизоляционные покрытия, содержащие в своем составе полые микросферы, впервые упоминаются в патентах 1995 г [85, 86]. Однако, в первом случае в качестве связующего используется эпоксидная

смола, а во втором – силиконовый каучук. Композиция на основе эпоксидной смолы требует приготовления непосредственно перед нанесением, так как предполагает использование отвердителя для инициирования процесса полимеризации полимерного связующего. Состав на основе силиконового каучука предопределяет необходимость термообработки покрытия после нанесения при температуре до 150 °С. Известна пастообразная теплоизоляционная композиция на основе жесткого полимера – карбамидоформальдегидной смолы КФЖ(М), которая также требует применения кислотного отвердителя [87].

Начиная с 2003 г, появляются патенты, в которых в качестве связующего для тонкослойных теплоизоляционных покрытий предлагается использовать водные дисперсии полимеров [88]. Суть изобретения, в качестве прототипа которого использовано жидкое теплоизоляционное покрытие «Thermal-Coat™», заключается в том, что кроме полимерного связующего и керамических и кремниевых полых микробусин, жидкий теплоизоляционный материал содержит углеродистые микроволокна с фибрилами, для повышения прочности покрытия. В 2008 г был опубликован патент на изобретение «Покрытие жидкокерамическое изоляционное» [89] на основе полых керамических и кремниевых микросфер и акрилового латекса, которое в качестве фрактальных агрегатов содержит вспученный перлит и вермикулит.

Дальнейшие исследования в области разработки подобных теплоизоляционных композиций были направлены на расширения ассортимента применяемых микросферических наполнителей, таких как стеклянные, полимерные, зольные [90]. В дальнейшем, данные изобретения были адаптированы для теплоизоляции трубопроводов, что выразилось в патенте [91].

Другое направление разработки тонкослойных теплоизоляционных покрытий, основываясь на ограниченном сроке хранения и удорожании стоимости транспортировки готовых к применению жидких

теплоизоляционных композиций, предполагает применение сухих смесей, которые непосредственно перед применением затворяются водой до рабочей консистенции. Например, сухая смесь, содержащая в качестве связующего смесь сухого ретиспергируемого полимерного порошка и жидкого стекла и/или цемента [92] или композиционное связующее, содержащее органический компонент – водную дисперсию полимера и неорганический – алюмокремнезоль [93].

Все более растущий интерес к водным лакокрасочным материалам, в связи с их экологичностью, направил дальнейшие исследования в области разработки теплоизоляционных покрытий в русло совершенствования теплозащитных свойств материалов на основе водных дисперсий полимеров. Улучшение теплозащитных свойств тонкослойных покрытий предлагается за счет повышения их теплоотражающей способности. В качестве теплоотражающего компонента предполагается использование различных металлов. Например, известно теплоизоляционное покрытие [94] содержащее в своем составе полые микросферы покрытые слоем металла: серебра, меди или никеля. Трудность реализации данного решения заключается в сложности технологии напыления металлического покрытия на микросферы и в их высокой стоимости. Другим вариантом создания металлизированного экранирующего слоя, способного отражать тепловое излучение на теплоизолируемой поверхности, является покрытие, состоящее из 2-х слоев: первый – покрытие состоящее из связующего и микросфер, второй – тонкий слой металла с коэффициентом отражения более 0,6. Экранирующий слой создается из частиц металла, нагретых до температуры плавления, и распыленных газом, на поверхности теплоизоляционного слоя [95]. Недостаток данного решения также заключается в сложности его реализации. Более простой способ создания экранирующего слоя предлагается путем нанесения на теплоизоляционный слой из микросфер и связующего, слоя состоящего из связующего и алюминиевой пудры [96]. Однако, данное решение требует применение двух различных по составу композиций, их

послойное нанесение, а алюминиевая пудра обладает невысокой отражательной способностью.

Все это позволяет сделать вывод, что актуальной задачей является не только разработка высокоэффективного теплоизоляционного композиционного покрытия, но и полное исследование свойств с обоснованием его эффективности.

1.3 Обоснование выбора связующего для композиционного теплоизоляционного материала

В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам экологической и токсической безопасности изготавливаемых и применяемых лакокрасочных материалов (ЛКМ). В отличие от органоразбавляемых, водные ЛКМ не выделяют вредные вещества ни в процессе производства, ни при нанесении и эксплуатации. Применение таких материалов позволяет исключить использование токсичных и пожароопасных растворителей, которые при отверждении ЛКМ безвозвратно испаряются в атмосферу [97-99]. Лакокрасочные материалы на водной основе позволяют производить окрашивание влажных поверхностей или производить работы при повышенной влажности воздуха, а также снижают трудоемкость процесса очистки технологического оборудования [100].

В качестве связующего вещества для водных лакокрасочных материалов применяются полимеры, которые могут существовать в виде раствора или дисперсии. Растворы могут образовывать полимеры, если они содержат ионные группы или значительное количество не ионных гидрофильных групп. Лакокрасочные материалы на основе водорастворимых пленкообразователей, как правило, используются для окрашивания изделий машиностроения методом анодного или катодного электроосаждения [101].

Если молекулы полимера не достаточно гидрофильны, они в воде не растворяются, а образуют дисперсии, в которых в качестве дисперсной среды выступает вода, а дисперсной фазы – скопления макромолекул полимера.

Дисперсии полимеров, полученные путем полимеризации мономера в жидкой фазе (воде) называют первичными, полученные путем эмульгирования исходного полимера в воде в присутствии эмульгатора, называют вторичными. Наибольший интерес для лакокрасочной промышленности представляют первичные полимеры, так как они коалесцируют при более низкой температуре и термопластичны [102].

Ассортимент водно-дисперсионных красок в настоящее время очень велик. Однако следует отметить, что большая часть выпускаемых во всем мире водно-дисперсионных красок приходится на три основных вида: стирол-бутадиеновые, поливинилацетатные и акрилатные краски.

В последние годы доля поливинилацетатных красок находится примерно на одном уровне, стирол-бутадиеновых красок неизменно понижается, а акрилатных красок резко возрастает. Причиной этого являются низкая атмосферостойкость и сильное пожелтение покрытий на основе стирол-бутадиеновых сополимеров. При сравнении свойств полиакрилатов с поливиниловыми эфирами следует отметить, что первые образуют более гидрофобные, устойчивые к действию воды и омылению покрытия с более высокой атмосферостойкостью. Благодаря более высокому коэффициенту преломления и однородности акриловых дисперсий блеск покрытий на их основе выше, чем при использовании поливинилацетата. [101]

Полимерные акриловые дисперсии делятся на акриловые и стирол-акриловые. Акриловые дисперсии полимеров получают из акриловых или метакриловых мономеров, стирол-акриловые – при сополимеризации производных акриловой (метакриловой) кислоты со стиролом. Так как акриловую кислоту и ее производные получают из пропана, метакриловую и ее эфиры – из 2-гидрокси-2-метилпропионитрила, изобутана или изобутиральдегида в результате многостадийных процессов, эти мономеры

более дороги, чем стирол. Поэтому акриловые сополимеры дороже стирол-акриловых.

В то же время поли(мет)акрилаты обладают высокой атмосферостойкостью, стойкостью к действию УФ-излучения, хорошей водостойкостью и устойчивостью к пожелтению покрытий на их основе, возможностью легко получать сополимеры с заданной жесткостью, гибкостью и твердостью [103]. Высокий блеск покрытий и его сохранение при длительном атмосферном воздействии в сочетании со стойкостью покрытий к действию щелочей, кислот и воды делает этот класс сополимеров незаменимым в рецептурах ЛКМ для наружного применения [104].

Стоимость пленкообразователей, а в конечном итоге ЛКМ может быть снижена, а их свойства оптимизированы при частичной или полной замене метилметакрилата, который обычно используют для достижения необходимой твердости, на стирол. Получение сополимеров акрилатов со стиролом возможно благодаря способности этих мономеров легко сополимеризоваться с акрилатами и почти одинаковой температуре стеклования гомополимеров. Использование неполярного мономера стирола взамен метилметакрилата приводит к увеличению сродства к пигменту и повышению блеска покрытий. Стирол-акриловые сополимеры более устойчивы к омылению, чем чисто акриловые, так как стирол очень гидролитически устойчивая структура. Следует отметить, что чувствительность дисперсий к омылению повышается при уменьшении размеров их частиц вследствие увеличения площади поверхности.

Стирол-акриловые дисперсии вследствие благоприятного соотношения цена/качество практически универсальны. Их использование следует ограничивать в рецептурах лаков, пропиточных составов и ЛКМ с небольшим содержанием пигментов. Так как, теплоизоляционные покрытия это высоконаполненные композиции, стирол-акриловые дисперсии наиболее предпочтительны в качестве связующего.

1.4 Особенности пигментов для композиционных теплоизоляционных материалов, обладающих декоративной выразительностью

Существующие аналоги композиционных теплоизоляционных материалов имеют белый цвет и матовую, пористую поверхность, что приводит к очень быстрому загрязнению и потере внешнего вида. Чешуйчатые и пластинчатые пигменты повышают стойкость покрытий к загрязнению, так как увеличивают путь агрессивных и загрязняющих веществ вглубь покрытия. Поэтому в качестве декоративного компонента для композиционного теплоизоляционного материала целесообразно использовать алюминиевый пигмент.

Если оптические свойства материалов, входящих в состав композиционных покрытий изучены хорошо, то в ИК-области спектра такой информации не достаточно.

Оптическими величинами, характеризующими излучательные свойства материалов, являются α – коэффициент поглощения и ϵ – коэффициент излучения или степень черноты. Наиболее сложной задачей является получение покрытий с низким значением ϵ [104].

Поэтому, для придания композиционному материалу способности отражать тепловое излучение, необходимо ввести в его состав пигменты, обладающие большой отражательной способностью в ИК области излучения, т.е. имеющие низкие значения ϵ . В таблице 8 представлены значения степени черноты некоторых материалов, откуда видно, что даже шероховатый алюминий имеет коэффициент излучения значительно ниже других материалов [105].

Традиционными алюминиевыми пигментами являются пудры ПАП-1 и ПАП-2. Однако, данные пигменты имеют ряд недостатков: во первых – при помеле алюминиевого порошка в него вводят жир или стераин, для предотвращения слипания частичек между собой, поэтому получаемая

алюминиевая пудра обладает плохой смачиваемостью, что затрудняет равномерное распределение частиц пигмента в покрытии; во вторых – соприкасаясь с воздухом частички алюминия быстро окисляются, что при создании антикоррозионных композиций не играет значительной роли в качестве лакокрасочного покрытия, а в теплоотражающих покрытиях приводит к увеличению степени черноты практически в 3 раза, а значит к снижению теплоотражающей способности; в третьих – порошкообразный алюминий пожаро- и взрывоопасен, а также токсичен при вдыхании [106]. Кроме того, пигменты ПАП-1 и ПАП-2 могут содержать некоторое количество активного алюминия, который при взаимодействии с водой будет образовывать водород.

Таблица 1.8

Степень черноты некоторых материалов

Наименование материала и характер поверхности	Степень черноты
Алюминий окисленный	0,11-0,19
Алюминий полированный	0,039-0,067
Алюминий шероховатый	0,055
Бумага	0,8-0,9
Дюралюминий окисленный	0,36-0,37
Дюралюминий полированный	0,061-0,062
Железо окисленное гладкое	0,78-0,82
Масляные краски	0,92-0,96
Медь окисленная	0,2-0,4
Медь полированная	0,023
Сажа	0,95
Серебро полированное	0,02-0,603
Штукатурка известковая	0,91

Проблемы пожаро- и взрывоопасности, а также гидрофобности решаются производителями алюминиевых пудр, например, Шелеховским Алюминиевым заводом, Краснотуринским (Богословским) Алюминиевым завод, путем производства гидрофильных алюминиевых паст. Это суспензии алюминиевого пигмента в воде. Данные пигментные пасты нацелены на применение их в качестве газообразователя при производстве газобетонов, и

не являются готовыми пигментными пастами для водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.

При производстве алюминиевой пудры ПАП-1 и ПАП-2 Предварительно расплавленный алюминий распыляется в воду, где застывает в виде гранул и эллипсов. Затем при помоле в шаровой мельнице эти частички одновременно измельчаются и раздавливаются. В результате образуются плоские частички алюминия неравномерные по толщине, с неровными краями. Такую форму частиц принято называть «хлопья».

Немецкой фирмой Schlenk и американской фирмой Ecart разработана технология получения алюминиевого пигмента с частичками в форме «серебряный доллар» [107]. Частички имеют округлую форму с ровными краями, которые получают не путем измельчения в шаровых мельницах, а путем раздавливания в фильтр-прессе частичек определенного размера, прошедших через сито.

В зависимости от наличия в пигменте добавки – смачивателя, они могут быть всплывающие и не всплывающие. Всплывающие пигменты в лакокрасочном покрытии располагаются в поверхностном слое и ориентируются параллельно подложке. Благодаря этому покрытия с всплывающим пигментом характеризуются высокой отражательной способностью. Однако данные покрытия малоустойчивы к истирающим механическим воздействиям. Пигмент плохо закреплен на поверхности, и, как бы, срывается при даже незначительном механическом воздействии, вследствие чего лакокрасочное покрытие марается. Данные пигменты применяют в основном в порошковых красках, на поверхность которых впоследствии наносится дополнительный защитный слой порошкового или жидкого лака [107]. Поэтому для лакокрасочных композиций, применяемых в качестве теплоизоляционных покрытий ограждающих конструкций, целесообразнее применять не всплывающие алюминиевые пигменты.

Особенностью алюминиевых пигментов для красок на водной основе является то, что они не должны взаимодействовать с водой, что

сопровождается газовыделением. Вследствие этого металлические пигменты для ВД красок должны быть обработаны веществами, снижающими химическую активность поверхности металла [108].

Существует два способа стабилизации частичек алюминия:

- 1) Технология добавок. Заключается в обработке пигмента ингибиторами коррозии.
- 2) Технология инкапсуляции. Заключается в создании на поверхности частички прозрачного слоя из диоксида кремния [109].

Второй способ значительно эффективнее по показателю выделения водорода.

Несмотря на сложность рецептуры водно-дисперсионных красок, технология их изготовления сравнительно проста. Обычно лакокрасочные заводы используют уже готовые латексы, которые производятся заводами синтетического каучука (стирол-бутадиеновые) или промышленностью пластмасс (поливинилацетатные, полиакрилатные и др.). Собственно технологический процесс производства таких красок состоит из следующих операций:

- 1) приготовление диспергирующей смеси, так называемого полуфабриката, для перетира пигментов;
- 2) изготовление пигментных паст (перетир пигментов с полуфабрикатом);
- 3) смешение водно-дисперсионного связующего с пигментными пастами;
- 4) типизация краски и розлив ее в тару.

Наиболее важны операции получения паст пигментов и их смешения с дисперсией пленкообразователя.

Особенности технологии обусловлены наличием водной среды и относительной нестабильностью дисперсионного связующего. Поэтому необходимо предотвращать обильное пенообразование при транспортировке латексов, на третьей и четвертой стадиях технологического процесса, а также

снижать до минимума механические воздействия на латексы и латексные краски во избежание их частичной или полной коагуляции. Однако по мере появления промышленных водных дисперсий полимерных пленкообразователей с эффективными системами стабилизации последние затруднения постепенно устраняются.

Процесс диспергирования пигментов является самым дорогостоящим этапом в производстве цветных лакокрасочных материалов. Поэтому, создание готовых к применению пигментных пасты делает это производство более рентабельным в случае выпуска лакокрасочных материалов небольшого объема. Пигментная паста - это специальная паста, содержащая уже диспергированные пигменты с добавлением специальных вспомогательных веществ, задачей которых является стабилизация и облегчение введения пигментов в базу.

Таким образом, в настоящее время изготовление ВД красок может быть сведено к смешению водно-дисперсионного связующего с пигментными пастами и специальными добавками.

Фирма Schlenk выпускает алюминиевые пигментные пасты для водно-дисперсионных красок серии Aquasilber LPW и Aquamet WPO, а фирма Ecart – Hidrolac, Hidroxal, Hidromik, Hidropellet. Перед введением в лакокрасочную композицию, данные пигментные пасты необходимо разбавлять водой в присутствии небольшого количества диспергирующей добавки.

Пигментные пасты фирмы Ecart серии Shinedecor содержат не только алюминиевый пигмент и воду, но еще и добавки для смачивания и диспергирования, противовспениватели и добавки для оптимизации реологических свойств. Поэтому пигментные пасты этой серии полностью готовы к применению и не требуют больших сдвиговых усилий при перемешивании. А пигментная паста серии Shinedecor Ireflex 5000 white специально разработана для лакокрасочных материалов с большой теплоотражающей способностью.

1.5 Наполнители для композиционных теплоизоляционных покрытий

Как известно лучший теплоизолятор воздух, его коэффициент теплопроводности $0,023 \text{ Вт/м}^0\text{К}$. Если технологически удастся создать материалы с внутренней полостью заполненной воздухом, так называемые «полые микросферы», то появляются условия получения материала с низкой теплопроводностью. Следовательно, в качестве наполнителя для композиционного теплоизоляционного покрытия могут быть использованы полые микросферы.

Известны составы теплоизоляционных покрытий на основе полимерных связующих, содержащие в своем составе полимерные (полистирольные) или стеклянные полые микросферы [110, 111, 112], и их смеси [113]. Например, покрытие на основе силиконового каучука, содержащее в качестве наполнителя стеклянные полые микросферы, размером 100-400 мкм в количестве 40-70 % по массе [114].

Теплоизоляционное покрытие на основе вододисперсионной полимерной латексной композиции, включающей гомополимер акрилата, стирол-акрилатный сополимер, бутадиен-стирольный сополимер, полистирол, бутадиеновый полимер, полихлорвиниловый полимер, полиуретановый полимер, полимер или сополимер винилацетата, или их смесь, может содержать в своем от 10 до 90 % по объему полых микросфер с разными размерами от 10 до 500 мкм и различной насыпной плотностью от 50 до 650 кг/м^3 . Природа микросфер может быть различной: стеклянные, керамические, полимерные, техногенные, а также их смесь [115].

Керамические микросферы также могут отличаться как размером частиц, так и насыпной плотностью. Например, в термозащитной краске [116] в качестве наполнителя применялись полые керамические и корундовые микросферы диаметром от 3 до 100 мкм, с насыпной плотностью 300-400 кг/м^3 , доля микросфер в таком покрытии 55-60 % по массе. Известен

состав [117] для получения теплозащитного покрытия, содержащий от 18 до 32% по массе полых керамических микросфер размером от 5 до 350 мкм с насыпной плотностью 450-750 кг/м³.

Полимерные микросферы выпускают на основе фенолформальдегидной смолы, путем термообработки распыленных растворов и эмульсий. Получаемые гранулы имеют коричневый цвет, размер частиц от 10 до 200 мкм и насыпную плотность 100-150 кг/м³, прочность при сжатии до 2,5 МПа. Данные микросферы в России выпускает только одно предприятие ЗАО «Аквасинт» и широко используются, как лакокрасочной, так и в оборонной промышленности, поэтому являются дефицитными. Кроме того стоимость таких микросфер составляет порядка 3000 за 1 кг.

Стеклянные полые микросферы имеют размер от 3 до 125 мкм и выпускаются как зарубежными, так и Российскими компаниями. Марки и физико-механические характеристики полых стеклянных микросфер американской компании ЗМTM представлены в таблице 9. Стоимость таких микросфер очень высока и составляет 4500-5000 руб. за 1 кг. Микросферы Российского производства выпускают: Новгородский завод стекловолокна (ООО «НЗСВ») и Екатеринбургский завод изоляционных материалов (ООО «ЕЗИМ») из натриевоборосиликатного стекла, состава представленного в таблице 10. Марки микросфер выпускаемых по ТУ 6-48-108-94 в зависимости от истинной плотности и прочности, и их характеристики представлены в таблице 11, а по ТУ 5951-035-00204990-2010 в таблице 12.

Устройства для получения стеклянных микрошариков и полых микросфер отличаются производительностью, конструкцией и имеют свои особенности по отделению микросфер от газового потока и разделения на фракции [118-121], но все они представляют собой цилиндрическую вертикальную камеру с горелкой. Способ получения микросфер и микрошариков включает следующие операции: варка стекла, получение стеклопорошка, формование микросфер в восходящем потоке нагретых газов, охлаждение отформованных частиц в газоздушном потоке,

отделение микросфер от газовоздушного потока в первом сепараторе, а далее происходит либо сухое разделение частиц на фракции во втором сепараторе, либо флотационное осаждение частиц в разделительной камере. Оба способа разделения частиц имеют свои недостатки: при первом способе часть наиболее мелких частиц не улавливается и выбрасывается в атмосферу, что снижает производительность и ухудшает качество готовой продукции; при втором способе требуется последующая сушка полученных микросфер, что увеличивает энергоемкость производства.

Таблица 1.9

Физико-механические характеристики полых стеклянных микросфер
компании ЗМ™

Марка	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Сопротивление раздавливанию		Плавуемость объемная доля, %, не менее
			Давление, МПа	% неразруш. микросфер	
K1	0,1-0,14	0,05-0,1	1,7	90	96
K15	0,13-0,17	0,07-0,12	2,1		96
K20	0,18-0,22	0,1-0,15	3,4		96
K25	0,23-0,27	0,13-0,18	5,2		96
K37	0,34-0,40	0,19-0,27	21,0		94
K46	0,43-0,49	0,28-0,32	42,0		92
S22	0,19-0,25	0,09-0,17	2,8		96
S32LD	0,26-0,32	0,14-0,22	10,3		94
S32	0,29-0,35	0,16-0,24	14,0		94
S38	0,35-0,41	0,19-0,28	28,0		94
S38HS	0,35-0,41	0,19-0,28	38,5		94
S60	0,57-0,63	0,31-0,43	69,0		92
S60HS	0,57-0,63	0,31-0,43	124,0		92
iM30K	0,57-0,63	0,30-0,40	200,0		90

Таблица 1.10

Состав стекла для производства микросфер

Оксид	Na ₂ O	SiO ₂	B ₂ O	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
Содержание, %	25,5–28,2	71,7-73,8	3,8-4,4	не более 0,4

Таблица 1.11

Характеристики полых стеклянных микросфер по ТУ 6-48-108-94

Наименование показателя	МС А1	МС А2	МС Б1	МС Б2	МС-А9 А1	МС-А9 А2	МС-А9 Б1	МС-А9 Б2
Истинная плотность, г/см ³	0,24-0,32	0,26-0,32	0,33-0,40	0,31-0,36	0,24-0,32	0,26-0,32	0,33-0,40	0,31-0,36
Прочность на гидростатическое сжатие (50% уровень разрушения), кгс/см ²	60	110	100	150	80	140	120	180
Коэффициент заполнения объема, %, не менее	55	60	55	60	55	60	55	60
Плавучесть объемная доля, %, не менее	95	95	95	95	95	95	95	95
Массовая доля аппрета, %	-	-	-	-	0,1-0,5	0,2-0,5	0,1-0,5	0,2-0,5

Примечание: А9 – индекс химической обработки аппретом.

Таблица 12

Характеристики полых стеклянных микросфер по ТУ 5951-035-00204990-2010

Наименование показателя	Марка микросфер			
	МС-Н	МС-Т	МС-Э	МС-НО
Насыпная плотность, г/см ³ , не более	0,5	0,36	0,20-0,32	0,16-0,20
Плавучесть, объемная доля, %, не менее	75	80	90	92

Примечание: МС-Т – для тампонажных растворов; МС-Н – необработанные; МС-Э – для эмульсионных растворов; МС-НО – отмытые.

Не зависимо от применяемых технологий изготовления, производство стеклянных микросфер связано с высокими энергозатратами, и большим износом оборудования за счет абразивного действия закрученных газовых потоков с микросферами на стенки технологических агрегатов. Все это

отражается на стоимости полых стеклянных микросфер, так, например, 1 кг микросфер Российского производства стоит 125 до 600 руб. в зависимости от марки.

Существуют исследования по замене части дорогостоящих стеклянных микросфер тонкодисперсными минеральными порошками, такими как, белая сажа и диатомит обожженный и не обожженный, без потери эксплуатационных характеристик теплоизоляционных покрытий [122-124].

С экономической точки зрения целесообразно рассмотреть возможность применения в качестве наполнителя для композиционного теплоизоляционного покрытия полые алюмосиликатные микросферы, стоимость которых составляет 30-40 руб. за 1 кг.

Алюмосиликатные микросферы – это микросферы выделяемые из золошлаковых отходов от сжигания угля топливных электростанций. При сжигании углей в топках из минеральных примесей образуются полые алюмосиликатные микросферы. Содержание полых микросфер в золе-уноса различных ТЭС меняется от десятых долей процента до нескольких процентов [125]. Так как до 30% электроэнергии вырабатывается за счет сжигания твердого топлива, то объемы образующихся золошлаковых отходов превышает 0,5 млрд. т год, а объемы выделяемых из них микросфер исчисляются миллионами тонн в год [126]. В зависимости от способа шлакоудаления, мокрого или сухого, данные отходы либо сливаются в шлаковые бассейны, либо вывозятся в золошлаковые отвалы. Все это требует отчуждения значительных земельных территорий и неблагоприятно сказывается на экологической обстановке. Поэтому, применение полых алюмосиликатных микросфер в производстве строительных материалов представляет интерес не только с экономической, но и с экологической точки зрения.

Способы выделения алюмосиликатных полых микросфер из золошлаковых отходов могут различны. Например, при мокром способе шлакоудаления, микросферы могут выделяться непосредственно из

шлаковой пульпы в процессе подачи ее на шлаковые поля, либо собираться с поверхности в шлаковых бассейнах [127]. При сухом способе золоудаления, зола-уноса в последующем смешивается с водой, иногда с добавлением различных реактивов (керосин, пенообразователи), откуда потом микросферы выделяются флотационным способом [128-130]. В процессе получения микросфер может осуществляться их гидросепарация для разделения на фракции.

В зависимости от вида угля, особенностей процесса его сжигания микросферы могут иметь различный химический состав и физико-механические характеристики. В работе [131] были изучены химический состав, гранулометрический состав и физико-механические свойства микросфер различных ТЭЦ и ГРЭС, работающих на каменном угле различных месторождений. В работе исследованы микросферы: Омской ТЭЦ-5 (Экибастузский бассейн), Новочеркасской ГРЭС (Донецкий бассейн), Томь-Усинской ГРЭС (Кузнецкий бассейн), Череповецкой ГРЭС (Кузнецкий бассейн), Рязанской ГРЭС (Подмосковный бассейн), Приморской ГРЭС (Бакинское месторождение), Артемовской ТЭЦ (Нерюнгринское месторождение) и других электростанций в настоящее время переведенных на природный газ. Как показывают результаты химического анализа, содержание основных оксидов колеблется: SiO_2 от 55 до 68%, а Al_2O_3 от 19 до 40%. При этом минимальным содержанием SiO_2 (55%) и максимальным Al_2O_3 (40%) обладают АМС Экибастузского бассейна каменного угля, а максимальным содержанием SiO_2 (68 %) и минимальным Al_2O_3 (19%) – АМС Кузнецкого бассейна. Химический состав остальных АМС находится в этом диапазоне и очень близок друг к другу. Дисперсный состав АМС зависит в основном не от месторождения угля, а от крупности сжигаемого угольного порошка и способа выделения микросфер из золошлаковых отходов. Так, например, АМС получаемые из золы-уноса при сжигании каменного угля Кузнецкого месторождения, получаемые Томь-Устинской ГРЭС, имеют размер частиц от 30 до 500 мкм, а ТЭЦ-22 (г.

Москва) – 28-250 мкм. В процессе отделения АМС из золошлаковых отходов может осуществляться разделение их на фракции.

Не мало важным показателем качества полых микросфер является прочность, которая оценивается либо давлением, при котором разрушается 50% АМС при сдавливании в цилиндре, либо количеством микросфер сохранивших плавучесть после гидростатического обжатия давлением 10,5 МПа. Результаты изучения прочности различных АМС показали, что 50-% уровень прочности меняется незначительно, от 28 МПа (Кузнецкий бассейн), до 32 МПа (Ново-Кемеровская ТЭЦ). Тогда как, например, полимерные микросферы имеют прочность 2,5 МПа, а стеклянные – от 6 до 18 МПа.

Приведенные в [131] данные по гигроскопичности АМС показывают, что она лежит в пределах от 0,09 до 0,45%, при том, что гигроскопичность стеклянных микросфер около 7%.

При производстве пигментированных составов имеет значение цвет микросфер, который зависит от их способности рассеивать волновое излучение в оптическом диапазоне длины волны. Эта способность определяется характером поверхности, толщиной стенки микросферы и ее пористостью. Прозрачные микросферы, которые в порошке воспринимаются как белые, тонкостенны, не имеют дефектов в стенке и обладают гладкой поверхностью. Микросферы темно-серого цвета имеют в стенке большое количество пор, которые частично выходят на поверхность. Они практически полностью рассеивают попадающий на них свет. Микросферы светло-серого цвета имеют в оболочке небольшое количество закрытых пор и шероховатую поверхность. Например, по данным [126] оболочки светло-серых микросфер Беловской ГРЭС Кемеровской области, со средним размером частиц 150 мкм, имеют поры среднего размера 11 нм. Объем пор по данным метода БЭТ составляет 0,002 см²/г. Поэтому, светло-серые микросферы обладают достаточной прозрачностью, не изменяют цвет краски, повышают их укрывистость и, тем самым, способствуют экономии дорогих пигментов [132].

Наличие в керамике оксидов металлов придает ей способность отражать тепловое излучение [133]. Поэтому, керамические алюмосиликатные микросферы, особенно высокоалюминатные, например Экибастузские, в композиционном теплоизоляционном покрытии, также как и алюминиевый пигмент, участвуют в процессах отражения инфракрасного излучения. В работе [134] предложены две приближенные теоретические модели, объясняющие сильное рассеяние видимого и инфракрасного излучения в керамике из полых микросфер.

1.6 Принципы разработки составов композиционных теплоизоляционных материалов, влияние вещественного состава на формирование свойств покрытий на их основе

Задача составления рецептуры жидких композиционных материалов заключается в том, чтобы подобрать такой состав, при котором композиция обладала бы достаточной стабильностью, хорошими технологическими свойствами и формировала пленку максимально замкнутой структуры [135].

Основными компонентами водно-дисперсионных композиций являются: пленкообразователь – водная дисперсия полимера, пигменты, наполнители. Но, кроме основных компонентов они могут содержать большое количество добавок, обеспечивающих стабилизацию, консервацию, регулирующих пенообразование и реологические свойства композиции, улучшающих пленкообразование и свойства покрытия.

Сближение частиц полимера до такого состояния, когда они теряют границы раздела, называется коалесценцией. Коалесценция полимеров из водных дисперсий происходит только при температурах, превышающих минимальную температуру пленкообразования (МТП), ниже которой полимер находится в стеклообразном состоянии и не способен образовывать пленку. Для понижения МТП пленкообразователя ниже температуры

стеклования применяют пластификаторы и коалесцирующие добавки [136]. Пластификатор после отверждения остается в пленке и влияет на ее физико-механические свойства. Коалесцирующие добавки представляют собой органические жидкости, которые обеспечивают пластификацию полимера лишь в процессе формирования покрытия, а после отверждения удаляются из пленки. Механизм действия пластифицирующих и коалесцирующих добавок практически одинаков, но первые осуществляют внутривязочную, а вторые межвязочную пластификацию глобул [135]. МПТ водных дисперсий акриловых полимеров, лежит в пределах от -5 до 25 °С. Такие дисперсии имеют пониженные прочностные свойства, но не требуют пластификации или добавления коалесцентом.

Значительное влияние на свойства композиционного материала оказывают пигменты. Введением пигментов можно регулировать не только оптические свойства покрытия, но и деформационно-прочностные, изолирующие, адгезионные. Это связано с тем, что полимер вступает в физико-химическое взаимодействие с поверхностью частиц пигмента, что приводит к ограничению подвижности макромолекул полимера, повышению его жесткости, температуры стеклования и изменению релаксационных переходов.

Пигменты оказывают влияние на процесс формирования покрытия. Они могут ускорять или замедлять процесс пленкообразования, влиять на структуру образующейся трехмерной сетки полимера. Пигменты могут как улучшать, так и ухудшать свойства покрытия. Так, например, водопоглощение и водонепроницаемость покрытия зависит от структуры контактного слоя между частицей пигмента и полимером. Если контактный слой «рыхлый», водопоглощение пленки возрастает, что приводит к ухудшению ее изоляционных свойств. При образовании уплотненных структур пленкообразователя, наоборот, водопоглощение снижается. В большинстве случаев, пигментирование приводит к повышению

изоляционных свойств покрытия, что связано с увеличением пути молекул коррозионных агентов при их диффузии к защищаемой поверхности [137].

Особенно большое влияние на проницаемость покрытий оказывает их форма. Максимально проницаемость покрытий снижают пигменты чешуйчатой формы, алюминиевая пудра, железная слюдка, графит и др. Влияние пигментов на адгезионные свойства покрытия, как правило, положительное. Объясняется это модифицирующим влиянием дисперсных частиц на пленкообразователь, окружающий пигментную частицу. Вследствие большой дисперсности пигментных частиц, это влияние распространяется практически на весь полимер, в том числе и примыкающий к подложке. Форма частиц пигментов и наполнителей также оказывает влияние на внутренние напряжения в покрытиях. Наибольшим эффектом снижения внутренних напряжений в покрытии обладают пластинчатые и чешуйчатые пигменты и наполнители, что объясняется их армирующим эффектом. При этом, снижение внутренних напряжений тем выше, чем крупнее частицы пигмента. Таким эффектом, хотя и в меньшей степени, обладают и наполнители с частицами сферической формой [138].

Важнейшим свойством пигментированных композиций является их седиментационная и агрегативная устойчивость. Седиментационная устойчивость, это способность дисперсной фазы сохранять равномерное распределение в объеме пленкообразователя, не выпадая в осадок. Агрегативная устойчивость проявляется в способности частиц пигмента и наполнителя не слипаться. Агрегативная не устойчивость приводит к укрупнению частиц пигмента и наполнителя, вследствие чего они становятся тяжелыми и выпадают в осадок, т.е. агрегативная не устойчивость приводит к потере седиментационной устойчивости. Агрегатирование происходит вследствие того, что пигментированная система имеют большую поверхность раздела фаз, а значит, имеет большой запас свободной энергии, т.е. термодинамически не устойчива. Стремясь уменьшить запас свободной энергии, система уменьшает границы раздела фаз путем сближения и

слипания частиц. Если слипание частиц происходит без прослойки жидкой фазы, это явление называется коагуляция, с прослойками жидкой фазы – флокуляция. В большинстве случаев, явления коагуляции и флокуляции возникают, вследствие плохой смачиваемости частиц пигмента пленкообразователем. В водной среде большое значение с точки зрения коагуляции и флокуляции играет электростатическое отталкивание за счет образования двойного электрического слоя на поверхности частицы при адсорбции ионов или пленкообразователей содержащих ионные группы. Введение в систему электролитов, роль которых могут выполнять водорастворимые соли, содержащиеся в пигментах, приводят к уменьшению толщины двойного электрического слоя, и как следствие к потере агрегативной устойчивости [137]. Поэтому правильный выбор пигмента и пленкообразователя, совместимых с друг другом, является важной задачей.

Краски на водной основе пигментируют теми же органическими и неорганическими пигментами и наполнителями, что и краски на не водной основе. Однако к пигментам предъявляются дополнительные требования по не растворимости в воде и инертности. Поскольку водные дисперсии полимеров мало устойчивы к механическим воздействиям, особенно в присутствии твердой фазы, то диспергировать пигмент непосредственно в дисперсии полимера, как это делается для масляных и алкидных композиций, нельзя. Поэтому, производство водно-дисперсионных красок сводится к совмещению пленкообразователя с отдельно подготовленной пигментной пастой [135]. В настоящее время, разработке универсальных пигментных паст, совмещающихся практически с любым пленкообразователем, уделяется все большее внимание.

Значительное влияние на свойства композиционного материала оказывает дисперсность пигмента. С увеличением дисперсности пигмента снижается паро- и водопроницаемость покрытия, повышаются его изоляционные свойства [137, 138]. От дисперсности пигмента зависит его укрывистость, а также все деформационно-прочностные свойства покрытия.

Однако, при превышении оптимальной дисперсности пигмента, когда размеры частиц пигмента становятся меньше размера частиц полимера, не удается создать мономолекулярный слой полимера на поверхности пигмента, а наоборот, частицы полимера покрыты частицами ультратонкого пигмента. В этом случае не удается достигнуть высокого наполнения композиции пигментом. Т.о., в композициях водно-дисперсионного типа не следует стремиться к применению ультрадисперсных пигментов, зато применение латексов с малым размером глобул всегда желательно [135].

Особое внимание в водно-дисперсионных композиционных материалах должно быть уделено наполнителям и с точки зрения их влияния на технологические свойства краски (реологические характеристики, агрегативную устойчивость и т.д.)

Для придания краске технологичности при нанесении в ее состав вводят загустители и структурирующие добавки. Загустители – это компоненты повышают вязкость краски вплоть до придания ей небольшой пластичности вследствие высокой собственной, обусловленной гидратацией, вязкости в водном растворе и формирования мостичных связей между дисперсными частицами. Структурирующие добавки – это добавки вводятся в краску для придания ей пластичности и в некоторых случаях тиксотропности. От загустителей они отличаются тем, что структурирующее действие достигается не гидратационным «связыванием» воды, а формированием обратимых коагуляционных структур.

Роль структурирующих добавок могут играть некоторые пигменты (например, цинковые белила, добавляемые в количестве до 15% от веса нейтрального белого пигмента) и наполнители (каолин, микрослюда и др.). Следует упомянуть о специфической структурирующей добавке – высокодисперсной двуокиси кремния (продукты типа «Аэросил»). Эти продукты имеют размер частиц 0,1 мкм и менее, удельную поверхность 30 – 300 м²/г. Частицы высокодисперсной окиси кремния, обладая сильными

электрическими полями, взаимодействуют с пигментной поверхностью, предотвращая слипание частиц пигментов в процессе хранения краски [135].

Роль структурирующей добавки могут играть алюмосиликатные макросферы. В исследованиях Королева Е.В. и Иноземцева А.С. [139-141] приводятся данные об отсутствии развитой поровой структуры оболочки алюмосиликатных микросфер, однако их поверхность обладает рельефом в виде полусферических объектов, что обеспечивает шероховатость поверхности, обуславливающую хорошее сцепление частиц микросфер с полимерным связующим. Исследования профессора Орешкина Д.В. показывают, что, при введении полых стеклянных микросфер в кладочные и штукатурные растворы, не происходит их расслоения [142-148]. Это связано с действием поверхностных сил, обусловленных малым размером и формой частиц микросфер.

Количественное соотношение между содержанием пигментов, наполнителей и пленкообразователя определяется критической объемной концентрацией пигментов и наполнителей (КОКП) [138].

КОКП – это концентрация пигментов, при которой пленкообразователь в покрытии еще полностью смачивает частицы пигментов и наполнителей и заполняет все промежутки между ними, что обеспечивает получение гладкого ровного покрытия. При превышении КОКП в рецептуре краски, на поверхности покрытия появляются открытые поры (пустоты), так как пленкообразователь способен образовывать только отдельные мостики и точки соприкосновения между частицами пигмента и наполнителя.

Чем выше КОКП, достигаемая при использовании определенного типа пленкообразователя, тем меньшее его количество требуется для достижения нужных свойств покрытия. Следовательно, КОКП определяет экономичность применения пленкообразователя. Способность пленкообразователя к «связыванию» пигментов и наполнителей с получением покрытия, обладающего определенными свойствами, часто называют пигментной емкостью пленкообразователя [100].

Как правило, с увеличением степени наполнения покрытия, его свойства плавно изменяются, а при достижении КОКП, либо происходит резкое изменение свойства, либо дальнейшего изменения практически не происходит.

При изменении содержания пигментов и наполнителей в покрытии происходит изменение практически всех его свойств: плотности, блеска и цвета, паро- и влагопроницаемости, укрывистости, твердости, прочности при разрыве и т.д. Характер изменения этих свойств может быть различным. Так, например, паро- и влагопроницаемость с увеличением степени наполнения сначала постепенно падает, а затем резко возрастает. Укрывистость, при возрастании содержания пигмента, сначала линейно увеличивается, а затем этот рост замедляется, и при достижении КОКП проходит через максимум и снижается. Прочность пленки в области КОКП достигает максимальных значений, а относительное удлинение при разрыве минимальных [138].

Т.е., наилучшие свойства покрытия достигаются при степени наполнения его пигментами и наполнителями чуть меньшей КОКП. Фактическое отношение объема пигментов и наполнителей к общему объему отвержденного (сухого) покрытия, выраженное в %, называется «объемной концентрацией пигментов и наполнителей» (ОКП) и определяется по формуле:

$$\text{ОКП} = \frac{\text{объем пигментов и наполнителей} \cdot 100\%}{\text{объем пленкообразователя} + \text{объем пигментов и наполнителей}} \quad (1.12)$$

Чем больше величина ОКП, тем меньше пленкообразователя содержит краска [99].

Величина КОКП обусловлена, с одной стороны, химической природой пленкообразователя, с другой – размером частиц пигментов и наполнителей.

Теоретически, максимальная плотность упаковка монодисперсных частиц зависит от их формы и не зависит от размеров. Так, плотность упаковки частиц сферической формы, полученная геометрическим расчетом,

составляет 72% объема пространства, а для частиц кубической формы – 100%. В реальных же условиях, во первых – частицы пигментов и наполнителей не монодисперсны, во вторых – не обладают правильной геометрической формой. Поэтому, в реальных условиях максимально плотная упаковка не достигается. Как правило, полидисперсность пигментов и наполнителей приводит к снижению КОКП пленки, но это характерно только для высокодисперсных пигментов и наполнителей. При использовании наполнителей не высокой дисперсности, происходит обратное, более мелкие частицы располагаются в промежутках между более крупными частицами, тем самым повышая КОКП покрытия [138].

КОКП также зависит от вида применяемого связующего. Поверхность частичек пигментов и наполнителей покрыта адсорбционным слоем пленкообразователя, толщина которого зависит от размера частиц и свойств полимера. Как правило, при использовании стирол-акриловых дисперсий с небольшим размером частиц, значение КОКП в рецептурах красок достигается при более высоких объемных концентрациях пигментов, чем при использовании дисперсий с более крупными частицами или дисперсий других сополимеров. Основной областью применения стирол-акриловых дисперсий являются высоконаполненные краски с ОКП > 40%. При ОКП ниже 30%, предпочтительно использовать чисто акриловые дисперсии из-за более высокой стойкости к УФ-излучению. Чисто акриловые дисперсии целесообразно применять в рецептурах материалов с ОКП 0 – 45%.

Выводы по главе 1

1) Показано, что кроме стеновых материалов с низкой теплопроводностью, таких, как пенно- и газобетоны, газосиликаты, керамзитобетон низкой плотности, полистиролбетон, пеностекло, пенокерамика, пено- и газокерамобетон, все большее применение в

строительстве находят теплоизоляционные материалы в виде тонкослойных покрытий.

2) Проанализированы современные тенденции разработки теплоизоляционных материалов, в том числе и тонкослойных композиционных теплоизоляционных покрытий. Данные материалы представляют собой покрытия белого цвета, включающие связующее, полые микросферы различной природы (полимерные, стеклянные, силиконовые) и титановый пигмент.

3) Показано, что в настоящее время все большее внимание уделяется вопросам экологической и токсической безопасности изготавливаемых и применяемых лакокрасочных материалов, что делает наиболее перспективным направление разработки теплоизоляционного композиционного материала на водной основе.

4) Обоснован выбор в качестве связующего для композиционного теплоизоляционного материала водной дисперсии стирол-акрилового полимера вследствие не токсичности, хорошего соотношения цена/качество и возможности достижения высокой степени наполнения пигментами и наполнителями.

5) Обоснован выбор в качестве декоративного компонента для композиционного теплоизоляционного материала алюминиевого пигмента. Существующие аналоги композиционных теплоизоляционных покрытий имеют матовую, пористую поверхность, что в совокупности с белым цветом приводит к очень быстрому их загрязнению и потере внешнего вида. Чешуйчатые и пластинчатые пигменты повышают стойкость к загрязнению, так как увеличивают путь агрессивных и загрязняющих веществ вглубь покрытия.

6) Предложено в качестве алюминиевого пигмента для композиционного теплоизоляционного материала использовать готовую к применению пигментную пасту, которая содержит частицы алюминия, имеющие плоскую округлую форму с ровными краями. Ориентируясь

параллельно поверхности, данные частицы не только увеличивают степень блеска покрытия, но и позволяют получить ровную гладкую поверхность стойкую к загрязнению.

7) Установлено, что традиционно применяемые в составе композиционных теплоизоляционных материалов стеклянные и полимерные микросферы имеют достаточно высокую стоимость. Путем применения в качестве низко теплопроводного наполнителя полых алюмосиликатных микросфер, стоимость которых в 8-10 раз ниже стеклянных или полимерных, достигается снижение стоимости композиционного теплоизоляционного материала.

8) Приведены данные, что химический состав полых алюмосиликатных микросфер не значительно зависит от месторождения угля, и, в основном представлен оксидами SiO_2 и Al_2O_3 , а гранулометрический состав микросфер в основном представлен частицами размером от 5 до 500 мкм. Следовательно, в качестве наполнителя в композиционном теплоизоляционном покрытии могут быть использованы микросферы любой ТЭЦ.

9) Установлено, что в качестве микросферического наполнителя в пигментированных композициях наиболее целесообразно применять алюмосиликатные микросферы светло-серого цвета. Они обладают балансом между прозрачностью, и не изменяют цвет покрытия, при этом обладают некоторой шероховатостью поверхности, обеспечивающей их хорошее сцепление с полимерным связующим.

10) Показано, что основным показателем, характеризующим состав композиционного теплоизоляционного материала и определяющим свойства покрытия, является объемная концентрация пигментов и наполнителей (ОКП). ОКП пленки, как правило, несколько ниже КОКП, при котором происходит значительное изменение свойств покрытия. Следовательно, при разработке состава лакокрасочного покрытия, основной задачей является определение КОКП.

Глава 2 Методы исследований и характеристика применяемых материалов для получения композиционного теплоизоляционного покрытия.

2.1 Методы исследования

2.1.1 Метод изучения дисперсного состава исходных компонентов

Наиболее полно дисперсность системы описывается графически в виде интегральных и дифференциальных кривых распределения частиц по размерам. Точке перегиба на интегральной кривой и максимум на дифференциальной кривой соответствует значение наиболее вероятного радиуса частиц, а по форме дифференциальной кривой можно судить о степени полидисперсности. Для относительно монодисперсных систем кривая узкая, а для полидисперсных систем она более пологая и растянутая (рисунок 2.1) [149].

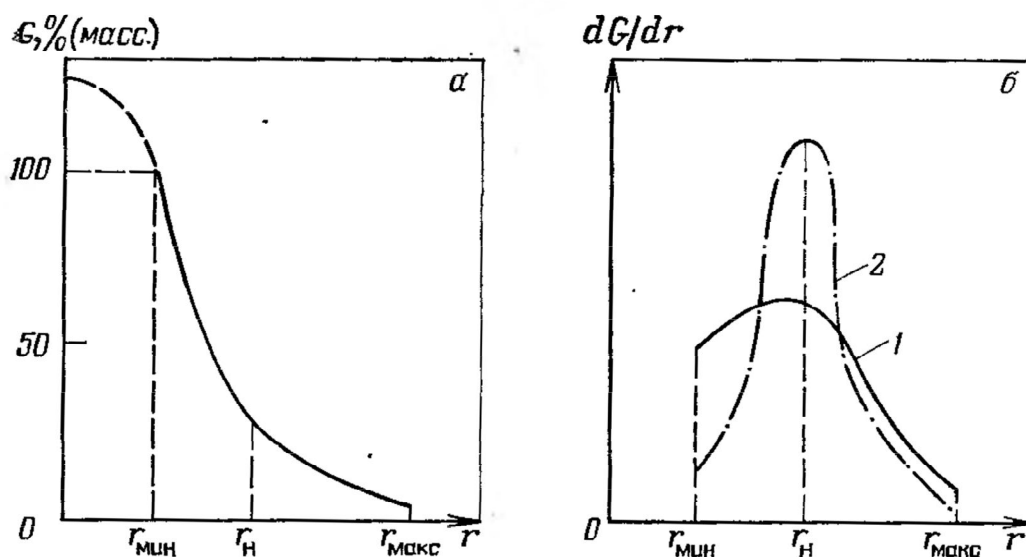


Рис. 2.1 Интегральная (а) и дифференциальная (б) кривые распределения частиц по размерам

1 – полидисперсная система; 2 – относительно монодисперсная система

(G – суммарное содержание частиц, % по массе)

Существует несколько методов дисперсионного анализа: ситовой, седиментационный, микроскопия, кондуктометрический метод, метод светорассеяния (лазерной дифракции). Ситовой метод самый простой по применяемому оборудованию, но его применение становится невозможным для частиц размером менее 40 мкм. К тому же, этот метод дает низкую сходимость результатов измерений, так как при увеличении длительности просеивания, частицы имеющие форму отличную от сферической (пластинчатые и игловатые) ориентируются так, что проходят через ячейки. Еще одной проблемой является контроль правильности размера отверстий сит. Седиментационный анализ дает значительные погрешности, если форма частиц отличается от сферической, как например частички алюминиевого пигмента, или частицы имеют различную плотность. Он также трудно применим в том случае, если частицы дисперсной фазы имеет слишком большую плотность и быстро оседают или наоборот система седиментационно устойчива и частицы не оседают. В любом случае, необходимо точно знать плотность дисперсной фазы. Кондуктометрический метод основан на измерении импульса, возникающего в результате создания разности потенциалов на конце отверстия стеклянной трубки, через которое протекает разбавленная электролитом суспензия. Этот метод сложен, требует постоянной калибровки прибора, результат измерения зависит от ориентации частиц, проходящих через калибровочное отверстие, что особенно актуально для плоских частиц алюминиевого пигмента. Микроскопия, прекрасный метод анализа, позволяющий оценить не только размер, но и форму частиц, но не позволяет проводить исследования дисперсного состава достаточно большой выборки. Наиболее современным методом, имеющим на сегодняшний момент хорошо развитую инструментальную базу, является метод лазерной дифракции. Метод основан на регистрации интенсивности рассеянного света, угловая зависимость которого определяется размером и оптическими свойствами частиц. А в сочетании с микроскопией можно получить наиболее полную информацию об исследуемых объектах.

Для исследования частиц в анализаторе используется принцип дифракции лазерного луча на дисперсных образцах. При попадании на частицу порошка лазерный луч отклоняется на некоторый угол, зависящий от размера частицы. Далее рассеянный луч попадает на детектор. Измерение интенсивности излучения, попавшего на каждый элемент детектора, и последующая математическая обработка сигнала позволяют определить размер частиц образца и оценить их форму.

Определение точного размера частиц возможно, если частицы имеют сферическую форму. При любой другой форме частиц, для них будет определяться так называемый эквивалентный диаметр, т.е. некий усредненный размер, соответствующий сферическим частицам, дающим аналогичную дифракционную картину.

Самой общей и наиболее информативной характеристикой дисперсной системы является гранулометрический (фракционный) состав – функция распределения дисперсной фазы по размерам частиц, выраженные в виде аналитических выражений или графически интегральный или дифференциальный гранулометрический состав дисперсной фазы.

Интегральный гранулометрический состав (рисунок 2.2), представляет собой долевое распределение частиц по классам крупности, которые определены только одним (чаще всего верхним) граничным значением, т.е. доля частиц с размерами меньшими данного размера.

Для компактности представления данных гранулометрического анализа вводятся численные показатели, характеризующие функцию суммарного объемного распределения частиц по размерам (интегральный гранулометрический состав) – квантили распределения. На рисунке представлено интегральное распределение частиц по размерам, где шкала оси ординат приводится в процентах. Каждому значению процента по оси ординат соответствует определенный диаметр частиц. (Например, значению $M=10\%$ соответствует диаметр $d = 9,18$ мкм). Представленное распределение можно характеризовать несколькими численными показателями (квантилями

распределения): $D(10)$, $D(25)$, $D(50)$, $D(75)$, $D(90)$ с соответствующими диаметрами. Ниже приведены эти значения:

$D(10) = 9,18$ - 10% частиц имеют диаметр не больше 9,18 мкм;

$D(25) = 10,33$ - 25% частиц имеют диаметр не больше 10,33 мкм;

$D(50) = 11,46$ - 50% частиц имеют диаметр не больше 11,46 мкм;

$D(75) = 12,81$ - 75% частиц имеют диаметр не больше 12,81 мкм;

$D(90) = 13,92$ - 90% частиц имеют диаметр не больше 13,92 мкм.

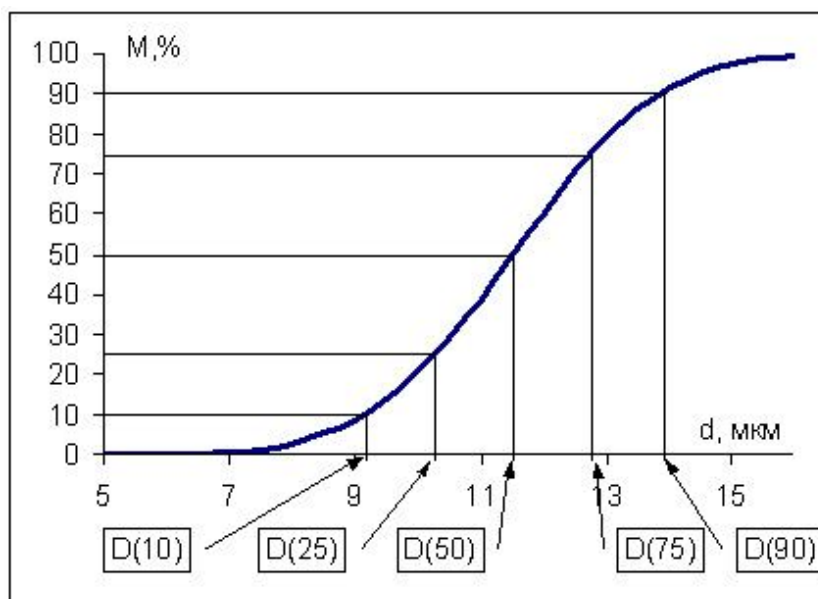


Рис. 2.2 Разбиение интегрального гранулометрического состава на поддиапазоны

В зависимости от цели дисперсионного анализа исследователя могут интересовать различные показатели средних значений. Например, среднее значение размера частиц $D[1,0]$ определяется как сумма размеров частиц, деленная на их количество и не учитывает массу частиц. Тогда как наиболее важным параметром является среднее, показывающее, частицы с каким размером составляют наибольшую массу в образце $D[4,3]$. Практическое значение также имеет такой показатель, как «Мода» - положение максимума кривой распределения, или наиболее часто встречающийся в популяции частиц размер.

Гранулометрический состав исходных компонентов теплоизоляционного композиционного покрытия: алюмосиликатных

микросфер и алюминиевого пигмента изучался с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц ANALYSETTE 22NanoTec.

2.1.2 Исследование структуры исходных компонентов и лакокрасочного теплоизоляционного покрытия

Форма частиц алюминиевого пигмента и микросферического наполнителя и структура готового теплоизоляционного покрытия и характер адгезионного слоя изучались с помощью растровой электронной микроскопии. Так как теплоотражающее покрытие является не токопроводящим материалом (диэлектриком) на его поверхность напылением наносилась тонкая пленка электропроводника – графита. При работе с органическими материалами, каковым является связующее в покрытии, нужно учитывать, что при длительном контакте зонда с образцом возможно его термическое разрушение, что учитывалось при получении снимков. Микрофотографии получали с различным разрешением от 2 мкм до 50 нм.

2.1.3 Определение паропроницаемости

Паропроницаемость композиционного теплоизоляционного покрытия определялась по ГОСТ 33355-2015 (ISO 7783:2011) «Материалы лакокрасочные. Определение характеристик паропроницаемости. Метод чашки» [78, 79]. Паропроницаемость определялась по методу мокрой чашки на образцах свободных пленок.

Для получения образцов свободных пленок, композиции наносились на подложки из полиэтилена высокой плотности, от которых отделялись после отверждения. Для вырезки образцов такого размера, который подходит к чашке, использовался трафарет.

Насыщенный раствор дигидрофосфата аммония (ч.д.а.), содержащий нерастворенные кристаллы помещался в стеклянную чашку диаметром 3,7 мм и высотой 5,6 мм, с площадью поверхности 10,75 см². На края стаканчика

наносился силиконовый герметик, после чего к краям плотно прижимался образец покрытия. Воздушный зазор между образцом и поверхностью раствора поддерживался в пределах от 20 до 25 мм.

Комплект стаканчиков с образцами помещался в камеру для испытаний Vötsch VC 7018 (рисунок 2.3), в которой поддерживалась температура 23°C и относительную влажность 50%. Относительную влажность в чашке поддерживается на постоянном уровне – 93% с помощью насыщенного раствора соли.



Рис. 2.3 Климатическая камера Vötsch VC 7018

В следствие разности между парциальным давлением водяного пара внутри испытательной чашки и парциальным давлением водяного пара снаружи (в испытательной камере) водяной пар проникает через испытуемое покрытие. Взвешивая чашку с образцом через определенные интервалы времени, фиксируют изменение ее массы. По изменению массы чашки и площади испытуемой поверхности рассчитывают

паропроницаемость и толщину воздушного слоя с эквивалентной паропроницаемостью.

Образцы покрытий, кондиционировались при температуре $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50\pm 5)\%$ в течение 28 дней или пока разность масс между двумя последовательными взвешиваниями, выполненными с интервалом 24 ч, не становилась менее 1%. Взвешивание осуществлялось пока изменение массы на единицу времени не становилось постоянным.

Для определения паропроницаемости необходимо знать скорость потока водяного пара G (г/ч). Для определения G строится график изменения массы в граммах от времени в часах. Испытание считают законченным, когда более 3-х точек попадает на прямую линию.

Паропроницаемость V , г/(м ·сут), для свободной пленки при стандартном атмосферном давлении p_0 (т.е. давлении на средней высоте над уровнем моря) рассчитывают по формуле:

$$V = 24 \frac{p}{p_0} \cdot \frac{G}{A} \quad (2.1)$$

где 24 - множитель, который переводит G из г/ч в г/сут; $\frac{p}{p_0}$ - множитель, который вводит поправку в паропроницаемость V на стандартное атмосферное давление; G - массовая скорость потока водяного пара через образец (изменение массы чашки с образцом), г/ч; A - испытываемая площадь образца, м².

Атмосферное давление p , Па, в месте проведения измерений в ходе испытаний рассчитывают по формуле:

$$p = p_0 - \frac{h}{8,5} \quad (2.2)$$

где p_0 - стандартное атмосферное давление, Па ($p_0=101325$ Па); h - высота расположения лаборатории над уровнем моря, м.

Примечание - В расчетах паропроницаемости V воздушный зазор под пленкой в чашке не учитывают, поскольку его влияние на паропроницаемость свободных пленок пренебрежительно мало.

Коэффициент сопротивления паропроницанию рассчитывают по формуле:

$$\mu = \frac{s_d}{d} 10^6 \quad (2.3)$$

где d - толщина сухого покрытия, мкм; s_d – толщина воздушного слоя с эквивалентной паропроницаемостью, м.

Толщину воздушного слоя с эквивалентной паропроницаемостью для метода мокрой чашки, для которого $\Delta p_v = 1207$ Па, толщину воздушного слоя с эквивалентной паропроницаемостью вычисляют по формуле:

$$s_d = \frac{20,4}{V} \quad (2.4)$$

Коэффициент сопротивления паропроницанию – это безразмерный коэффициент паропроницаемости строительного материала. Он является относительным значением сопротивления материала паропереносу по сравнению со свойствами сопротивления паропереносу воздуха. Например, значение $\mu = 1$ для минеральной ваты означает, что она проводит водяной пар так же хорошо, как и воздух. А значение $\mu = 10$ для газобетона означает, что этот строительный материал проводит пар в 10 раз хуже воздуха.

Т.о., коэффициент паропроницаемости теплоизоляционного композиционного покрытия будет определяться по формуле:

$$\mu_n = \frac{\mu_g}{\mu} \quad (2.5)$$

где μ_g – коэффициент паропроницаемости воздуха, равный 0,625 мг/м·ч·Па.

2.1.4 Определение адгезионной прочности

Прочность сцепления композиционного теплоизоляционного покрытия с основанием (адгезия) определялась по ГОСТ 32299-2013 (ИСО 4624:2002) «Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва» [150].

Сущность метода заключается в определении предельного сопротивления отрыву покрытия от основания. В качестве основания использовались образцы кирпича керамического. Нанесение композиционного покрытия на подготовленную поверхность производилось с помощью кисти в два слоя. Отрыв дисков осуществлялся измерителем адгезии ПСО МГ4 (рисунок 2.4).



Рис. 2.4 Измеритель адгезии ПСО МГ4

Прибор оснащен электронным силоизмерителем, обеспечивающим индикацию текущего значения приложенной нагрузки с фиксацией максимального значения. В приборе предусмотрена возможность выбора размеров приклеиваемых стальных дисков (пластин). Прибор индицирует скорость нагружения и текущую нагрузку с автоматической фиксацией усилия отрыва. При этом обеспечивается автоматическое вычисление прочности сцепления по результатам нагружения (отрыва стального диска). Для проведения испытаний использовались диски диаметром 25 мм в соответствии с ГОСТ 31376. Диски приклеивались к поверхности покрытия

с помощью клея, после чего пленка прорезалось до основания по всему периметру диска.

2.1.5 Определение коэффициента теплопроводности

Для определения теплопроводности материалов использовался электронный измеритель теплопроводности ИТС-1. Прибор предназначен для определения теплопроводности и термического сопротивления строительных материалов методом стационарного теплового потока в соответствии с ГОСТ 7076-99 [151]. Общий вид прибора представлен на рисунке 2.5.



Рис. 2.5 Измеритель теплопроводности ИТС-1

Принцип действия прибора основан на создании проходящего через исследуемый плоский образец стационарного теплового потока. По величине этого теплового потока, температуре противоположных граней образца и его толщине вычисляется теплопроводность образца λ по формуле:

$$\lambda = \frac{d \cdot q}{\Delta T} \quad (2.6)$$

где d – толщина образца; q – плотность теплового потока, проходящего через образец; ΔT – разность температур между противоположными гранями образца. Термическое сопротивление R образца вычисляется по формуле:

$$R = \frac{\Delta T}{q} \quad (2.7)$$

Исследуемый образец должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда, лицевые грани которого – квадрат с размерами 150×150 мм. Толщина образца должна находиться в пределах 10...25 мм. Диапазон измерения теплопроводности от 0,02 до 1,5 Вт/м·К, погрешность ±5%.

Так как композиционные теплоизоляционные материалы представляют собой тонкослойные покрытия, с толщиной нанесения до 2 мм, измерение их теплопроводности с применением данного прибора возможно только путем нанесения их на подложку с известным коэффициентом теплопроводности. В качестве подложки использовались бетонные образцы, толщиной от 18 до 22 мм.

Методика определения коэффициента теплопроводности покрытия следующая.

1. Измеряется толщина бетонного образца-подложки (h_1). Проводится измерение термического сопротивления подложки известной толщины (R_1).
2. На подложку наносится 2 слоя теплоизоляционного композиционного покрытия.
3. После полного высыхания покрытия, измеряется толщина подложки с покрытием (h_2). Проводится измерение термического сопротивления подложки с покрытием (R_2).
4. По разности толщин подложки без покрытия и с покрытием определяется толщина покрытия (h_n):

$$h_n = h_2 - h_1 \quad (2.8)$$

5. Так как термическое сопротивление многослойной конструкции представляет собой сумму термических сопротивлений составляющих ее слоев, термическое сопротивление покрытия (R_n) вычисляется по формуле:

$$R_n = R_2 - R_1 \quad (2.9)$$

6. Коэффициент теплопроводности покрытия вычисляется как:

$$\lambda_n = \frac{\delta_n}{R_n} \quad (2.10)$$

2.1.6 Определение степени блеска

Степень блеска покрытий определялась с помощью фотоэлектрического блескомера серии Novo-Gloss (рисунок 2.6) в соответствии с требованиями ГОСТ 31975-2017 [152].



Рис. 2.6 Блескомер фотоэлектрический

Блеск определяется сравнением интенсивности отраженного света от тестовой поверхности и от стандартной поверхности. Угол измерения выбирается в зависимости от типа измеряемой поверхности в соответствие с таблицей 2.1. Источники освещения галогеновые лампы с вольфрамовой нитью с длительным сроком службы близки к источнику освещения С по СИЕ.

Таблица 2.1

Выбор угла измерения в зависимости от типа поверхности

Угол измерения	Тип поверхности
20°	Высокоглянцевые краски (автомобили), пластики, лак и полированный металл
60°	Универсален для красок, металлов, анодированного алюминия, пластиков и лака
85°	Матовые краски и камуфляж в авиации, военное использование, мебель и внутренняя отделка автомобилей.

Категория поверхности по степени блеска определяется в соответствии с ГОСТ 9.032-74 [153] (таблица 2.2).

Таблица 2.2

Классификация гладких однотонных покрытий по степени блеска

Степень блеска для покрытий					
высоко-глянцевых	глянцевых, в том числе с лессирующим эффектом	полу-глянцевых	полу-матовых	матовых	глубоко-матовых
Более 59	От 59 до 50	От 49 до 37	От 36 до 20	От 19 до 4	Не более 3

2.1.7 Методика проведения натуральных испытаний композиционных теплоизоляционных покрытий

Для подтверждения теоретических выводов и определения эффективности композиционного теплоизоляционного покрытия на основе алюминиевого пигмента и алюмосиликатных микросфер по сравнению с аналогами был проведен натуральный эксперимент. Испытания проведены в условиях строящегося объекта – административно-торгового комплекса, расположенного по ул. Одесская – Харьковская, г. Тюмень, представленного на рисунке 2.7.



Рис. 2.7 Административно-торговый комплекс, г. Тюмень

В период проведения экспериментальных работ отопительная система не работала. В обследуемых помещениях были установлены источники тепла – водяные нагреватели. Данные записывались в течении 15 суток, так как тепловой баланс помещения является переменной величиной.

Теплоизоляционные покрытия наносились методом лакокрасочной технологии на кирпичную стену, штукатурный слой на кирпиче отсутствовал. На конструкцию последовательно наносили 2 слоя покрытия. Т.к. температура воздуха в смежных помещениях была отрицательная конструкции потолка, пола, внутренней стены активно отводили тепло. В процессе измерений фиксировались значения температур: воздуха внутри и снаружи помещения; температуры поверхностей стены, как наружной, так и внутренней; плотность проходящего теплового потока.

Плотность тепловых потоков определялась с помощью электронного измерителя плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03 «Поток» Прибор предназначен для измерения плотности тепловых потоков, проходящих через однослойные и многослойные ограждающие конструкции зданий и сооружений [154-156] по ГОСТ 25380. Общий вид прибора представлен на рисунке 2.8.



Рис. 2.8 Общий вид прибора ИТП-МГ4.03 «Поток»

Принцип работы прибора основан на измерении перепада температуры на «вспомогательной стенке» (пластине) при прохождении через нее теплового потока. Этот температурный перепад, пропорциональный в направлении теплового потока его плотности, преобразуется в электрический сигнал с помощью ленточной термопары, расположенной внутри пластины. «Вспомогательная стенка» и ленточная термопара образуют преобразователь теплового потока.

2.2 Сырьевые материалы, применяемые в работе и их характеристика

2.2.1 Алюминиевый пигмент

В диссертационной работе в качестве алюминиевого пигмента применялась пигментная паста фирмы Ecart серии Hydroxal DC 5000. Пигментная паста представляет собой водную дисперсию, содержащую 65% алюминиевого пигмента с частичками в форме «серебрянный доллар» (рисунок 2.9). Пигментная паста предназначена для водных лакокрасочных покрытий, поэтому частицы пигмента инкапсулированы слоем прозрачного диоксида кремния. Плотность частиц алюминия 2500-2550 кг/м³.

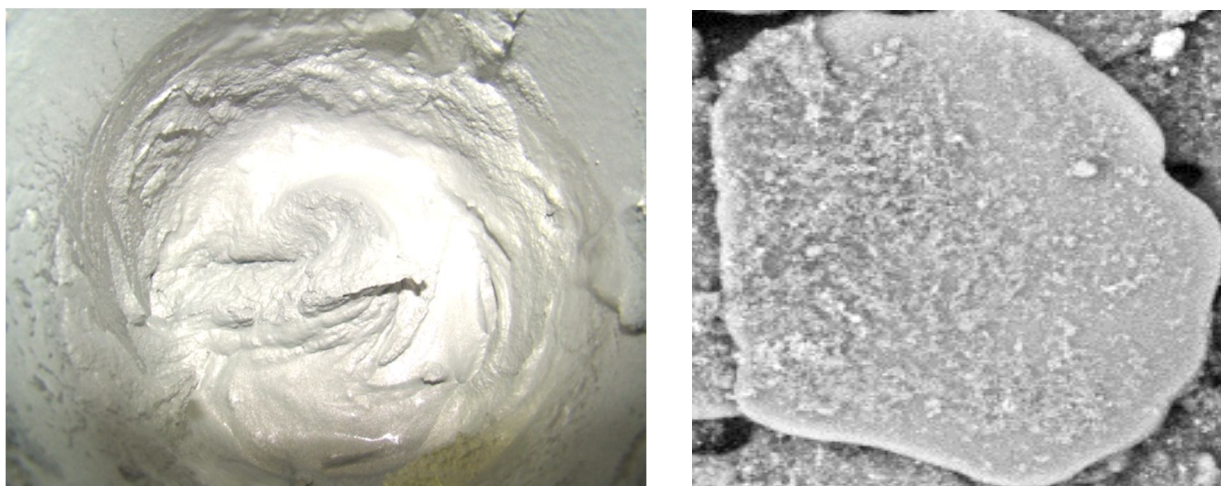


Рис. 2.9 Алюминиевая пигментная паста Hydroxal DC 5000

В пигментированных материалах имеет значение, как форма частиц пигмента, так и его дисперсный состав. Форма частиц оказывает влияние на внутренние напряжения в покрытии. Пластинчатые и чашуйчатые пигменты снижают внутренние напряжения в покрытии, обладают армирующим эффектом, и чем крупнее частицы, тем этот эффект выше [138]. Кроме того, пластинчатые пигменты повышают защитные свойства пленки, что связано с увеличением пути агрессивных сред при проникновении в структуры покрытия. Алюминиевые пигменты в покрытии располагаются параллельно поверхности, частично перекрывая друг друга, что подтверждается результатами микроскопического исследования (рисунок 2.10). Размер частичек пигмента 50-70 мкм.



Рис. 2.10 Частички алюминиевого пигмента на поверхности покрытия

Исследования гранулометрического состава алюминиевого пигмента, представленные на рисунке 2.11 подтверждают, что Средний размер частиц составляет 60 мкм, размах 1,03.

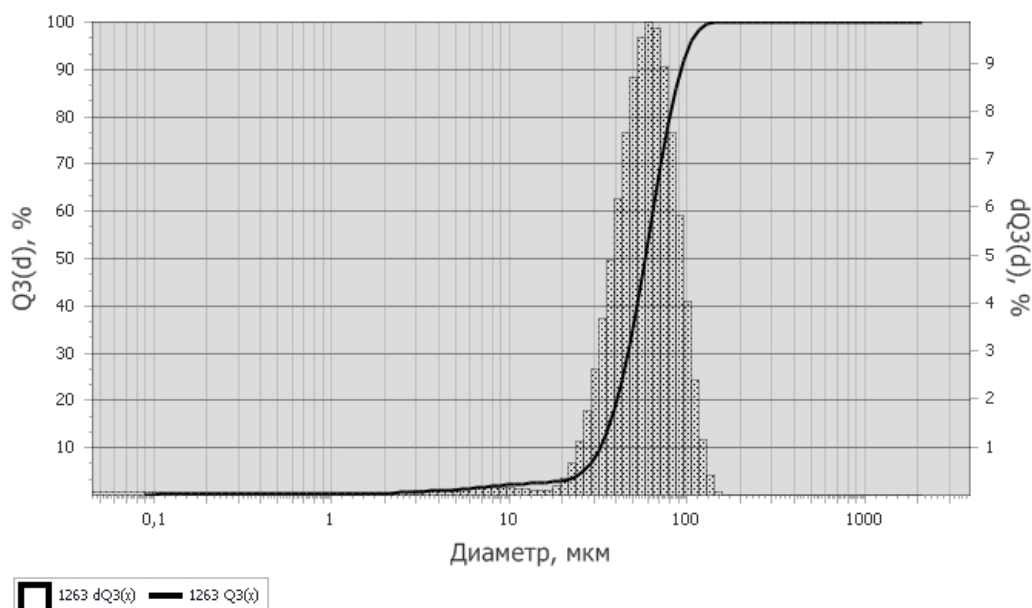


Рис. 2.11 Гранулометрический состав алюминиевого пигмента

2.2.2 Микросферический наполнитель

В процессе исследований использовались полые алюмосиликатные микросферы компании Инотек, марки Урал Экибастуз. Они представляют собой сыпучий тонкодисперсный порошок светло серого цвета (рисунок 2.12).



Рис. 2.12 Полые алюмосиликатные микросферы

Химический состав микросфер представлен в таблице 2.3, характеристики – в таблице 2.4.

Таблица 2.3

Химический состав полых микросфер

Оксид	Массовая доля, %
SiO ₂	58,0-68,0
Al ₂ O ₃	32,0-38,0
Fe ₃ O ₂	1,4 – 2,0
CaO	1,9
MgO	1,0
K ₂ O+Na ₂ O, не более	1,5

Таблица 2.4

Характеристики микросфер

Наименование показателя	Значение
Истинная плотность, г/см ³	0,6-0,8
Насыпная плотность, г/см ³	0,35-0,45
Твердость по Моосу	5-7
Значение pH	6-7

Компания Инотек предлагает алюмосиликатные микросферы, полученные от сжигания угля Экибастузского угольного бассейна различного фракционного состава: фракции 0-500 мкм, 100-500 мкм и 75-350 мкм.

Дисперсность, удельная поверхность и форма частиц наполнителей играет важную роль в формировании свойств композиционных покрытий. Реальные тонкодисперсные системы, как правило, полидисперсны, но степень их полидисперсности может быть различной. С одной стороны увеличение полидисперсности наполнителей не желательно, так как это приводит к снижению агрегативной устойчивости системы, вследствие увеличения вероятности столкновения частиц различного размера [138]. С другой стороны, степень упаковки полидисперсных частиц значительно выше степени упаковки монодисперсных порошков. Частицы меньшего размера занимают пространство между более крупными частицами, тем

самым КОКП краски увеличивается [136]. Наиболее предпочтителен гранулометрический состав наполнителя, имеющий размах около единицы.

Гранулометрический состав микросфер различных фракций, представлен на рисунках 2.13-2.15, и в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Результаты исследования гранулометрического состава
алюмосиликатных микросфер

Фракция микросфер	Мода	D[4,3]	Размах
0-500	129,27	115,2	1,26
100-500	129,27	129,7	0,87
75-350	157,21	152,8	1,00

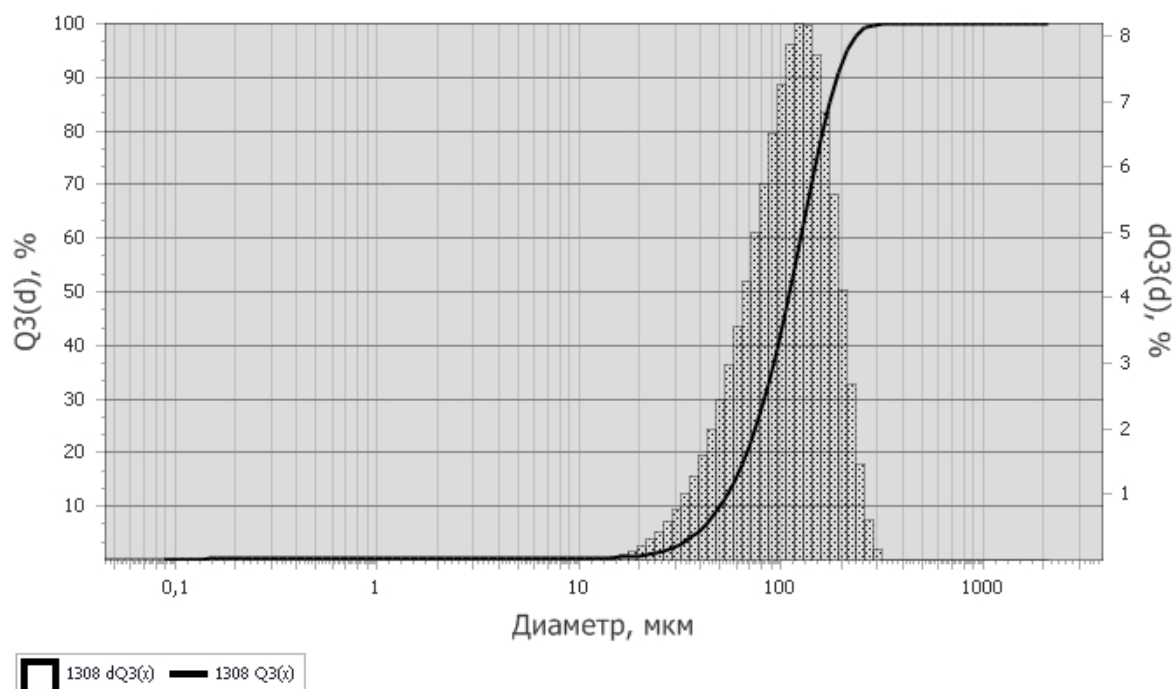


Рис. 2.13 Гранулометрический состав алюмосиликатных микросфер фракции 0-500 мкм

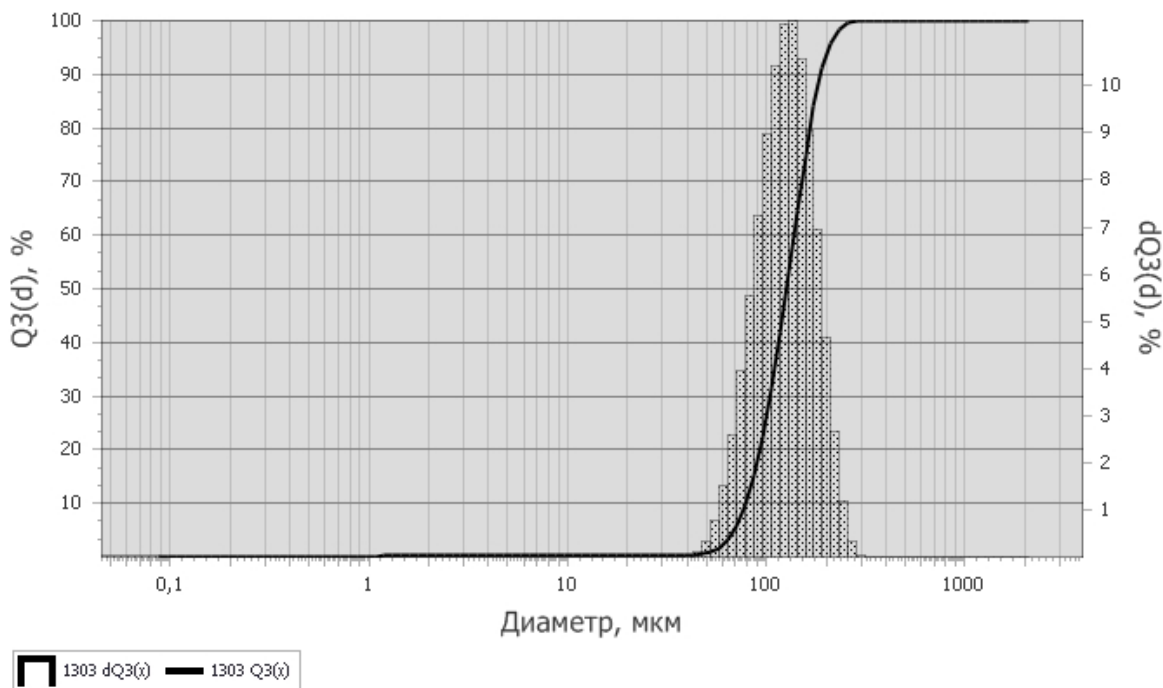


Рис. 2.14 Гранулометрический состав алюмосиликатных микросфер фракции 100-500 мкм

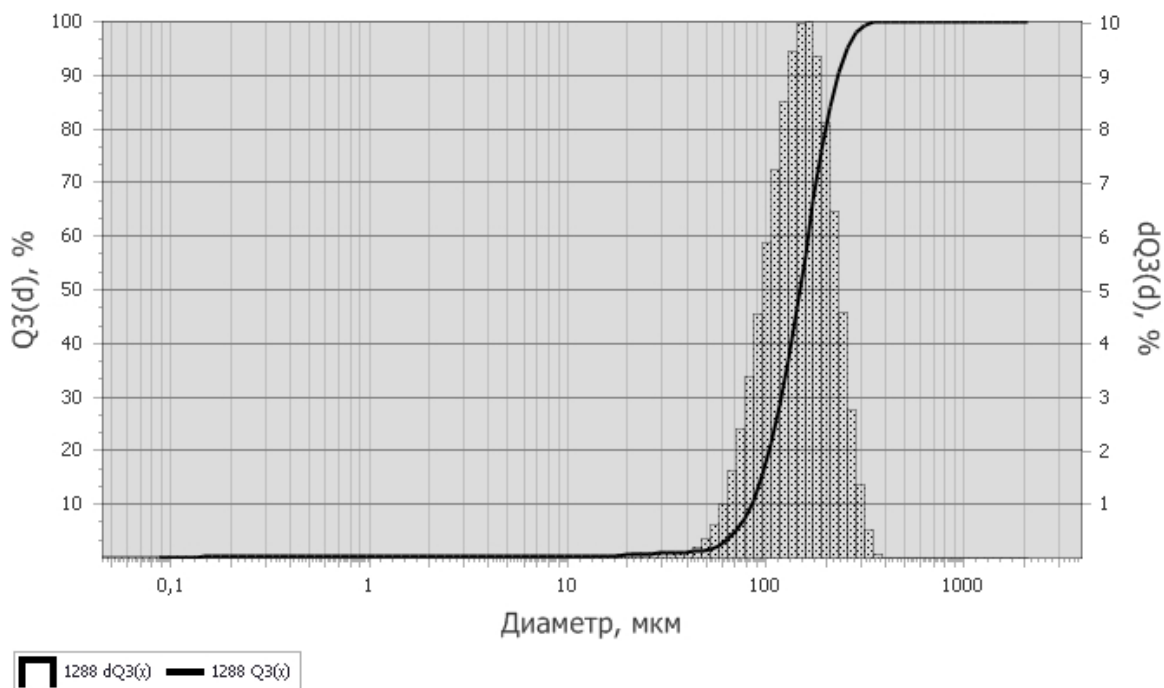


Рис. 2.15 Гранулометрический состав алюмосиликатных микросфер фракции 75-300 мкм

Анализ результатов анализа показал, что микросферы фракций 100-500 и 75-300 имеют меньшее количество частиц размером менее 100 мкм, а 90% частиц во всех фракциях имеют размер менее 250 мкм. Микросферы фракции

75-300 имеют размах 1,0, они наиболее предпочтительны в качестве наполнителя для композиционного теплоизоляционного покрытия.

2.2.3 Стирол-акриловая дисперсия

В качестве связующего использована тонкодисперсная стирол-акриловая дисперсия Акрилан 101. Характеристика представлена в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Характеристика стирол-акриловой дисперсии

Наименование показателя	Значение
Система эмульгатора	Неионогенная/анионная
Массовая доля нелетучих веществ, %	50±1
Массовая доля остаточных мономеров, %, не более	следы
Значение pH	7,5-9,0
Динамическая вязкость, мПа·с	200-1000
Средний размер частиц, мкм	0,1
Минимальная температура пленкообразования (МТП), °С	13-19
Водопоглощение свободной пленки полимера, %, не более	10
Плотность, г/см ³	1,04

2.2.4 Вспомогательные материалы (антивспениватель)

Для предотвращения вспенивания при перемешивании и образования пузырьков в покрытии при нанесении в систему ввозился пеногаситель ВУК-044. Он представляет собой смесь гидрофобных частиц и полисилоксанов. Пеногаситель вводился в композицию сверх основных компонентов в количестве 1%.

Выводы по главе 2

1) Исследование гранулометрического состава исходных компонентов осуществлялось с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц ANALYSETTE 22NanoTec.

2) Структура исходных компонентов и пленки композиционного теплоизоляционного покрытия изучалась с помощью растровой электронной микроскопии.

3) Исследование свойств композиционного теплоизоляционного покрытия выполнялось на современном поверенном и сертифицированном оборудовании в испытательной лаборатории «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «ТИУ».

4) Для проведения натуральных испытаний композиционных теплоизоляционных покрытий компанией ООО «СК «Союз» предоставлены помещения 1-го этажа строящегося объекта – административно-торгового комплекса, расположенного по ул. Одесская – Харьковская, г. Тюмень.

Глава 3. Разработка состава и исследование свойств композиционного теплоизоляционного покрытия на основе водной дисперсии полимера

Свойства композиционных материалов напрямую зависят от их степени наполнения пигментами и наполнителями. Концентрация пигментов и наполнителей в покрытии, при которой пленкообразователь полностью смачивает их поверхность, и заполняет все промежутки между ними называется критической объемной концентрацией пигментов и наполнителей КОКП. Как правило, с увеличением степени наполнения покрытия, его свойства плавно изменяются, а при достижении КОКП, либо происходит резкое изменение свойства, либо дальнейшего изменения практически не происходит. Т.е., наилучшие свойства пленки достигаются при степени наполнения ее пигментами и наполнителями чуть меньшей КОКП.

Поэтому основной задачей исследований является определение оптимальной степени наполнения композиционного теплоизоляционного покрытия методом критической объемной концентрации пигментов и наполнителей.

Основными характеристиками, важными для покрытия для внутренних работ являются водопоглощение пленки, укрывистость и адгезия к поверхности. На данные показатели в большей степени оказывает влияние содержание в покрытии микросферического наполнителя, поэтому, оценка количественного изменения свойств композиционного теплоизоляционного покрытия от степени наполнения выполнена при постоянном содержании алюминиевого пигмент.

На втором этапе исследований, состав удобообрабатываемого композиционного материала, необходимо оптимизировать исходя из обеспечения наилучших теплоизоляционных и декоративных свойств. Т.е., в диапазоне оптимальной степени наполнения необходимо определить

требуемое соотношение между микросферическим наполнителем и алюминиевым пигментом.

3.1 Исследование влияния степени наполнения композиционного теплоизоляционного покрытия пигментом и наполнителем на формирование структуры пленки

Критическую объемную концентрацию пигментов и наполнителей (КОКП) в рецептуре композиционных материалов можно оценить по изменению определенных свойств пленок на их основе. При превышении КОКП в рецептуре краски на поверхности покрытия появляются открытые поры (пустоты), при этом пленкообразователь способен образовывать только отдельные мостики и точки соприкосновения между частицами пигмента и наполнителя [101]. При объемной концентрации пигментов и наполнителей соответствующей КОКП достигается максимально плотная упаковка компонентов в пленке. В случае применения традиционных наполнителей, имеющих истинную плотность значительно выше плотности пленкообразователя, это выражается в получении максимальной плотности пленки при достижении ОКП близких к КОКП. Так как алюмосиликатные микросферы имеют истинную плотность ниже чем у стирол-акрилового полимера, то, даже при достижении максимально плотной степени упаковки, покрытие будет иметь плотность ниже плотности свободной пленки полимера. Поэтому в качестве критерия КОКП целесообразнее рассмотреть не плотность, а пористость покрытия, определяемую по отношению теоретической плотности, рассчитанной по методу абсолютных объемов и фактической плотности покрытия, определенной методом гидростатического взвешивания [101].

Так как КОКП стирол-акриловых водно-дисперсионных красок лежит в пределах от 40 до 80% [101], нахождение экстремума, при котором будет

достигнута максимально плотная упаковка компонентов пленки, проводилось в данном диапазоне.

Серии образцов готовились путем добавления к 100 гр. стирол-акрилового полимера, увеличивающегося количества микросферического наполнителя от 10 до до 80 гр., с шагом 5 гр. Так как при увеличении доли наполнителя происходит увеличение вязкости составов, регулирование консистенции краски до требуемой – 30 сек. по вискозиметру типа ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм [75, 157] осуществлялось путем добавления дистиллированной воды. При проведении эксперимента содержание алюминиевой пасты в составе композиции принято на одном уровне – 12 % по массе, которого визуалью достаточно для равномерного окрашивания.

Составы теплоизоляционной композиции на лабораторный замес представлены в таблице 3.1.

Для определения плотности и пористости выбраны 9 составов с увеличивающимся ОКП в диапазоне от 40 до 80 %. Из полученных составов готовились образцы в виде пленок [158] определенной толщины [159]. Составы теплоизоляционных композиций, приведенные к 100 гр. краски представлены в таблице 3.2.

Результаты определения плотности и пористости представлены в таблице 3.3 и на рисунке 3.1.

Таблица 3.1

Составы композиционного материала на лабораторный замес

№ состава	Содержание компонента, г				Масса краски, г	ОКП, %
	Стирол-акриловый полимер (П)	Алюмосиликатные микросферы (МС)	Вода	Алюминиевая паста, (АП)		
1	100	10	2	16	128	34
2	100	15	4	17	136	43
3	100	20	6	18	144	49
4	100	25	9	19	153	54
5	100	30	12	20	162	59
6	100	35	15	21	171	62
7	100	40	18	22	180	65
8	100	45	24	24	193	68
9	100	50	28	25	203	70
10	100	55	33	26	214	72
11	100	60	38	28	226	74
12	100	65	44	29	238	75
13	100	70	50	31	251	76
14	100	75	55	32	262	78
15	100	80	60	34	274	79

Таблица 3.2

Составы композиционного материала на 100 гр

№ состава	Содержание компонента, г				ОКП, %
	Стирол-акриловый полимер (П)	Алюмосиликатные микросферы (МС)	Вода	Алюминиевая паста (АП)	
1	74	11	2,9	12	43
2	70	14	4,2	12	49
3	65	16	5,9	12	54
4	62	19	7,4	12	59
5	56	22	10,0	12	65
6	49	25	13,8	12	70
7	44	27	16,8	12	74
8	40	28	19,9	12	76
9	37	29	21,9	12	79

Результаты эксперимента

№ состава	ОКП, %	Плотность теоретическая, г/см ³	Плотность фактическая, г/см ³	Пористость, %
1	43	0,946	0,831	13,3
2	49	0,900	0,811	10,8
3	54	0,864	0,788	9,7
4	59	0,835	0,768	9,2
5	65	0,791	0,693	13,5
6	70	0,760	0,653	17,2
7	74	0,737	0,593	24
8	76	0,719	0,538	33,2
9	79	0,704	0,504	40

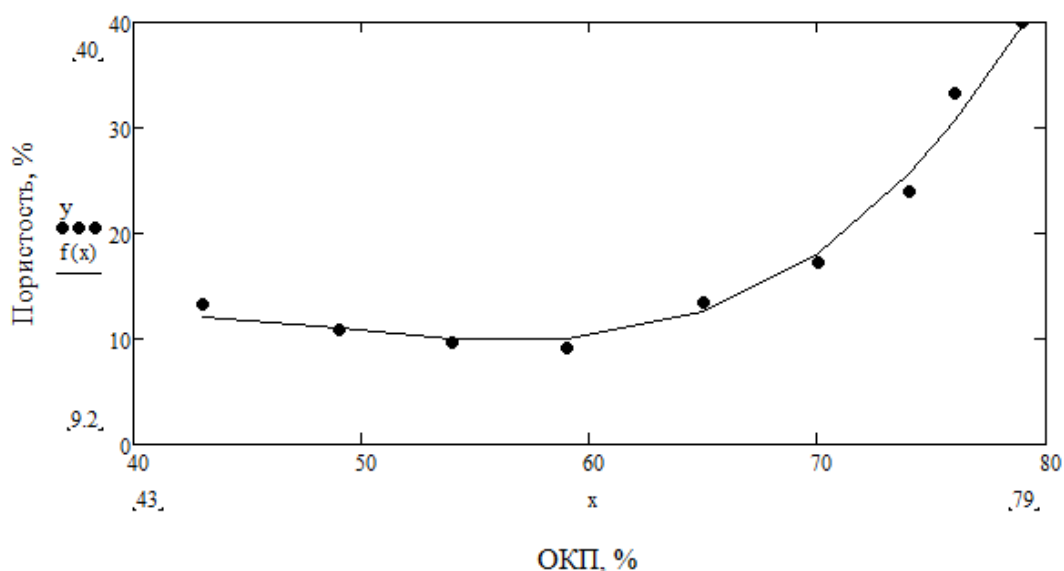


Рис. 3.1 Зависимость пористости покрытия от ОКП

$$f(x)=0,0014 \cdot x^3 - 0,207 \cdot x^2 + 10,05 \cdot x - 147,4$$

Полученные уравнения регрессии могут быть признаны адекватными при положительном результате анализа статистической значимости этих зависимостей. Для этого для каждого из полученных уравнений регрессии достаточно последовательно проверить две гипотезы:

H₀-гипотеза: полученное уравнение регрессии статистически значимо (надёжно) в условиях существующей выборки (данных измерений).

H_1 -гипотеза – проверяется, если в результате проверки гипотезы H_0 последняя не была опровергнута, и состоит в том, что коэффициент аппроксимации статистически значим для имеющейся выборки.

Для проверки обеих гипотез используется критерий Фишера, или F-критерий. Определяется фактическое значение $F_{\text{факт}}$ и сопоставляется с критическим (табличным) значением $F_{\text{табл}}$, которое связано с заданным числом степеней свободы, количеством измерений в выборке данных и заданным уровнем значимости α (выбран уровень значимости $\alpha = 0,05$) и определяется по таблице критических значений F-критерия. Если $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$, то рассматриваемая гипотеза (H_0 или H_1) принимается, а иначе – признается неверной (отвергается).

Рассмотрим полученные уравнения, аппроксимирующие связи изучаемых признаков.

Уравнение регрессии является полиномом третьей степени:

$$\langle y \rangle = f(x) = 0,001395 \cdot x^3 - 0,207435 \cdot x^2 + 10,05 \cdot x - 147,4$$

Таким образом, регрессия нелинейная.

Значение $F_{\text{факт}}$ в случае нелинейной регрессии вычисляется через значение коэффициента детерминации R (при этом удобнее оперировать квадратом этого коэффициента), связанное с соотношением значений обычной и остаточной дисперсий, рассчитанных на одну степень свободы:

$$F_{\text{факт}} = R^2 / (1 - R^2) * (n - m - 1) / m, \quad (3.1)$$

$$R^2 = 1 - [\sum (y_i - \langle y \rangle_i)^2 / \sum (y_i - y_{\text{ср}})^2]. \quad (3.2)$$

n – число измерений ($n = 9$),

m – число степеней свободы, равное числу коэффициентов при независимой переменной x в уравнении регрессии ($m = 3$),

$y_{\text{ср}}$ – среднее значение y в выборке,

$\langle y \rangle_i$ - значение уравнения регрессии (для i -го элемента выборки).

Результат вычисления коэффициента детерминации: $R^2 = 0,986$.
Соответственно, значение $F_{\text{факт}} = 119,07$.

Значение $F_{\text{табл}}$ для гипотезы H_0 выбирается для параметров $k_1 = m = 3$, $k_2 = n - m - 1 = 5$ (при принятом $\alpha = 0,05$) из таблицы критических значений F-критерия: $F_{\text{табл}} = 5,41$.

$F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Таким образом, гипотеза H_0 принимается, и можно признать не случайными, а надежными связь параметров X и Y и статистическую значимость уравнения регрессии.

Для гипотезы H_1 значение $F_{\text{табл}}$ выбирается для параметров $k_1 = 1$ и $k_2 = n - 2 = 7$ (при заданном $\alpha = 0,05$) из таблицы критических значений F-критерия: $F_{\text{табл}} = 5,59$.

Как и в случае гипотезы H_0 , для гипотезы H_1 $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Таким образом, гипотеза H_1 принимается, и можно признать статистически значимым значение коэффициента аппроксимации (коэффициента детерминации) для данного уравнения регрессии.

Минимальная пористость, а значит, максимально плотная упаковка компонентов пленки достигается при ОКП 59%. Исследование структуры покрытия, при различных ОКП (рисунки 3.2-3.5) показывает, что при ОКП 43 % полимерная матрица имеет некоторое количество пор, тогда как при ОКП 54%, пространство между микросферами полностью заполнено полимером, который не имеет пор. При ОКП пленки 65%, в структуре покрытия появляется небольшое количество пор, а при более высоких значениях ОКП, полимер уже не образует сплошную матрицу.

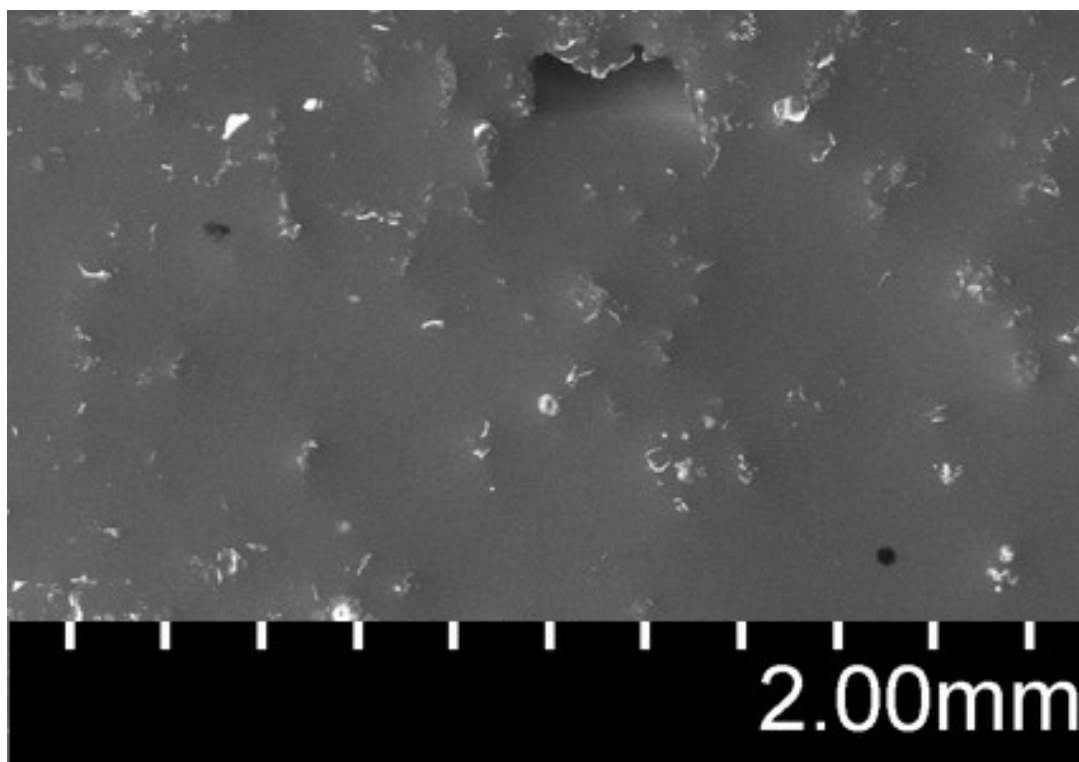


Рис. 3.2 Структура композиционного теплоизоляционного покрытия при ОКП 43% (состав №1)

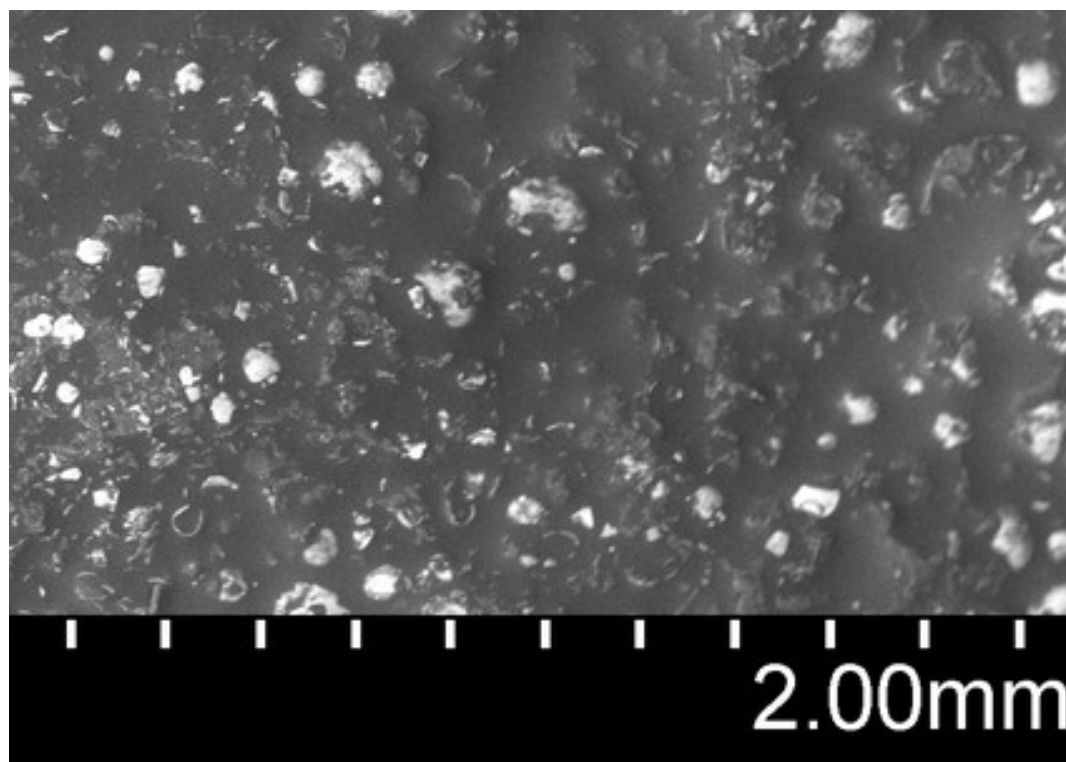


Рис. 3.3 Структура композиционного теплоизоляционного покрытия при ОКП 54% (состав №3)

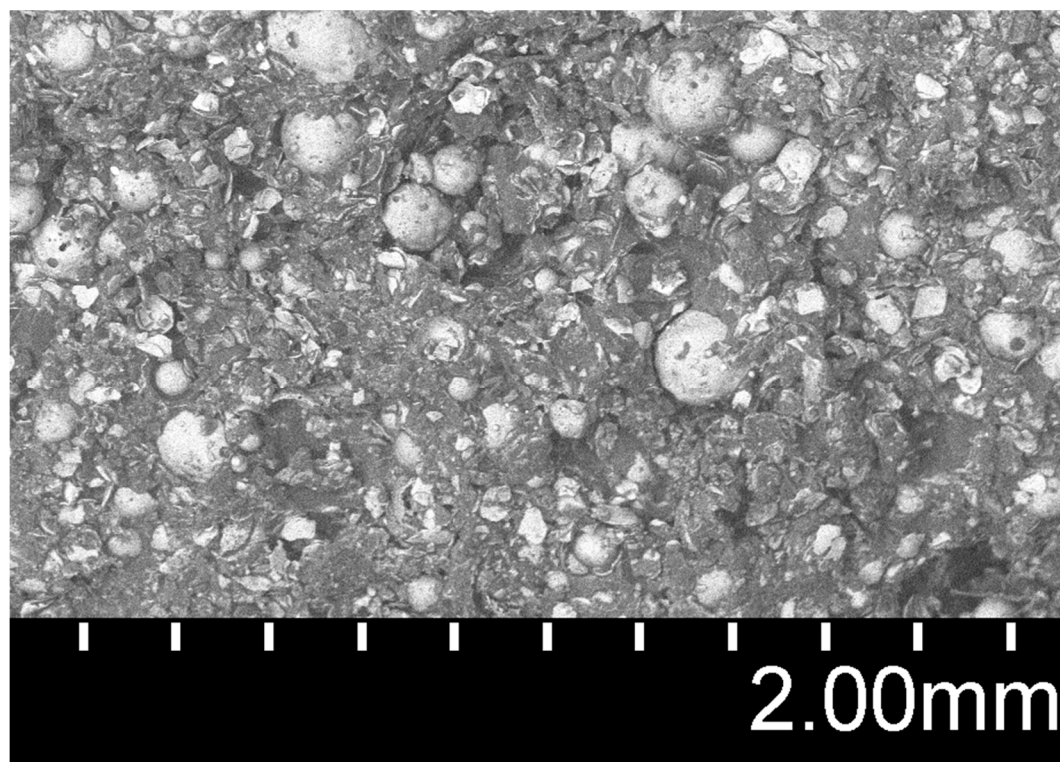


Рис. 3.4 Структура композиционного теплоизоляционного покрытия при ОКП 65% (состав №5)

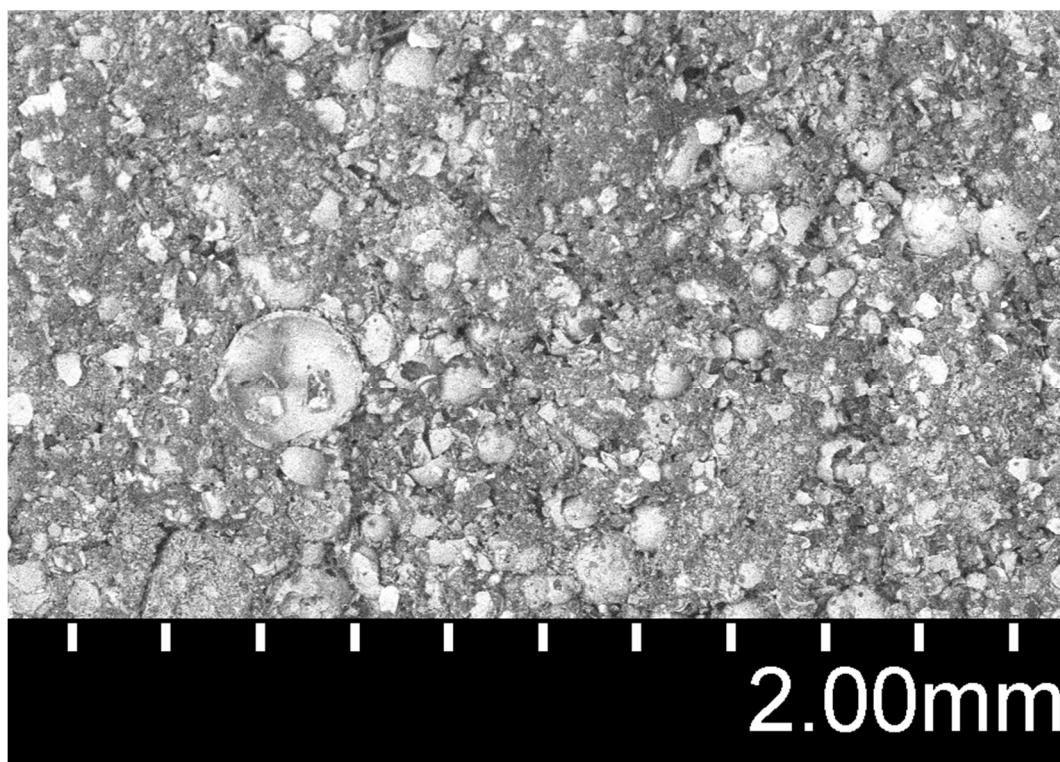


Рис. 3.5 Структура композиционного теплоизоляционного покрытия при ОКП 76% (состав №8)

3.2 Определение оптимальной степени наполнения композиционного теплоизоляционного покрытия на основании метода критической объемной концентрации пигмента и наполнителя

Наиболее важными параметрами, характеризующими свойства теплоизоляционной композиций для внутренних работ, являются укрывистость [160], адгезионная прочность [161], паропроницаемость [78, 79]. Данные свойства композиционного материала определяются как функция от ОКП. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Влияние степени наполнения композиционного теплоизоляционного покрытия на его свойства

№ состава	ОКП, %	Укрывистость, г/см ²	Адгезионная прочность, МПа	Коэффициент паропроницаемости, %
1	43	270	0,78	0,041
2	49	254	0,85	0,025
3	54	241	0,87	0,012
4	59	238	0,89	0,014
5	65	239	0,86	0,033
6	70	245	0,83	0,051
7	74	258	0,77	0,081
8	76	260	0,75	0,095
9	79	272	0,70	0,125

Несмотря на то, что плотность композиционного теплоизоляционного покрытия снижается с увеличением степени наполнения, укрывистость сухой пленки, снижаясь, переходит через минимум и после достижения ОКП 61 %, увеличивается (рисунок 3.6). Это объясняется тем, что при превышении КОКП, связующее не полностью заполняет пространство между частицами микросферического наполнителя, что приводит к их агрегатированию, образованию комков, неравномерному прокрашиванию, и, как следствие, увеличению толщины пленки.

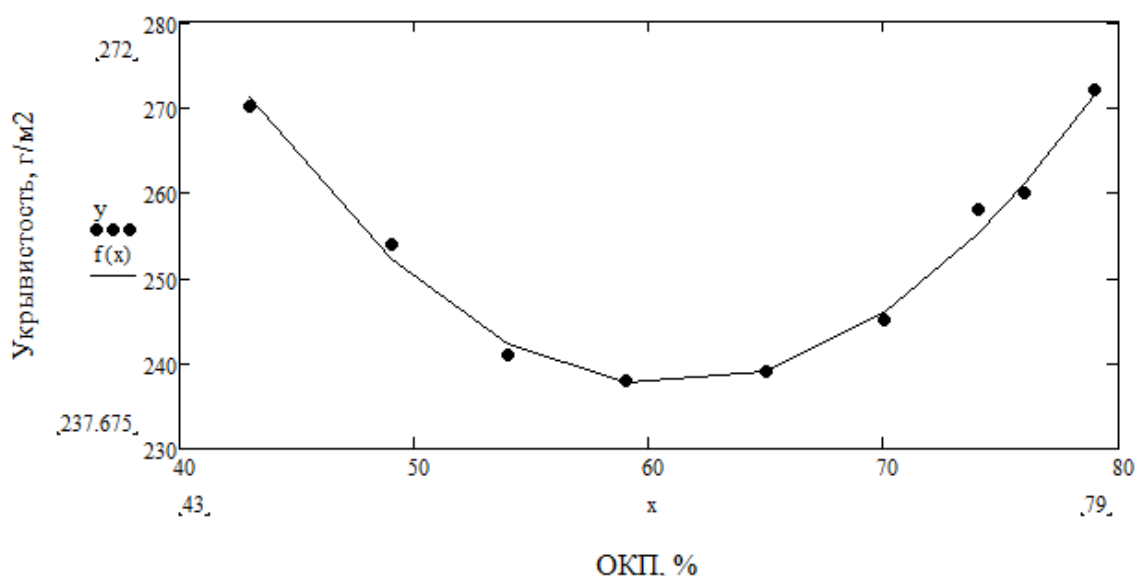


Рис. 3.6 Зависимость укрывистости композиционного теплоизоляционного покрытия от ОКП

$$f(x)=0,105 \cdot x^2 - 12,8 \cdot x + 627$$

Зависимость нелинейная и представлена полиномом второй степени:

Число измерений $n = 9$, число коэффициентов аппроксимации $m = 2$. Согласно формулам (23) и (24), $R^2 = 0,986$ и $F_{\text{факт}} = 217,6$.

Для выбранного порога ошибки $\alpha = 0,05$ для проверки гипотезы H_0 применительно к уравнению регрессии параметры $k_1 = m = 2$, $k_2 = n - m - 1 = 6$ определяют критическое значение критерия Фишера $F_{\text{табл}} = 5,14$. Итак, $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Гипотеза H_0 принимается, связь параметров X и Y признаётся надёжной, а уравнение регрессии - статистически значимым. Проверка гипотезы H_1 для этого же уравнения аппроксимации при том же уровне значимости α и значениях параметров $k_1 = 1$, $k_2 = n - 2 = 7$ и соответствующем критическом значении F-критерия $F_{\text{табл}} = 5,59$ приводит к тому, что она (гипотеза) тоже принимается, а коэффициент R признаётся статистически значимым.

Адгезионная прочность композиционного теплоизоляционного покрытия определялась на поверхности керамического кирпича. Адгезионная прочность увеличивается вплоть до достижения КОКП, а затем снижается (рисунок 3.7). Объясняется это тем, что при степени наполнения меньшей КОКП, полимерная матрица имеет поры, которые уменьшают площадь

контакта связующего с подложкой (рисунок 3.8). При превышении КОКП связующего недостаточно, чтобы образовать сплошной полимерный слой на подложке. Оптимальная степень наполнения, обеспечивает минимальную пористость полимерной матрицы, заполняющей пространство между частицами наполнителя и между наполнителем и подложкой, обеспечивая сплошной адгезионный слой (рисунок 3.9).

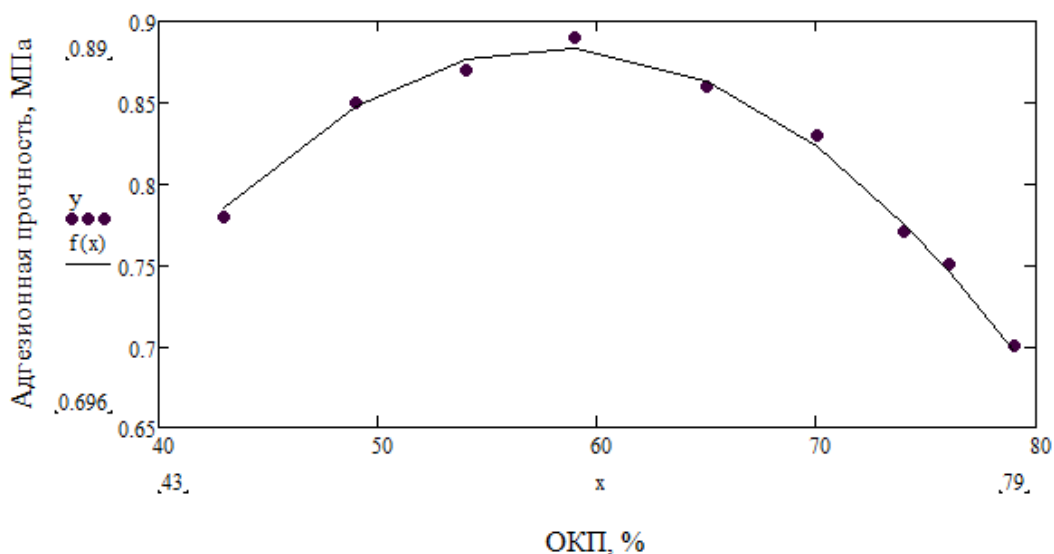


Рис.3.7 Зависимость адгезионной прочности композиционного теплоизоляционного покрытия от ОКП

$$f(x) = -0,00043 \cdot x^2 + 0,05 \cdot x - 0,57$$

Зависимость, как и предыдущая выражена полиномом второй степени.

При числе измерений $n = 9$ и числе коэффициентов аппроксимации уравнения регрессии $m = 2$, значение коэффициента детерминации, и после возведения в квадрат очень близкое к единице ($R^2 = 0,993$), позволяет судить о том, что гипотезы H_0 и H_1 принимаются, еще до их проверки, т.к. число измерений и иных степеней свободы - те же, что и в случае предыдущей зависимости, у которой коэффициент детерминации в большей степени отличается от единицы. Полученное при расчете значение критерия Фишера $F_{\text{факт}} = 425$. Как и в предыдущих двух случаях, примем уровень значимости равным 0,05. Проверка гипотезы H_0 : $k_1 = 2$, $k_2 = 6$, $F_{\text{табл}} = 5,14$, $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Проверка гипотезы H_1 : $k_1 = 1$, $k_2 = 7$, $F_{\text{табл}} = 5,59$, $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Для обеих

гипотез полученное значение F-критерия на порядок превышает его критические значения ($F_{\text{факт}} \gg F_{\text{табл}}$). Обе гипотезы принимаются: связь параметров X и Y и значение коэффициента детерминации R уравнения признаются статистически значимыми для имеющейся выборки.

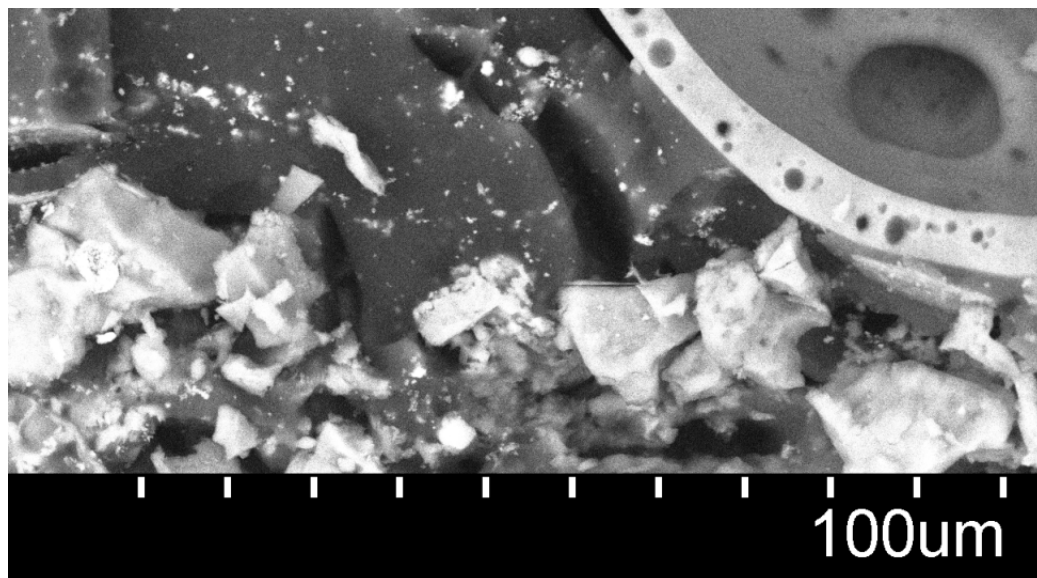


Рис. 3.8 Адгезионный слой композиционного теплоизоляционного покрытия на поверхности керамического кирпича про ОКП 43% (состав №1)

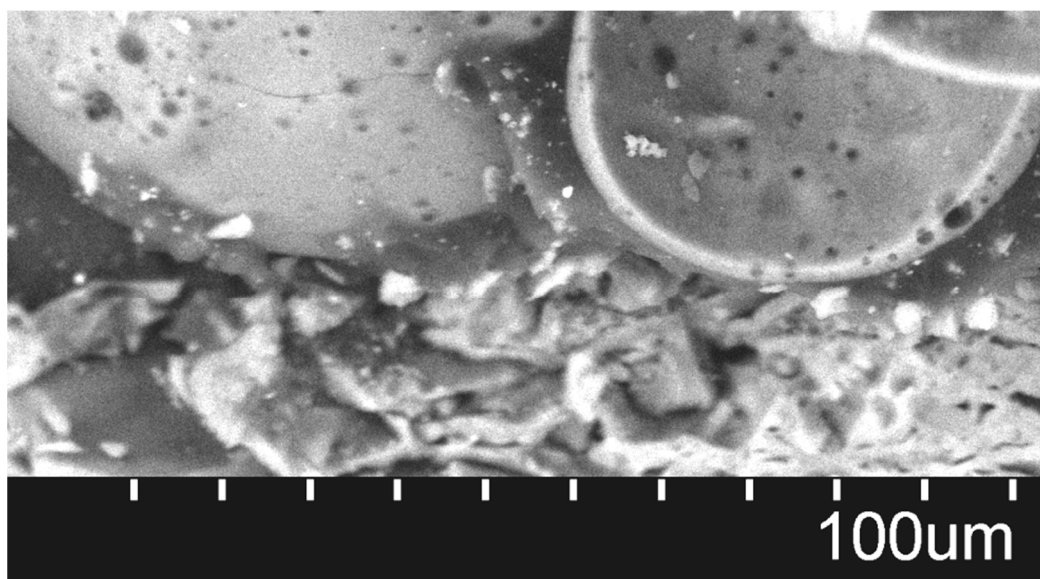


Рис. 3.9 Адгезионный слой композиционного теплоизоляционного покрытия на поверхности керамического кирпича про ОКП 59% (состав №4)

В многослойных наружных ограждающих конструкциях слои должны располагаться в такой последовательности, чтобы убывало их сопротивление паропрооницанию по направлению снаружи внутрь [61]. Так как,

теплоотражающее покрытие наносится на внутреннюю поверхность ограждающей конструкции, то оно должно обладать как можно более низким коэффициентом паропроницаемости.

Паропроницаемость материала зависит от структуры материала, от его пористости и от характера пор. Минимальная пористость достигается при ОКП покрытия 59%, а минимальная паропроницаемость соответствует степени наполнения 56% (рисунок 3.10). Кроме того, зависимость изменения пористости от ОКП не повторяет зависимость изменения паропроницаемости. Это говорит о модификации структуры полимера, заполняющего пространство между зернами наполнителя при увеличении ОКП. До ОКП покрытия 56% паропроницаемость снижается более активно, чем общая пористость, что говорит об уплотнении структуры полимера. После степени наполнения 56%, паропроницаемость увеличивается, хотя общая пористость продолжает снижаться до ОКП 59%. Это свидетельствует о перераспределении пор в сторону увеличения доли капиллярных пор и о начале процессов разрыхления полимера вблизи частиц наполнителя.

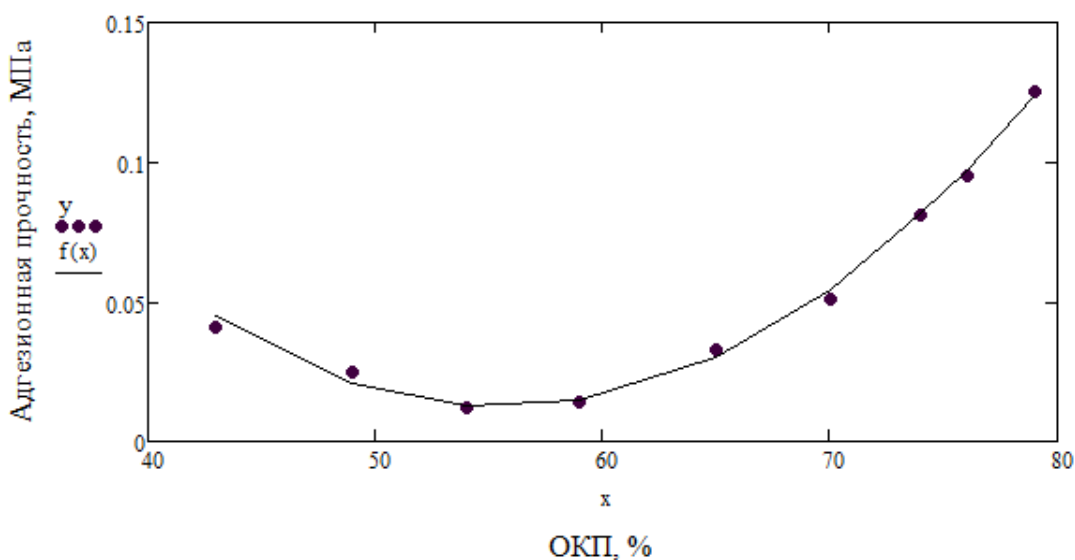


Рис. 3.10 Зависимость паропроницаемости пленки композиционного теплоизоляционного покрытия от ОКП

$$f(x)=0,000205 \cdot x^2 - 0,0228 \cdot x + 0,646$$

Уравнение аппроксимации является уравнением-полиномом второй степени. Степени свободы: $n = 10$, $m = 2$. Значение квадрата коэффициента детерминации $R^2 = 0,995$, соответственно, критерий Фишера $F_{\text{факт}} = 651$, что более, чем в 10 раз превышает критические значения F-критерия для указанных параметров. Предсказуемо поэтому, что связь признаков X и Y в уравнении аппроксимации статистически устойчива, а коэффициент детерминации R статистически значим. Действительно, $F_{\text{факт}} \gg F_{\text{табл}}$ для обеих гипотез H_0 и H_1 . Обе гипотезы, в условиях выборки данных, принимаются.

На основании количественных зависимостей свойств композиционного теплоизоляционного покрытия от состава можно сделать вывод, что наилучшие свойства пленки достигаются в диапазоне ОКП 54-62%.

3.3 Оптимизация состава композиционного теплоизоляционного покрытия с позиции обеспечения наилучших теплоизоляционных и декоративных характеристик

Оптимизация состава композиционного теплоизоляционного материала по наиболее важным для теплоизоляционного материала для внутренней отделки помещений параметрам: коэффициенту теплопроводности (λ) и степени блеска (Б) выполнена в диапазоне степени наполнения покрытия 54-62%. На данные характеристики оказывает влияние как общая объемная концентрация пигментов и наполнителей, так и доля алюминиевой пигментной пасты. Доля алюминиевой пигментной пасты (АП) варьировалась от 10 до 20 % по массе. Матрица плана эксперимента представлена в таблице 3.5.

Матрица плана эксперимента

№ состава	Значение переменных в кодированном выражении		Значение переменных в натуральном выражении	
	X ₁	X ₂	ОКП, %	АП, %
1	-1	-1	54	10
2	-1	0	54	15
3	-1	+1	54	20
4	0	-1	58	10
5	0	0	58	15
6	0	+1	58	20
7	+1	-1	62	10
8	+1	0	62	15
9	+1	+1	62	20

Содержание компонентов на 100 гр композиции представлены в таблице 3.6, результаты эксперимента – в таблице 3.7.

Таблица 3.6

Составы композиционного теплоизоляционного материала на 100 гр.

№ состава	Содержание компонента, г				ОКП, %
	Стирол-акриловый полимер (П)	Алюмосиликатные микросферы (МС)	Вода (В)	Алюминиевая паста (АП)	
1	66,7	16,7	6,7	10,0	54,0
2	63,5	15,2	6,3	15,0	54,0
3	60,2	13,7	6,0	20,0	54,0
4	64,5	19,1	6,4	10,0	58,0
5	61,4	17,5	6,1	15,0	58,0
6	58,2	16,0	5,8	20,0	58,0
7	62,0	21,8	6,2	10,0	62,0
8	59,0	20,1	5,9	15,0	62,0
9	55,9	18,5	5,6	20,0	62,0

Результаты эксперимента

№ состава	Значение переменных		Значение выходных параметров	
	ОКП, %	АП, %	λ , Вт/м·К	Б, единиц
1	54	10	0,047	24
2	54	15	0,074	36
3	54	20	0,094	49
4	58	10	0,041	23
5	58	15	0,068	36
6	58	20	0,082	48
7	62	10	0,039	12
8	62	15	0,059	25
9	62	20	0,074	37

После обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов получены коэффициенты полиномиальных уравнений для коэффициента излучения и коэффициента теплопроводности композиционного теплоизоляционного покрытия:

$$\lambda = -0,098 + 0,0051 \cdot \text{ОКП} - 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot \text{ОКП}^2 + 0,045 \cdot \text{АП}$$

$$B = -1026 + 36,8 \cdot \text{ОКП} - 0,33 \cdot \text{ОКП}^2 + 2,5 \cdot \text{АП}$$

Уравнения регрессии являются полиномом второй степени. Для вычисления коэффициента детерминации и критерия Фишера по полученным зависимостям рассчитаны значения Б (таблица 3.8) и λ (таблица 3.9).

Результат вычисления коэффициента детерминации:

- для зависимости Б – $R^2 = 0,97$;

- для зависимости λ – $R^2 = 0,96$;

n – число измерений ($n = 9$),

m – число степеней свободы, равное числу независимых переменных в уравнении регрессии ($m = 2$),

Соответственно, значение критерия Фишера:

- для зависимости Б – $F_{\text{факт}} = 84,67$;

- для зависимости $\lambda - F_{\text{факт}} = 65,05$;

Значение $F_{\text{табл}}$ выбирается для параметров $k_1 = m = 2$, $k_2 = n - m - 1 = 6$ (при принятом $\alpha = 0,05$) из таблицы критических значений F-критерия: $F_{\text{табл}} = 5,14$.

Для данных зависимостей $F_{\text{факт}} > F_{\text{табл}}$. Таким образом, можно признать не случайными, а надежными связь параметров ОКП и АП со степенью блеска и коэффициентом теплопроводности и статистическую значимость уравнений регрессии.

Таблица 3.8

Статистическая обработка результатов эксперимента

№ состава	Б, единиц		$(B_э - B_p)^2$
	экспериментальное	расчетное	
1	25	24	1
2	38	36	4
3	48	49	1
4	22	23	1
5	32	36	16
6	49	48	1
7	14	12	4
8	23	25	4
9	40	37	9

Таблица 3.9

Статистическая обработка результатов эксперимента

№ состава	λ		$(\lambda_э - \lambda_p)^2$
	экспериментальное	расчетное	
1	0,047	0,047	0
2	0,074	0,070	1,6E-05
3	0,094	0,092	4E-06
4	0,041	0,041	0
5	0,068	0,063	0,000025
6	0,082	0,086	1,6E-05
7	0,039	0,033	0,000036
8	0,059	0,055	0,000016
9	0,074	0,078	0,000016

По полученных регрессионных зависимостей построены изоповерхности изменения свойств от степени наполнения и доли алюминиевой пигментной пасты (рисунок 3.11 и 3.12).

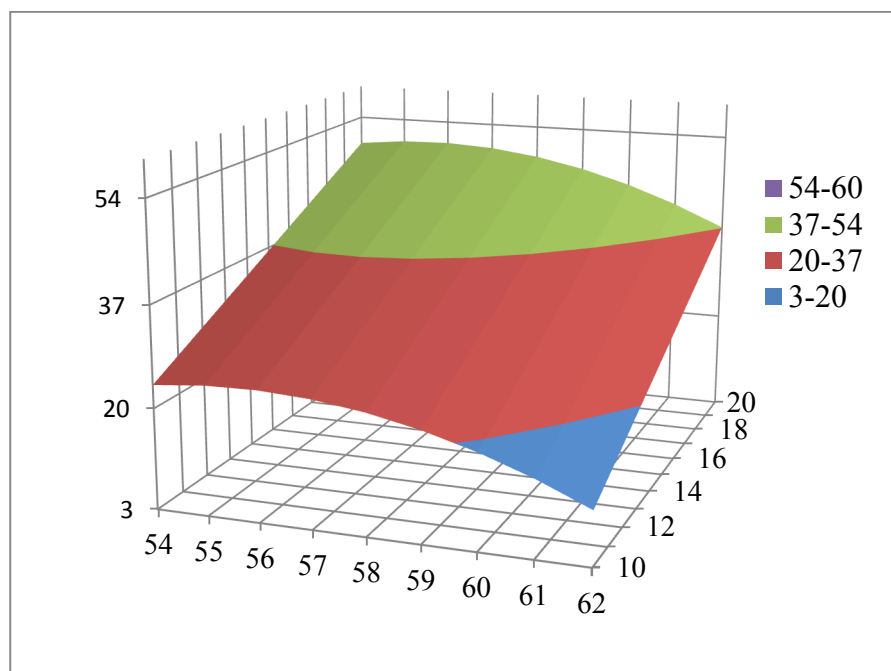


Рис. 3.10 Влияние состава на степень блеска композиционного теплоизоляционного покрытия

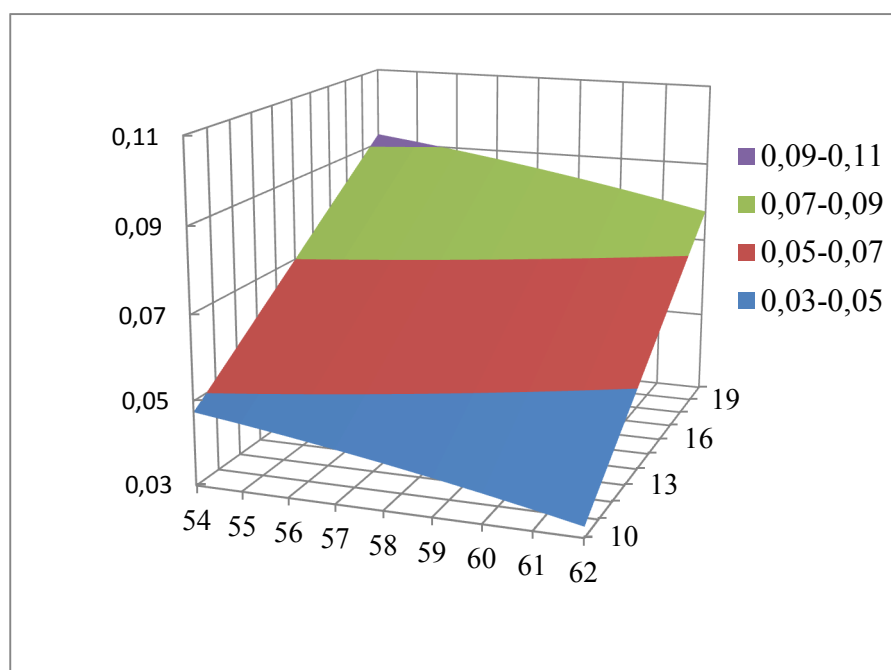


Рис. 3.11 Влияние состава на коэффициент теплопроводности композиционного теплоизоляционного покрытия

Анализируя зависимость коэффициента теплопроводности от состава, можно сделать вывод, что с увеличением доли алюминиевой пигментной пасты происходит повышение коэффициента теплопроводности. Объясняется это тем, что, во-первых, при сохранении общей степени наполнения увеличение доли алюминиевого пигмента влечет уменьшение количества низко теплопроводного наполнителя – алюмосиликатных микросфер в составе; во-вторых, алюминиевый пигмент имеет больший коэффициент теплопроводности по сравнению с остальными компонентами покрытия. В диапазоне оптимальной степени наполнения покрытия коэффициент теплопроводности изменяется не значительно.

С увеличением ОКП до 56% степень блеска композиционного теплоизоляционного материала возрастает, после чего значительно падает. Это обусловлено повышением шероховатости и пористости поверхности покрытия при степени наполнения близкой и большей критического значения. Увеличение доли алюминиевого пигмента приводит к повышению степени блеска. Частицы алюминия ориентируются параллельно поверхности, отражают световое излучение, тем самым увеличивая глянецовость покрытия.

Таким образом, можно сделать вывод, что коэффициент теплопроводности и степень блеска имеют обратный характер зависимости от компонентного состава. Для получения композиционного материала с наилучшими теплоизоляционными и эксплуатационными свойствами необходимо найти баланс между двумя этими характеристиками.

В диапазоне степени наполнения от 55 до 57% и содержании алюминиевой пигментной пасты 15-16% обеспечивается коэффициент теплопроводности композиционного материала 0,65-0,68 Вт/м·К, что ниже, чем у аналогов, при этом достигается степень блеска 37-38 единиц, что позволяет перевести покрытие в категорию полуглянцевое.

3.4 Оптимальный состав и свойства композиционного теплоизоляционного покрытия

На основании полученных зависимостей определен оптимальный состав композиционного теплоизоляционного покрытия (таблица 3.10), свойства которого представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.10

Состав композиционного теплоизоляционного материала, на 1 кг

№ п.п.	Наименование компонента	Содержание, г
1	Стирол-акриловая дисперсия	613-630
2	Алюмосиликатные микросферы	157-169
3	Алюминиевая пигментная паста	150-160
4	Вода	61-63

Таблица 3.11

Свойства композиционного теплоизоляционного материала

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Плотность покрытия, кг/м ³	800
2	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,065-0,68
3	Степень блеска, единиц	37-38
4	Время высыхания до степени 3 при Т (20±2)°С, ч	0,5
5	Укрывистость, г/м ²	239
6	Условная вязкость при температуре (20,0 ± 0,5) °С по вискозиметру ВЗ-246 диаметром сопла 4 мм, с, не менее	35
7	Адгезия покрытия, МПа: - к металлу; - к бетону, к кирпичной кладке	0,76 0,88
8	Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	0,012

3.5 Технологическая схема производства композиционного теплоизоляционного материала

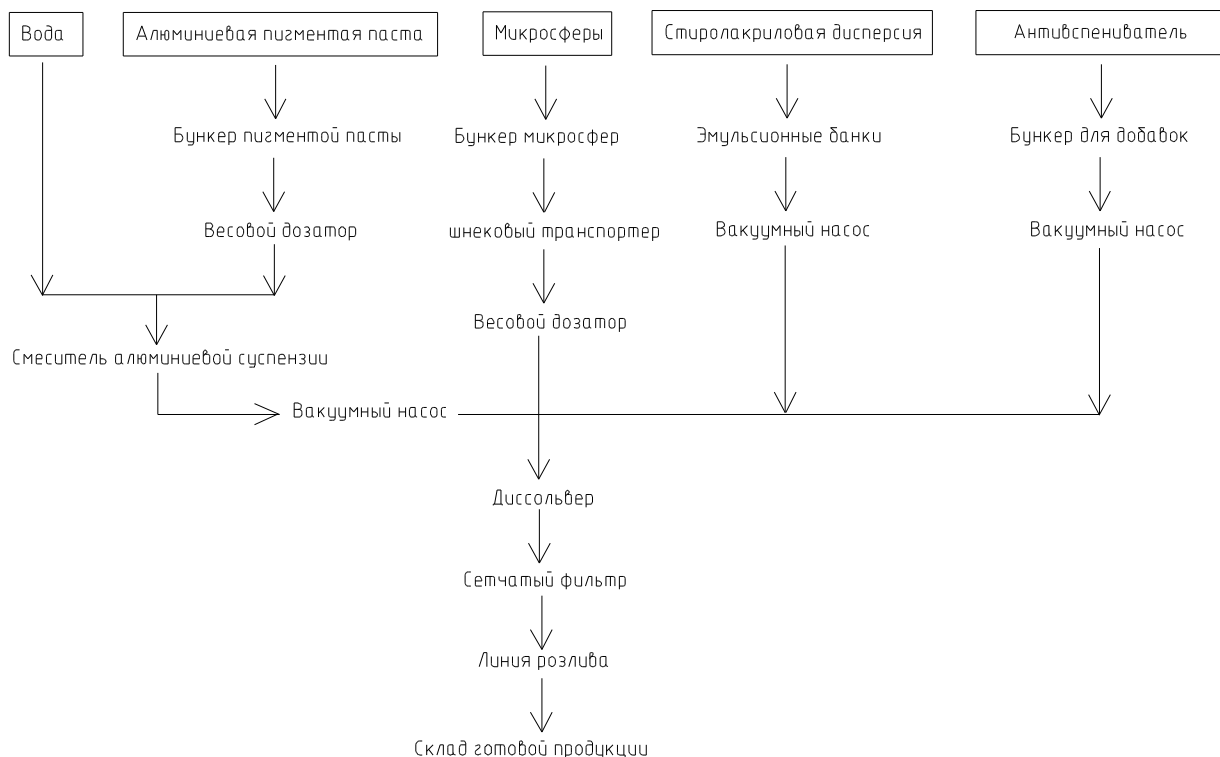


Рис. 3.12 Технологическая схема производства композиционного теплоизоляционного материала

Приготовление водно-дисперсионной композиции с применением готовой пигментной пасты можно разделить на 3 этапа.

1 Этап. Приготовление алюминиевой суспензии.

Пигментная паста из бункера весовым шнековым дозатором (рисунок 31) и требуемое количество воды подается в емкость для приготовления суспензии, где перемешивается до полной гомогенизации 20-30 мин.

2 Этап. Составление композиционного материала.

Требуемое количество акриловой дисперсии вакуумным насосом подается в диссольвер, после чего туда же загружаются микросферы, алюминиевая суспензия и пеногаситель. Перемешивание осуществляется со скоростью 60-70 об/мин. а течение 10-15 мин.

3 Этап. Типизация и фасовка.

Для очистки композиции от посторонних включений осуществляется процесс ее фильтрации через систему сетчатых фильтров при подачи на линию розлива.



Рис. 3.13 Шнековый дозатор алюминиевой пасты

Выводы по главе 3

1) На основании метода критической объемной концентрации пигментов и наполнителей определено, что максимально плотная упаковка компонентом пленки композиционного теплоизоляционного покрытия достигается при степени наполнения 59%.

2) С помощью растровой электронной микроскопии изучено влияние степени наполнения композиционного теплоизоляционного материала на структуру пленки на его основе. Показано, что при ОКП значительно меньшей критической, полимерная матрица имеет некоторое количество пор, тогда как при ОКП близкой к оптимальной, пространство между

микросферами полностью заполнено полимером, без пор и пустот. При превышении оптимальной степени наполнения происходят процессы разрыхления структуры полимера вблизи частиц наполнителя, а при ОКП значительно больших критического значения полимера уже не достаточно, чтобы заполнить все пространство между зернами пигмента и наполнителя.

3) Получены количественные зависимости изменения свойств композиционного теплоизоляционного материала от состава. Определено, что наилучшие свойства покрытия достигаются в диапазоне ОКП 54-62%.

4) Установлены закономерности комплексного влияния компонентов теплоизоляционного материала на его коэффициент теплопроводности и степень блеска покрытия на его основе. Получены многофакторные математические модели, позволяющие прогнозировать коэффициент теплопроводности и степень блеска композиционного теплоизоляционного материала.

5) Определен оптимальный состав композиционного теплоизоляционного материала, содержащий следующие компоненты, % по массе: стирол-акриловая дисперсия – 61,3-63,0%; полые алюмосиликатные микросферы – 15,7-16,9%; алюминиевая пигментная паста – 15-16%; вода – 6,1-6,3%. Плотность покрытия на основе данного состава составляет 800 кг/м³, укрывистость – 239 г/м², адгезионная прочность не менее 0,76 МПа, паропроницаемость – 0,012 мг/(м·ч·Па), степень блеска 37-38 единиц, коэффициент теплопроводности 0,065-0,068 Вт/м·К.

6) Разработана технологическая схема производства композиционного теплоизоляционного материала на основе водной дисперсии полимера, полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевой пигментной пасты. Использование в качестве пигмента готовой к применению пигментной пасты исключает необходимость операции диспергирования.

Глава 4. Оценка теплотехнической и экономической эффективности композиционного теплоизоляционного материала

4.1 Расчет примерной стоимости композиционного теплоизоляционного материала

Расчет стоимости сырьевых материалов для производства лакокрасочного теплоизоляционного покрытия выполнен в ценах 2018 г. и представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Стоимость сырья для производства лакокрасочного теплоизоляционного покрытия

Наименование материала	Цена за кг, руб.	Расход на 1 кг краски, кг	Стоимость на 1 кг краски, руб.
Акрилан 101	60	0,63	37,8
Микросферы	11	0,16	1,8
Алюминиевый пигмент	480	0,15	72
Итого			111,6

Так как стоимость сырьевых материалов составляет 60-70 % от полной себестоимости продукции, то примем, что себестоимость лакокрасочного теплоизоляционного покрытия примерно составит 186 руб. Тогда с учетом рентабельности 30%, стоимость лакокрасочного теплоизоляционного покрытия составит 250 руб. за 1 кг. Стоимость ближайшего аналога составляет 420 руб. за 1 кг.

4.2 Оценка эффективности композиционного теплоизоляционного покрытия по сравнению с аналогами

Основными показателями, характеризующими эффективность композиционного теплоизоляционного материала для декоративной отделки помещений, являются коэффициент теплопроводности и степень блеска покрытия на его основе. Для оценки эффективности разработанного покрытия по сравнению с аналогами необходимо выполнить измерение данных показателей аналогов, используя предложенные ранее методики.

В качестве образцов сравнения использовались теплоизоляционные покрытия белого цвета, зарубежного производства марки «Thermal-CoatTM» и российского производства, марки «Изолат». Результаты определения характеристик аналогов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Сравнительная характеристика композиционных теплоизоляционных материалов

Вид покрытия	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	Степень блеска, единиц
На основе алюминиевого пигмента и алюмосиликатных микросфер	0,067	38
«Thermal-Coat TM »	0,071	3,4
Изолат	0,073	2,8

Разработанное теплоизоляционное композиционное покрытие на основе водной дисперсии полимера, алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента имеет коэффициент теплопроводности ниже коэффициента теплопроводности аналогов на 6-8%, при том, что путем замены дорогостоящих стеклянных микросфер, входящих в состав аналогов, удастся значительно снизить его стоимость.

Теплоизоляционные покрытия «Thermal-CoatTM» и «Изолат» имеют белый цвет и глубокоматовую, высоко пористую поверхность, что делает

данные материалы не устойчивыми к загрязнению. Теплоизоляционное покрытие на основе полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента имеет значительно большую степень блеска, что переводит его в категорию полуглянцевое, и значительно увеличивает стойкость покрытия к загрязнению.

4.3 Натурные испытания композиционных теплоизоляционных материалов

В процессе исследования был рассмотрен стационарный процесс теплопередачи через однородную плоскую кирпичную стену толщиной 250 мм – δ . Композиционные теплоизоляционные материалы наносились на внутреннюю кирпичную стену, помещения в котором был установлен источник тепла. Соседнее помещение не отапливалось. В процессе эксперимента фиксировались температуры поверхностей ограждающей конструкции τ_{θ} , температура воздуха в помещении t_{θ} и плотность проходящего теплового потока. Схема расположения теплоотражающих покрытий и измерительных датчиков отражена на рисунке 4.1. Результаты измерения температур и плотности проходящего теплового потока представлены в таблице 4.3.

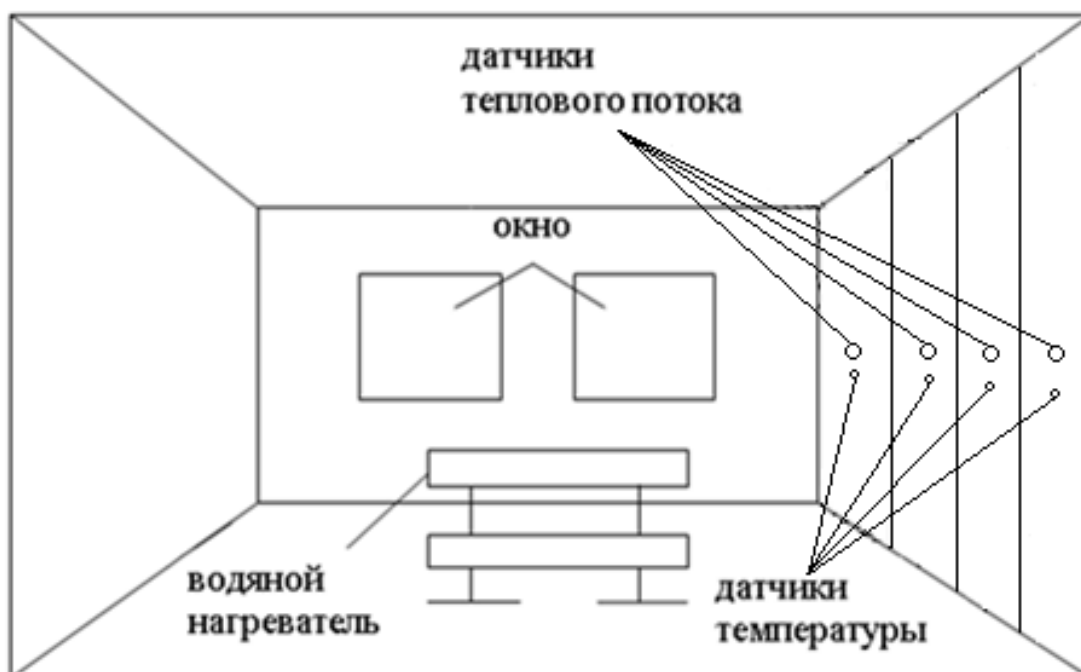


Рис. 4.1 Схема расположения теплоотражающих покрытий и измерительных датчиков

- 1 – без покрытия; 2 – покрытие на основе алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента; 3 – покрытие «Thermal-Coat™»;
4 – покрытие «Изолат»;

Таблица 4.3

Результаты натуральных измерений

Вид покрытия	Температура внутренней поверхности, $t_{\text{в}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Температура внутреннего воздуха, $t_{\text{в}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Плотность проходящего теплового потока, $q_{\text{эк}}, \text{ Вт/м}^2$
Без покрытия	11,5	14,5	18,7
На основе алюминиевого пигмента и алюмосиликатных микросфер	11,7	14,5	10,8
«Thermal-Coat™»	11,8	14,5	11,9
Изолат	11,8	14,5	12,2

Для теоретического определения плотности теплового потока передаваемого через ограждающую конструкцию путем теплопроводности, конвекции и излучения необходимо задаться граничными условиями III рода. При этом задаются температуры окружающей среды и поверхности теплообмена и законы теплообмена между поверхностью и средой.

Схематическое изображение процесса теплопередачи через однослойную ограждающую конструкцию представлено на рисунке 4.2.

В условиях стационарного режима вся теплота, передаваемая от внутреннего воздуха стенке, проходит через нее и поглощается наружным воздухом. При этом плотность теплового потока передаваемого из помещения в окружающую среду определяется [61]:

$$q_p = \alpha_g (t_g - \tau_g) = \lambda / \delta (\tau_g - \tau_n) \quad (4.1)$$

где q_p – результирующая плотность теплового потока; α_g – коэффициенты теплоотдачи на внутренней стороне ограждающей конструкции.

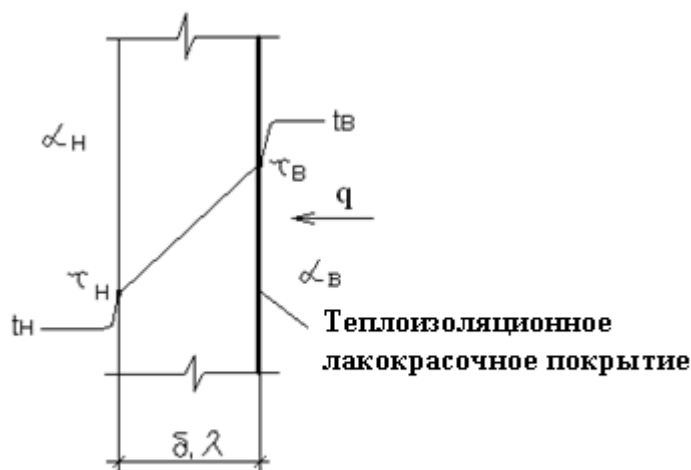


Рис. 4.2 Схематическое изображение процесса теплопередачи через однослойную ограждающую конструкцию

В данной работе рассматривается изменение процесса теплопередачи через ограждающую конструкцию при нанесении на ее внутреннюю поверхность теплоотражающих покрытий, поэтому одной из задач является определение α_g . Передача теплоты к поверхности ограждения или отдача ею

осуществляется конвекцией и излучением. Следовательно, коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности можно выразить как сумму двух коэффициентов: коэффициента отдачи теплоты конвекцией α_k и коэффициента отдачи теплоты излучением α_l , т.е.:

$$\alpha_g = \alpha_k + \alpha_l. \quad (4.2)$$

Уравнения, описывающие процесс теплопередачи:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}; \quad (4.3)$$

$$Nu = 0,75(Gr \cdot Pr)^{0,25}; \quad (4.4)$$

$$Gr = \frac{\beta g l^3 \Delta t}{\nu^2} \quad (4.5)$$

где $\beta = \frac{1}{273}$ - коэффициент температурного расширения воздуха, g - ускорение свободного падения, м/с.

$$\alpha_l = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0}} \cdot \frac{\left[\frac{t_g + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{\tau_g + 273}{100} \right]^4}{t_g - \tau_g} \quad (4.6)$$

где C_1 - коэффициент излучения материала внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/м²·ч·К; C_2 - коэффициент излучения излучающей поверхности, Вт/м²·ч·К; C_0 - коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 5,67 Вт/м²·ч·К.

Параметры внутреннего воздуха при температуре $t_g = 14,5$ °С представлены в таблице 4.4.

Результаты расчета плотности результирующего теплового потока и сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными, представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.4

Физические параметры внутреннего воздуха

Параметр	Значение
Кинематическая вязкость, ν , м ² /с	14,57·10 ⁻⁶
Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·К)	0,0248
Критерий Прандтля, Pr	0,704

Таблица 4.5

Результаты расчетов

Вид покрытия	Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности			Плотность проходящего теплового потока, q , Вт/м ²		Δq , %
	α_k	α_l	α_v	эсп.	расч.	
Без покрытия	2,09	4,14	6,23	18,5	18,7	1,1
На основе алюминиевого пигмента и алюмосиликатных микросфер	2,06	1,82	3,87	10,6	10,8	1,9
«Thermal-Coat™»	2,04	2,37	4,41	11,6	11,9	2,5
Изолат	2,04	2,48	4,51	12,3	12,2	0,8

Погрешность натуральных измерений с учетом экспериментально установленных значений коэффициентов излучения обследуемых теплоизоляционных покрытий не превышает 2,5 %, что свидетельствует о правильности выбранной экспериментальной методики.

В результате эксперимента установлено, что при нанесении теплоизоляционного лакокрасочного покрытия на основе алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента на внутреннюю поверхность ограждающей конструкции происходит снижение коэффициента теплоотдачи на 38 %, тогда как существующие аналоги уменьшают его значение только на 27-29%.

4.4 Влияние композиционного теплоизоляционного покрытия на теплотехнические свойства ограждающих конструкций с воздушной прослойкой

Разработанное теплоизоляционное покрытие на основе стирол-акриловой дисперсии, полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента имеет серебристый цвет, поэтому, в ряде случаев, необходимо закрыть покрытие другим отделочным материалом. Так как, эффективность лакокрасочного теплоизоляционного покрытия обусловлена его способностью отражать тепловое излучение, то между теплоизоляционным покрытием и отделочным слоем целесообразно создать воздушную прослойку, что может быть осуществлено путем обшивки стены листовыми материалами (гипсокартонными или гипсоволокнистыми листами, ДВП, ДСП и т.п.). В таком случае на процесс теплопередачи через ограждающую конструкцию будет оказывать влияние наличие воздушной прослойки между теплоизоляционным покрытием и гипсакартонным листом.

Согласно СП 50.13330.2012 [170] табл. Е.1 при нанесении на одну или обе поверхности воздушной прослойки материала с низким коэффициентом излучения термическое сопротивление прослойки следует увеличивать в два раза. Для подтверждения теоретических выводов, в условиях строительного объекта был проведен натурный эксперимент по исследованию влияния воздушной прослойки на термическое сопротивление наружной ограждающей конструкции.

Передача тепла воздушными прослойками происходит иначе, чем в телах твердых и сыпучих. Термическое сопротивление слоя, состоящего из твердого или сыпучего материала, прямо пропорционально его толщине, а следовательно, количество тепла, проходящего через слой, при постоянной разности температур на его поверхностях обратно пропорционально его толщине. Для воздушной прослойки такой пропорциональности не существует. В твердом материале передача тепла происходит только

теплопроводностью, в воздушной прослойке к этому присоединяется еще передача тепла конвекцией и излучением. Таким образом, если полное количество тепла, проходящего через 1 м² вертикальной воздушной прослойки в течение 1 ч, обозначим $Q_{общ}$, то на основании сказанного можно написать:

$$Q_{общ} = Q_m + Q_k + Q_l \quad (4.7)$$

где Q_m – количество тепла, передаваемого теплопроводностью в Вт/м²·ч; Q_k – количество тепла, передаваемого конвекцией, в Вт/м²·ч; Q_l – количество тепла, передаваемого излучением, в Вт/м²·ч.

Схематическое изображение процесса теплопередачи через ограждающую конструкцию с воздушной прослойкой представлено на рисунке 4.3.

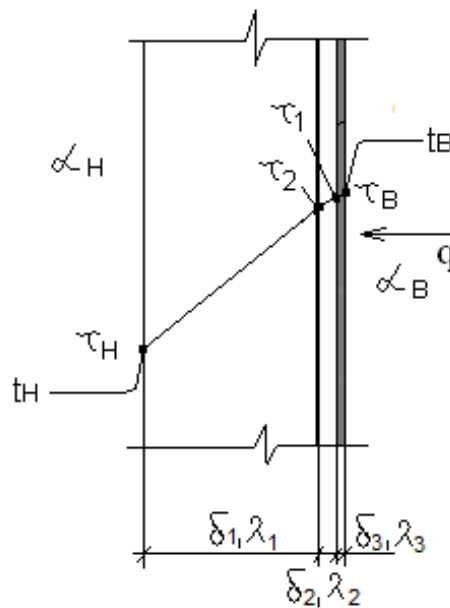


Рис. 4.3 Схематическое изображение процесса теплопередачи через ограждающую конструкцию с воздушной прослойкой

Передача тепла теплопроводностью подчиняется закону передачи тепла в твердом теле. Следовательно, по формуле (4.8) можно написать:

$$Q_m = (\tau_1 - \tau_2) \frac{\lambda_m}{\delta} \quad (4.8)$$

где λ_m – коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха; δ – толщина прослойки в м.

Конвекция воздуха в прослойке возникает вследствие разности температур на ее поверхностях и имеет характер естественной конвекции. При этом у поверхности с более высокой температурой воздух нагревается и движется в направлении снизу вверх, а у более холодной поверхности охлаждается и движется в направлении сверху вниз. По аналогии с формулой (34.8) для количества тепла, передаваемого конвекцией, можно написать:

$$Q_k = (\tau_1 - \tau_2) \frac{\lambda_k}{\delta} \quad (4.9)$$

где λ_k – условный коэффициент, называемый коэффициентом передачи тепла конвекцией.

В отличие от обычного коэффициента теплопроводности этот коэффициент не является постоянной величиной, а зависит от толщины прослойки, температуры воздуха в ней, разности температур на поверхностях прослойки и расположения прослойки в ограждении.

Для вертикальных прослоек значения величин коэффициентов $\lambda_m + \lambda_k$ даны в таблице 4.6 [61] в зависимости от толщины прослойки δ и разности температур на ее поверхностях $\tau_1 - \tau_2$. Влияние температуры воздуха в пределах от +15 до -10°С на теплопередачу конвекцией не превышает 5%, а поэтому им можно пренебречь.

Таблица 4.6

Значение величины $\lambda_m + \lambda_k$

$\tau_1 - \tau_2, \text{ К}$	Значения $\lambda_m + \lambda_k$ при δ в см, Вт/(м ² ·К)			
	1	2	3	5
1	0,02	0,021	0,029	0,042
2,5	0,02	0,027	0,036	0,053
5	0,021	0,032	0,043	0,063
10	0,022	0,038	0,051	0,075
15	0,024	0,042	0,056	0,083
20	0,026	0,048	0,061	0,089

Таблица 35 показывает, что коэффициент передачи тепла конвекцией возрастает с увеличением толщины прослойки. Это возрастание объясняется тем, что в тонких прослойках восходящий и нисходящий токи воздуха взаимно тормозятся и в очень тонких прослойках (меньше 5 мм) величина λ_k становится равной нулю. С увеличением толщины прослойки, наоборот, конвекционные токи воздуха становятся более интенсивными, увеличивая значение λ_k . С увеличением разности температур на поверхностях прослойки величина λ_k возрастает вследствие повышения интенсивности конвекционных токов в прослойке.

Кроме передачи тепла теплопроводностью и конвекцией в воздушной прослойке происходит еще непосредственное излучение между поверхностями, ограничивающими воздушную прослойку. Количество тепла Q_l , передаваемого в воздушной прослойке излучением от поверхности с более высокой температурой τ_1 к поверхности с более низкой температурой τ_2 , можно выразить по аналогии с предыдущими выражениями в виде:

$$Q_l = (\tau_1 - \tau_2) \alpha_l \quad (4.10)$$

где α_l — коэффициент теплоотдачи излучением.

В этом равенстве отсутствует множитель δ , так как количество тепла, передаваемого излучением, в воздушных прослойках, ограниченных параллельными плоскостями, не зависит от расстояния между ними.

Коэффициент α_l также не является постоянной величиной, а зависит от коэффициентов излучения поверхностей, ограничивающих воздушную прослойку и, кроме того, от разности четвертых степеней абсолютных температур этих поверхностей.

Для определения величины $\frac{\left(\frac{\tau_1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100}\right)^4}{\tau_1 - \tau_2}$, называемой «температурным коэффициентом», достаточно знать среднюю температуру воздушной прослойки $\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$. Значения температурного коэффициента для

средних температур воздушной прослойки от +25 и до - 25° С приведены в таблице 4.7 [61].

Таблица 4.7

Значение температурного коэффициента

$\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}, \text{ }^\circ\text{C}$	+25	+20	+15	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25
Температурный коэффициент	1,06	1,01	0,96	0,91	0,86	0,81	0,77	0,73	0,69	0,61

Если сложить значения $Q_m + Q_k + Q_l = Q_{\text{общ}}$ получим:

$$Q = (\tau_1 - \tau_2) \frac{\lambda_m + \lambda_k + \alpha_l \delta}{\delta} \quad (35)$$

Выражение $\lambda_m + \lambda_k + \alpha_l \delta$ можно рассматривать как коэффициент теплопроводности воздуха в прослойке, подчиняющийся законам передачи тепла через твердые тела. Этот суммарный коэффициент носит название «эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки» $\lambda_э$. Так как для рассматриваемых конструкций коэффициентом теплопроводности конвекцией можно пренебречь, получаем:

$$\lambda_э = \lambda_m + \lambda_k + \alpha_l \delta \quad (36)$$

Зная эквивалентный коэффициент теплопроводности воздуха в прослойке, термическое сопротивление его определяют так же, как и для слоев из твердых или сыпучих материалов, т. е. $R = \frac{\delta}{\lambda_э}$.

В условиях строительного объекта был проведен натурный эксперимент по исследованию влияния лакокрасочного теплоизоляционного покрытия и воздушной прослойки на теплотехнические свойства наружной стены. В процессе эксперимента фиксировались: плотность проходящего теплового потока, температуры внутреннего воздуха $t_в$ и температуры поверхностей ограничивающих воздушную прослойку, между гипсакартонным листом и внутренней поверхностью наружной стены.

На первом этапе измерения выполнены без теплоизоляционного лакокрасочного покрытия (рисунок 4.4 а). После этого рассматривалось изменение параметров теплопередачи с одним слоем теплоизоляционного покрытия, нанесенным на внутреннюю поверхность стены (рисунок 4.4 б), и двумя слоями, нанесенными на стену и на внутреннюю сторону гипсокартонного листа (рисунок 4.4 в). Геометрические и физические параметры слоев наружной стены представлены в таблице 38.

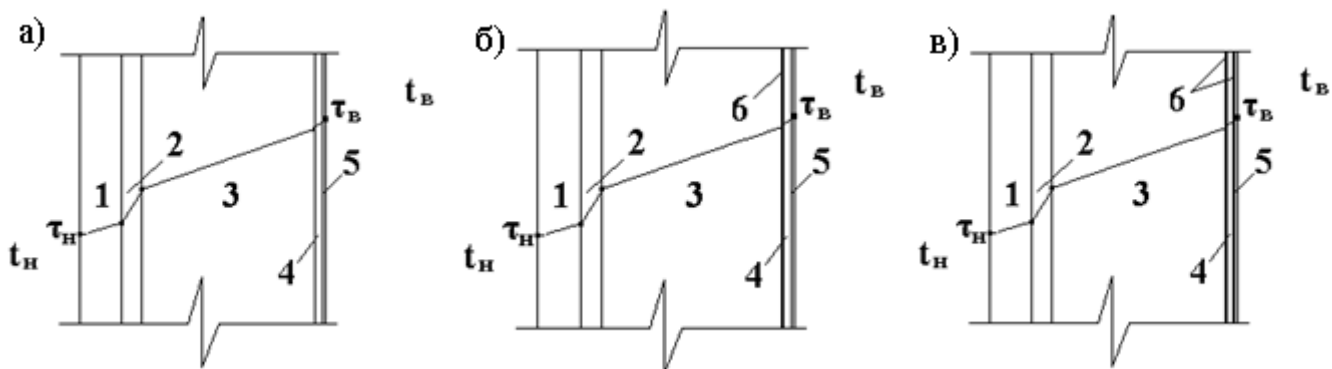


Рис. 4.4 Обследуемые конструкции

1 – кладка из керамического кирпича лицевого; 2 – пенополистирол; 3 – кладка из керамического кирпича рядового; 4 – воздушная прослойка; 5 – гипсокартонный лист; 6 – теплоизоляционное лакокрасочное покрытие

В данной работе при расчете λ_3 температуры на поверхностях прослойки приняты по результатам натуральных измерений, представленных в таблице 4.8. Схема расположения измерительных датчиков представлена на рисунке 4.5

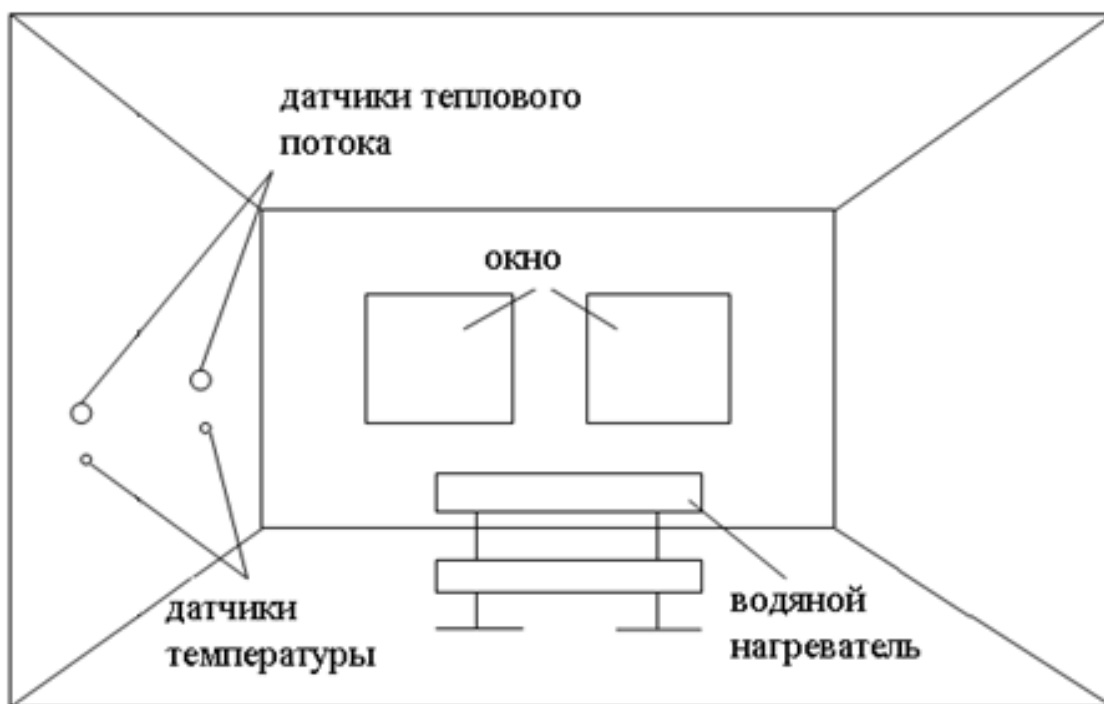


Рисунок 4.5 Схема расположения измерительных датчиков

Таблица 4.8

Результаты натуральных измерений температур и плотности проходящего теплового потока через ограждающую конструкцию

Наименование показателя	Значение, для варианта конструкции (рис. 30)		
	а	б	в
Температура внутреннего воздуха $t_{в}$, °С	13,0	14,5	15,7
Температура наружного воздуха, $t_{н}$, °С	-1,0	2,0	2,0
Температура внутренней поверхности ограждения, $\tau_{в}$, °С	12,8	13,9	15,1
Температуры поверхностей ограничивающих воздушную прослойку:			
τ_1 , °С	11,9	13,7	14,9
τ_2 , °С	10,9	12,5	13,6

Результаты расчетов термического сопротивления воздушной прослойки представлены в таблице 4.9.

Результаты расчетов

Наименование показателя	Значение, для варианта конструкции (рис. 28)		
	б	в	г
Температура воздуха в воздушной прослойке, $\tau_{возд}$, °С	11,4	13,1	14,3
Перепад температур между поверхностями прослойки, $\tau_1 - \tau_2$, °С	1,0	1,2	1,3
$\lambda_m + \lambda_k$, Вт/м·°С	0,021	0,022	0,022
Коэффициент теплоотдачи излучением, $\alpha_{л}$, Вт/(м ² ·К)	3,54	1,56	1,02
Эквивалентный коэффициент теплопроводности воздушной прослойки, Вт/м·°С	0,092	0,053	0,042
Термическое сопротивление воздушной прослойки, R, м ² °С/Вт	0,22	0,38	0,47

Выводы по главе 4

1) На основании выполненных исследований, предложен состав композиционного теплоизоляционного материала стоимостью 230-250 руб., при стоимости ближайшего аналога 420-460 руб. за 1 кг.

2) Экспериментально установлено, что теплоизоляционное покрытие на основе полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента по теплотехническим показателям превосходит существующие аналоги. Установлено, что у ближайшего аналога коэффициент теплопроводности выше на 8%, чем у теплоизоляционного лакокрасочного покрытия на основе полых алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента. При этом путем применения в качестве наполнителя полых алюмосиликатных микросфер удастся значительно снизить стоимость покрытия по сравнению с аналогами.

3) Расчетным путем определено и экспериментально подтверждено, что при нанесении теплоизоляционного лакокрасочного покрытия на основе алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента на внутреннюю

поверхность ограждающей конструкции происходит снижение коэффициента теплоотдачи на 38 %, тогда как существующие аналоги уменьшают его значение на 27-29%.

4) Доказано, что при нанесении лакокрасочного теплоизоляционного покрытия на основе алюмосиликатных микросфер и алюминиевого пигмента происходит снижение плотности проходящего через конструкцию теплового потока на 42%.

5) Показано, что применение теплоизоляционного лакокрасочного покрытия, с дополнительной обшивкой гипсокартонными листами позволяет повысить сопротивление теплопередаче воздушной прослойки в 2 раза.

Заключение

1) Проведен комплексный анализ особенностей структуры и свойств тонкослойных композиционных теплоизоляционных материалов. Методологически обоснована целесообразность использования в составе композиционного теплоизоляционного материала для декоративной отделки помещений наполнителя – полых алюмосиликатных микросфер и декоративного компонента – алюминиевого пигмента.

2) Обоснована возможность получения композиционного теплоизоляционного материала для декоративной отделки помещений на основе полых алюмосиликатных микросфер, алюминиевой пигментной пасты и водной дисперсии полимера.

На основании метода критической объемной концентрации пигментов и наполнителей изучено влияние состава композиционного теплоизоляционного материала на его свойства. Установлено, что максимально плотная упаковка компонентом пленки композиционного теплоизоляционного материала достигается при степени наполнения 59%. Получены количественные зависимости изменения свойств композиционного теплоизоляционного материала от состава. Определено, что наилучшие свойства покрытия достигаются в диапазоне ОКП 54-62%.

3) С помощью растровой электронной микроскопии исследовано влияние степени наполнения композиционного теплоизоляционного материала на структуру покрытия на его основе. Установлено, что при степени наполнения покрытия значительно меньшей, чем КОКП, зерна микросферического наполнителя значительно раздвинуты полимерной матрицей, которая имеет некоторое количество пор. При ОКП близкой к критической пространство между микросферическим наполнителем полностью заполнено полимером, который имеет достаточно плотную структуру без пор и пустот. При степени наполнения больше, чем КОКП, наблюдается разрыхление структуры полимера вблизи частиц наполнителя, а

дальнейшее увеличение ОКП приводит к тому, что полимерного компонента уже недостаточно, чтобы заполнить все пространство между микросферами, структура покрытия рыхлая с большим количеством пор и пустот.

4) Установлены закономерности комплексного влияния компонентов теплоизоляционного материала на его коэффициент теплопроводности и степень блеска покрытия на его основе. Получены многофакторные математические модели, позволяющие прогнозировать коэффициент теплопроводности и степень блеска композиционного теплоизоляционного материала. Определен оптимальный состав композиционного теплоизоляционного материала, содержащий следующие компоненты, % по массе: стирол-акриловая дисперсия – 61,3-63,0%; полые алюмосиликатные микросферы – 15,7-16,9%; алюминиевая пигментная паста – 15-16%; вода – 6,1-6,3%. Плотность покрытия на основе данного состава составляет 800 кг/м³, укрывистость – 239 г/м², адгезионная прочность не менее 0,76 МПа, паропроницаемость – 0,012 мг/(м·ч·Па), степень блеска 37-38 единиц, коэффициент теплопроводности 0,065-0,068 Вт/м·К.

5) На основании выполненных исследований, предложен состав композиционного теплоизоляционного материала стоимостью 230-250 руб., при стоимости ближайшего аналога 420-460 руб. за 1 кг. Композиционный теплоизоляционный материал применялся для отделки наружных стен в помещениях Административно-торгового комплекса по ул. Харьковская-Одесская, г. Тюмень и мауэрлата в мансардной кровле домов на объекте «Совмещенная малоэтажная застройка п. Винзили Тюменского района, ул. 60 лет Октября». Экономический эффект достигается не только за счет низкой стоимости композиционного теплоизоляционного материала, но и за счет отсутствия необходимости дополнительной декоративной отделки стены и высокой стойкости покрытия к загрязнению.

Список используемой литературы

1. Шубин, И.Л. Энергетическая эффективность ограждающих конструкций: система активного энергосбережения / И.Л. Шубин, Т.А. Ахмяров, В.С. Беляев, А.В. Спиридонов // Строительные материалы. Оборудование. Технологии XXI века. – 2014. - №3. – с. 43-49.
2. Павловскис, Я. Энергосбережение на стадии проектирования малоэтажных домов / Я. Павловскис, А. Фрош // Строительные материалы. Оборудование. Технологии XXI века. – 2011. - №2. – с. 31-33.
3. Евсеев, Л.Д. Энергосбережение – основной путь решения задач конкурентоспособности продукции / Л.Д. Евсеев // Строительные материалы. Оборудование. Технологии XXI века. – 2011. - №12. – с. 48-49.
4. Баженов, Ю.М. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности / Ю.М. Баженов, Е.А. Король, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина. Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 320 с.
5. Ватин, Н.И. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии и эксплуатационных затрат на отопление для загородного частного дома при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций / Н.И. Ватин, Д.В. Немова, А.С. Горшков // Строительные материалы. Оборудование. Технологии XXI века. – 2013. - №1. – с. 36-39.
6. Матросов, Ю.А. Новые изменения в СНиП по строительной теплотехнике / Ю.А. Матросов, И.Н. Бутовский, В.В. Тищенко. // Жилищное строительство. – 1995. - №10.
7. Матросов, Ю.А. Здания с эффективным использованием энергии (новый принцип нормирования) / Матросов Ю.А., Бутовский И.Н., Бродач М.М. // Журнал АВОК. – 1996. - №3-4. – с. 3-6.

8. Матросов, Ю.А. Нормативная база энегросбережения в зданиях на федеральном и региональном уровнях / Ю.А. Матросов // Информационный бюллетень «Теплоэнергоэффективные технологии» - 2003. - №4. – с. 28-33.

9. Матросов, Ю.А. Новая концепция нормирования теплозащиты зданий / Ю.А. Матросов, И.Н. Бутовский, Д.Б. Гольдштейн // Энергетическая эффективность, бюллетень ЦЭНЭФ. – 1994. – октябрь-декабрь.

10. Бондаренко, В.М. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий / В.М. Бондаренко, Л.С. Ляхович, В.Р. Хлевчук, Ю.А. Матросов, И.Н. Бутовский, В.А. Могутов, В.С. Беляев, Д.М. Лаковский, Б.Н. Волынский, А.К. Шпетер, П.Н. Семенюк // Строительные материалы – 2001. - №12. - с. 2-8.

11. Морозов, В.И. Разработка и применение ограждающих конструкций энергоэффективных зданий нового поколения / В.И. Морозов, Ю.В. Пухаренко // Вестник гражданских инженеров. – 2012. - №5. – с. 320-322.

12. Дмитриев, П.А. Современные тенденции и принципы проектирования стеновых ограждающих конструкций малоэтажных жилых зданий / П.А. Дмитриев, Р.Б. Орлович // Известия вузов. Строительство. – 1998. - № 1. – с. 4-11.

13. Милых, Т.И. Конструкционно-теплоизоляционный полистиролбетон / Т.И. Милых // Бетон и железобетон. – 1988. - № 10. – с. 11-13.

14. Макаричев, В.В. Конструкции из ячеистого бетона / В.В. Макаричев, Ю.А. Рогатин // Обзор.информ. Сер. Строит.конструкции / ВНИИТПИ Вып. 8. – М., 1990. – 68 с.

15. Довжик, В.Г. Технология и свойства полистиролбетона для стеновых конструкций / В.Г. Довжик, В.Н. Росовский, Г.С. Савельева и др. // Бетон и железобетон. – 1997. - № 2. – с. 5-9.

16. Чиненко, Ю.В. Модифицированный полистиролбетон в ограждающих конструкциях зданий и инженерных сооружений / Ю.В. Чиненков, В.Н. Ярмаковский // Строительные материалы. – 2004. - № 4. – с. 13-17.

17. Евдокимов, А.А. Прочностные и деформативные свойства конструкционно-теплоизоляционного керамзитополстиролбетона и полистиролбетона пониженной плотности / А.А. Евдокимов, О.С. Дейнеко // Эффективные легкие бетоны и конструкции из них. – М.: НИИЖБ, 1984. – с. 15-24.
18. Евдокимов, А.А. Физико-механические свойства теплоизоляционного полистиролбетона пониженной плотности / А.А. Евдокимов, Л.Н. Брускова // Новое в технологии и свойствах легких бетонов. – М.: НИИЖБ, 1980. – с. 99-109.
19. Гусенков, А.С. Теплоизоляционные стеновые изделия из безавтоклавного пенобетона / А.С. Гусенков, В.И. Удачкин, С.Д. Галкин, В.С. Ерофеев // Строит.материалы. – 1999. - № 1. – с. 10-12.
20. Пат. №2471753 от 27.07.2011 Сырьевая смесь для получения пенобетона / Федосов С.В., Малый И.А., Ветошкин А.А., Акулова М.В., Потемкина О.В., Щепочкина Ю.А., Емелин В.Ю.
21. Пухаренко, Ю.В. Влияние армирующих волокон на формирование структуры ячеистых бетонов в раннем возрасте / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова, В.Д. Староверов // Вестник гражданских инженеров. – 2014. - №3. – с. 154-158.
22. Пухаренко, Ю.В. Влияние состава сырьевой смеси на усадку неавтоклавного фибробетона / Ю.В. Пухаренко, С.А. Черевко, И.О. Суворов // Вестник гражданских инженеров. – 2013. - №3. – с. 109-112.
23. Пухаренко, Ю.В. Прочность и долговечность ячеистого фибробетона / Ю.В. Пухаренко // Строительные материалы. – 2004. - №12. – с. 40-41.
24. Ерофеев, В.Т. Ячеистые и поризованные бетоны на основе боя стекла / В.Т. Ерофеев, В.В. Бредихин, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. - № 1(46). – с. 104-111.

25. Ерофеев, В.Т. Безавтоклавные легкие бетоны на основе вяжущих из боя стекла / В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, А.Д. Богатов // Сборник «Инновационные направления учебно-методической и научной деятельности кафедр материаловедения и технологий конструкционных материалов. – 2012. – с. 55-61.

26. Богатова, С.Н. Ячеистые и поризованные бетоны на основе отходов стекла : автореферат дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Богатова Светлана Николаевна. – Саранск., 2010. – 21 с.

27. Федосов, С.В. Основные принципы технологии получения теплоизоляционного пеностекла, подходы к моделированию / С.В. Федосов, М.О. Баканов, Н.В. Никишов // Сборник. Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. – Белгородский государственный технический университет им. В.Г. Шухова. – 2015. – с. 690-699.

28. Береговой, В.А. Опаловые породы в технологии пористой керамики для ограждающих конструкций зданий / В.А. Береговой, Д.С. Костин, Е.В. Королев, А.М. Береговой, Г.Д. Ларина // Региональная архитектура и строительство. – 2012. - №3. – с. 33-37.

29. Королев, Е.В. Использование показателя теплопроводности при проектировании пенокарामобетонов на основе опалкристаллитовых пород / Е.В. Королев, В.А. Береговой, Д.С. Костин, А.М. Береговой // Вестник МГСУ. – 2012. - №3. – с. 90-95.

30. Береговой, В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны / В.А. Береговой, Е.В. Королев, Ю.М. Баженов Т.В. Зоммер, О.В. Королева. Серия библиотека научных разработок. – Москва, 2011. – 264 с.

31. Завадский, В.Ф. Варианты стеновых конструкций с применением новых эффективных утеплителей: Учебн. пособие. – Новосибирск: НГАСУ, 2000. – 168 с.

32. Граник, Ю.Г. Теплоэффективные ограждающие конструкции жилых и гражданских зданий / Ю.Г. Граник // Строительные материалы. – 1999. - № 2. – с. 4-6.
33. Ожгибесов, Ю.П. Теплые стеновые панели и блоки для второго этапа новых теплотехнических норм в существующей металлооснастке // Строительные материалы. – 2000. - № 2. – с. 12 - 14.
34. Савилова, Г.Н. «Теплый дом» - основные аспекты качества системы теплоизоляции / Г.Н. Савилова, Л.М. Омельченко, М.Б. Каплан // Строит.материалы. – 2003. - № 4. – с. 40-42.
35. Бабков, В.В. Несущие наружные трехслойные стены зданий с повышенной теплозащитой / В.В. Бабков и др. // Строительные материалы. – 1998. - № 6. – с. 16-18.
36. Бирулин, Ю.Ф. Трехслойные панели наружных стен с дискретными связями / Ю.Ф. Бирулин, Ю.А. Калядин, А.Б. Соколов // Промышленное и гражданское строительство. – 1998. - № 9. – с. 37-38.
37. Завадский, В.Ф. Комплексный подход к решению проблемы теплозащиты стен отапливаемых зданий / В.Ф. Завадский // Строительные материалы. – 1999. - № 2. – с. 7-8.
38. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий / Ю.П. Горлов. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
39. Миронов, В.В. Промышленность теплоизоляционных материалов. современное состояние и перспективы развития / В.В. Миронов, К.Е. Тарасевич // Стройка. – 1991. - № 28. – с. 15-17.
40. Теплоизоляция. Материалы, конструкции, технологии: Справочное пособие / Гл. ред. С.М. Кочергин. – М.: Стройинформ, 2008. – 440 с.
41. Король, Е.А. Экспериментальные исследования влияния климатических воздействий на монолитную связь бетонных слоев различной прочности в многослойных конструкциях / Н.А. Король, Ю.А. Харьков, Е.Н. Быков // Вестник МГСУ. – 2010. - №3. – с. 164-169.

42. Баженов, Ю.М. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий / Ю.М. Баженов, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина и др.: - Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 197 с.

43. Пат. RUS 2154135 от 17.12.1998 Способ изготовления трехслойной панели / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, П.И. Автаев, Н.Ф. Бурнайкин, Е.А. Митина, Е.п. Грибанова.

44. Грошев, А.Е. Исследование различных видов наружных ограждающих конструкций в монолитном домостроении / А.Е. Грошев, М.П. Данкер, А.В. Боброшов, П.С. Замолоцких // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. -№1. – с. 62-65.

45. Турчаненко, А.К. Особенности проектирования трехслойных ограждающих конструкций / А.К. Турчинский, С.И. Смирнов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. - №10. – с. 108-122.

46. Грошев, А.Е. Анализ конструктивного решения трехслойных наружных стен / А.Е. Грошев, М.И. Беляков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. -№1. – с. 47-51.

47. Корниенко, С.В. Температурный режим трехслойной стеновой панели / С.В. Корниенко // Жилищное строительство. – 2001. - №9. – с. 20-21.

48. Король, Е.А. Технологическая и экономическая эффективность трехслойных ограждающих конструкций для энергоэффективных зданий / Е.А. Король, Е.М. Пугач, А.Е. Николаев // АСАДЕМІА. Архитектура и строительство. – 2009. - №5. – с. 415-418.

49. Николаев, В.Н. Базальто-пластиковые гибкие связи для трехслойных ограждающих конструкций / В.Н. Николаев, Е.Ю. Филиппова // Строительные материалы. – 2004. -№5. – с. 50-51.

50. Сотников, А.А. Современные решения тепловой защиты ограждающих конструкций зданий / А.А. Сотников, А.Н. Гойкалов //

Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. -№1. – с. 192-196.

51. Корниенко, С.В. Проблемы теплозащиты стен современных зданий / С.В. Корниенко // Интернет-вестник ВОЛГГАСУ, - 2013, -№1 (25), с. 13-20.

52. Ананьев, А.И. К вопросу нормирования уровня теплозащиты наружных стен зданий / А.И. Ананьев, О.И. Лобов // Градостроительство. – 2013. - №5. – с. 66-68.

53. Умнякова Н.П. Долговечность трехслойных стен с облицовкой из кирпича с высоким уровнем тепловой защиты / Н.П. Умнякова // Вестник МГСУ. – 2013. - №1. – с. 94-100.

54. Мышов, М.Ю. Результаты исследований теплозащитных свойств ограждающих конструкций в натуральных условиях / М.Ю. Мышов, П.Н. Тарасюк, П.А. Трубаев // VII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство», Белгород, 20-22 октября 2015. Сборник трудов конференции. – Б., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2015. – с. 1330-1335.

55. Назиров, Р.А. Влияние сопротивления теплопередачи утеплителя на распределение температурных полей в стеновых ограждениях с навесными вентилируемыми фасадами / Р.А. Назиров, Т.В. Белов // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2014. - №2. – с. 207-213.

56. Евсеев, Л.Д. Внутреннее и наружное утепление строительных ограждающих конструкций / Л.Д. Евсеев. // Строительные материалы. – 2009. - №3. – с. 7-11.

57. Чижо, Э.К. Способы утепления наружных стен типовых многоквартирных панельных домов советского периода / Э.К. Чижов, Сузанская А.А. // Синергия наук. – 2016. - №6. – с.464-476.

58. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с., ил.

59. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский,. – М.: Высш. шк., 1970. – 376 с.
60. Брежнева, Н.И. Особенности применения фольгированных материалов как теплоотражающей изоляции / Н.И. Брежнева, Г.А. Зимакова, Ю.Ф. Лазарева (Ю.Ф. Панченко.) // Сборник материалов научно-практической конференции «Энегросберегающие технологии, оборудование и материалы при строительстве объектов в Западной Сибири» – Тюмень: ИПЦ «Экспресс». – 2005. – с. 22-25.
61. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
62. Илюхин, М.С. Основы теплотехники / М.С. Илюхин, Ф.Т. Сидоренко. – М.: Агропромиздат, 1987. – 144 с.: ил.
63. Бахмат, Г.В. Термодинамика и теплопередача: Курс лекций / Г.В. Бахмат, Е.Н. Кабес, О.А. Степанов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. – 91 с.
64. Луканин, В.Н. Теплотехника. Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др. - М.: Высш.шк., 1999. - 671 с.: ил.
65. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1969. – 440 с.
66. Кочетова, Ю.Ю. Покрытие «Корунд» - теплоизоляционный материал, снижающий теплопотери и повышающий антикоррозионную защиту зданий и сооружений сферы жилищно-коммунального хозяйства/ Ю.Ю. Кочетова // Вестник УГУЭС. Наука. Образование. Экономика. Серия: Экономика. – 2014. - № 1 (7). – с. 198-200.
67. Лабунский, А.В. Новые разработки на выставке «Покрытия и обработка поверхности / А.В. Лабунский // Механизация строительства. – 2011. - № 2 (800). – с. 29-30.
68. Рыженков, В.А. О влиянии структурированного тонкопленочного теплоизоляционного покрытия на термическое сопротивление теплопроводов

/ В.А. Рыженков, А.Ф. Прищепов, Н.А. Логинова, А.П. Кондратьев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. -№5 (67). – с. 58-59.

69. Трофимов, А.Н. Теплоизоляционные антикоррозионные покрытия – АТП / А.Н. Трофимов, А.Ф. Косолапов // Межотраслевой альманах. – 2014. - №48. – с. 46-49.

70. Гаськов, А.К. Экспериментальное определение степени черноты фасада зданий / А.К. Гаськов, В.В. Бухмиров // Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии. – 2017. – с. 268-271.

71. ГОСТ 28513-90 «Материалы лакокрасочные. Метод определения плотности» – М.: Стандартинформ, 2005. – 7 с.

72. ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные. Теплоизоляционные. Методы испытаний». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 36 с.

73. ГОСТ 8420-74 «Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 7 с.

74. ГОСТ 21751-76 «Герметики. Метод определения условной прочности, относительного удлинения при разрыве и относительной остаточной деформации после разрыва». – М.: Издательство стандартов, 1983. – 20 с.

75. ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение». – М.: Издательство стандартов, 1986. – 17 с.

76. ГОСТ 6806-73 «Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе» – М.: Издательство стандартов, 1988. – 7 с.

77. ГОСТ Р ЕН 12086-2008 «Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве» – М.: Стандартинформ, 2009. – 15 с.

78. ГОСТ 25898-2012 «Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию» – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

79. ГОСТ 33355-2015 «Материалы лакокрасочные. Определение характеристик паропроницаемости. Метод чашки» – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

80. Бухмиров, В.В. Применение тонкопленочных покрытий в целях энергосбережения / В.В. Бухмиров, А.К. Гаськов // Вестник ивановского государственного энергетического университета. -2015. - №5. – с. 26-31.

81. Жданов, Н.Н. Использование теплозащитного покрытия для энергосбережения / Жданов Н.Н., Р.М. Гарипов, А.И. Хасанов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. - №16 (17). – с. 78-80.

82. Вытчиков, Ю.С. Определение теплозащитных характеристик керамических теплоизоляционных покрытий / Ю.С. Вытчиков, М.Е. Сапарев // Сборник «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре материалы 70-ой юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2012 г. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – 2013. – с. 277-280.

83. Манишев, О.И. Экспериментальное определение коэффициентов теплопроводности и эффективности сверхтонких теплоизоляционных покрытий / О.И. Манишев, Ю.И. Правник, Р.А. Садыков, И.А. Сафин, С.А. еремин // Вестник КГАСУ. – 2013. - №1 (23). – с. 135-142.

84. Пат. 1814650 SU: МПК⁵¹ C08 L 71/00 61/00, C08 J 5/04 9/42. Композиция для синтактного пенопласта / В.И. Костюков, И.Ю. Мухина, В.Т. Иванов, Т.В. Шабанова; - №4836536/05; заявл. 20.04.90; опубл. 07.05.93, Бюл. №17.

85. Заявка на изобретение 93052300 МПК⁵¹ C04B26/14, C04B26/14, C04B14:24, C04B24:12, C09D163/00 Вещество для теплоизоляционного покрытия трубопроводов / И.Б. Дубин, А.П. Газиянц, И.И. Лаптев, М.Н. Мансуров, Э.И. Саркисов., заявл. 20.04.90; опубл. 07.05.93. – 1 с.

86. Пат. 2039070 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 183/04, C09D 5/18, B05B 1/38. Способ получения огнестойкого покрытия / И.С. Епифановский, Ю.И. Димитриенко, Ю.В. Полежаев, Ю.В. Медведев, Д.С. Михатулий; заявитель и патентообладатель: И.С. Епифановский - № 93027483/05; заявл. 18.05.1993; опубл. 09.07.1995, – 2 с.

87. Пат. 2220988 Российская Федерация: МПК⁵¹ C08L 9/08, C08L 61/24. Теплоизоляционная композиция / А.М. Сычев, О.В. Зырянов; заявитель и патентообладатель: А.М. Сычев, О.В. Зырянов - № 2002105442/04; заявл. 28.02.2002; опубл. 10.01.2004, Бюл. №1, – 2 с.

88. Пат. 2206550 Российская Федерация: МПК⁵¹ C04B 41/48, C09D 109/00, E04B 1/76. Жидкое теплоизоляционное покрытие / Е.В. Основин; заявитель и патентообладатель: Е.В. Основин - № 2001115852/03, ; заявл. 14.06.2001; опубл. 20.06.2003, Бюл. № 17, – 2 с.

89. Пат. 2342415 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 183/00, C09D 5/02. Покрытие жидкокерамическое изоляционное / Н.В. Мотрикалэ; заявитель и патентообладатель: Н.В. Мотрикалэ - № 2007125899/04; заявл. 10.07.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. №36 – 8 с.

90. Пат. 2251563 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 5/02, C09D 5/08. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер / В.С. Беляев; заявитель и патентообладатель: В.С. Беляев. - №2003112108/04; заявл. 24.04.93; опубл. 10.05.95, – 3 с.

91. Пат. 2304156 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 5/02, C09D 183/04, C09D 5/08. Водная композиция, наполненная полыми микросферами, для получения антикоррозионного и теплоизоляционного покрытия и способы получения покрытия на его основе / В.С. Беляев; заявитель и патентообладатель: В.С. Беляев - № 2005134980/04; заявл. 11.11.2005; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 22 – 8 с.

92. Пат. 2318782 Российская Федерация: МПК⁵¹ C04B 111/20, C09D 5/02, C09D 1/02, C09D 109/00, C04B 7/00, C04B 14/04, C08K 7/20. Теплоизоляционное покрытие / Е.Б. Брянцев; заявитель и

патентообладатель: Е.Б. Брянцев - № 2006119199/04; заявл. 02.06.2006; опубл. 10.03.2008, Бюл. № 7– 9 с.

93. Пат. 2400506 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 1/00, C08K 7/22. Теплозащитная композиция / Р.Х. Фатхутдинов, В.А. Маслов, С.А. Хафизова; заявитель и патентообладатель: ОАО «Казанский химический научно-исследовательский институт» - № 2009137667/04; заявл. 12.10.2009; опубл. 27.09.2010 Бюл. № 27 – 5 с.

94. Пат. 102021 Российская Федерация: МПК⁵¹ E04B 1/74. Теплоизоляционное покрытие / Г.Н. Якунин, И.П. Прокопьев, В.В. Бураков; заявитель и патентообладатель: Г.Н. Якунин, И.П. Прокопьев, В.В. Бураков - № 2010122173/03; заявл. 31.05.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4– 2 с.

95. Пат. 133546 Российская Федерация: МПК⁵¹ E04B 1/76. Теплоизоляционное покрытие / В.А. Рыженков, Н.А. Логинова, А.И. Бычков; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»» - № 2013115056/03; заявл. 04.04.2013; опубл. 20.10.2013, Бюл. № 29– 2 с.

96. Пат. 101466 Российская Федерация: МПК⁵¹ E04B 1/76, C09D 5/08, B22C 3/00. Теплоизоляционное покрытие / В.А. Рыженков, А.П. Кондратьев, А.Ф. Прищепов, Н.А. Логинова; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»» - № 2010137388/03; заявл. 09.09.2010; опубл. 20.01.2011, Бюл. № 2 – 2 с.

97. Куликова, Н.Г. Качественные дисперсии – основа для получения современных водных лакокрасочных материалов / Н.Г. Куликова // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2016. - №4. – с. 23-27.

98. Курдюкова, И.Б. Современные связующие для водоразбавляемых ЛКМ / И.Б. Курдюкова // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2013. - №6. – с. 31-34.

99. Кочкина, Н.В. Синтез и исследование свойств водно-

дисперсионных материалов, модифицированных полианилином / Н.В. Кочкина, В.Г. Курбатов, И.В. Голиков, Е.А. Индейкин // Лакокрасочные материалы и их применение. –2014. - №8. – с. 48-50.

100. Андруцкая, О.М. Перспективные направления производства ЛКМ / О.М. Андруцкая // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2015. - №3. – с. 30-34.

101. Казакова, Е.Е. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения / Е.Е. Казакова, О.Н. Скороходова. – М.: ООО «Пейнт-Медиа», 2003. – 136 с.

102. Ламбурн, Р. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика: Пер. с англ. / Под ред. Р. Ламбурна – СПб.: Химия, 1991. – 512 с.

103. Жданов, Н.Н. Влияние функционализированных мономеров на свойства акрилстирольной дисперсии и теплозащитного покрытия на ее основе / Н.Н. Жданов, Р.М. Гарипов, А.С. Левин // Вестник технологического университета. – 2016. т.19. - №23. – с. 65-67.

104. Ицко, Э.Ф. Принципы создания лакокрасочных материалов для покрытий с оптическими свойствами вне границ видимой области спектра. Часть 1 / Э.Ф. Ицко // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2004. - №5. – с. 24-27.

105. Шевченко, Д.В. Теплотехника: Справочные данные / Д.В. Шевченко. – Казань: Познание, 2010. – 127 с.

106. Прохоров, С.Б. Новые алюминиевые газообразователи / С.Б. Прохоров, Л.Ф. Вагина // Строительные материалы. – 2006. - №6. – с. 18-19.

107. Грикштас, Е.В. Металлические пигменты для производства декоративных порошковых красок / Е.В. Грикштас // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2005. - №9. – с. 18-21.

108. Толмачев, И.А. Применение водных алюминиевых паст в водно-дисперсионных ЛКМ / И.А. Толмачев, Н.А. Петренко // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2007. - №12. – с. 30-32.

109. Толмачев, И.А. Водные алюминиевые пасты / И.А. Толмачев, Н.А. Петренко, Д.В. Зарембо, М.В. Михеева // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2008. - №7. – с. 27-29.

110. Пат. 2251563 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 5/02, C09D 5/08. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер / В.С. Беляев; заявитель и патентообладатель В.С. Беляев. - №2003112108/04; заявл. 24.04.93; опубл. 10.05.95, – 3 с.

111. Пат. 2350602 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 5/18, C09D 5/02, B32B 27/20. Способ получения теплоизоляционного и огнестойкого многослойного комбинированного полимерного покрытия / В.С. Беляев, И.М. Федотов; заявитель и патентообладатель В.С. Беляев. - №2007118758/04; заявл. 22.05.2007; опубл. 20.04.2009, Бюл. №11, – 3 с.

112. Гарипов, Г.М. Энергосберегающее покрытие на основе акриловых дисперсий и полых стеклянных микросфер / Г.М. Гарипов // Вестник казанского технологического университета. – 2014. т.17. -№6. – с. 45-47.

113. Пат. 2502763 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 5/08, C09D 5/02. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер / А.С. Платов; заявитель и патентообладатель А.С. Платов. - №2012121306/05; заявл. 23.05.2012; опубл. 27.12.2013, Бюл. №36, – 3 с.

114. Пат. 2039070 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 183/04, C09D 5/18, B05D 1/38. Способ получения огнестойкого покрытия / И.С. Епифановский, Ю.И. Димитриенко, Ю.В. Полижаев, Ю.В. Медведев, Д.С. Михатулий; заявитель и патентообладатель И.С. Епифановский. - №93027483/05; заявл. 18.05.93; опубл. 09.07.95,– 3 с.

115. Пат. 2374281 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 5/08, C09D 5/02, C09D 167/00. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер / Е.Н. Воробьев; заявитель и патентообладатель Е.Н. Воробьев. - №2008133899/04; заявл. 18.08.2008; опубл. 27.11.2009, Бюл. №33, – 3 с.

116. Пат. 2245350 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09D 5/08, C09D 1/04. Термозащитная краска / В.Н. Фасюра, Е.Ю. Владиславлева, С.С. Захваткин; заявитель и патентообладатель В.Н. Фасюра, Е.Ю. Владиславлева, С.С. Захваткин. - №2003125071/04; заявл. 14.08.2003; опубл. 27.01.2005, Бюл. №3, – 3 с.

117. Пат. 2311397 Российская Федерация: МПК⁵¹ C09B 41/48, C09D 5/18, C09D 109/04, C09D 113/02. Состав для получения теплозащитного покрытия / С.Т. Самсоненко; заявитель и патентообладатель ООО «Дуайт». - №2005140309/03; заявл. 23.12.2005; опубл. 27.11.2007, Бюл. №33, – 3 с.

118. Пат. 2059574 Российская Федерация: МПК⁵¹ C03B 19/10. Способ получения полых стеклянных микросфер / В.В. Будов, А.В. Космяков, В.Г. Калыгин, Ф.М. Филипков, А.Д. Ишков; заявитель и патентообладатель В.В. Будов, А.В. Космяков, В.Г. Калыгин, Ф.М. Филипков, А.Д. Ишков. - №925041215; заявл. 07.05.1992; опубл. 10.05.1996.

119. Пат. 2319673 Российская Федерация: МПК⁵¹ C03B 19/10. Устройство для изготовления стеклянных микрошариков и микросфер / А.Н. Трофимов, Т.Л. Басаргин, Н.Н. Трофимов, В.И. Адрианов, И.В. Молоков; заявитель и патентообладатель ОАО «Научно-производственное объединение»Стаклопластик» - №2006124631/03; заявл. 11.07.2006; опубл. 20.03.2008, Бюл. №8, – 3 с.

120. Пат. 2465224 Российская Федерация: МПК⁵¹ C03B 19/10. Способ изготовления полых стеклосфер, сырьевая шихта для изготовления полых стеклосфер / В.С. Лесовик, В.В. Строкова, Р.В. Лесовик, А.В. Ключков, А.В. Мосьпан; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г*. Шухова» - №2011122881/03; заявл. 06.06.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. №30, – 3 с.

121. Пат. 2527427 Российская Федерация: МПК⁵¹ C03B 19/10, B82B 3/00. Способ производства микрошариков и микросфер / В.Б. Черногиль, Ж. Корназ, В.Н. Гринавцев, О.В. Гринавцев, С.Б. Пепеляев; заявитель и патентообладатель В.Б. Черногиль, Ж. Корназ, В.Н. Гринавцев, О.В.

Гринавцев, С.Б. Пепеляев - №2013106584/03; заявл. 14.02.2013; опубл. 27.08.2014, Бюл. №24, – 3 с.

122. Низина, Т.А. Энергоэффективные жидкие теплоизоляционные покрытия на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей / Т.А. Низина, Е.А. Инин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. - №4. – с. 33-41.

123. Низина, Т.А. Анализ влияния обжига диатомита на теплопроводность жидких теплоизоляционных покрытий / Т.А. Низина, Е.А. Инин, О.А. Синюков, В.А. Неверов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2016. - №2. – с. 86-89.

124. Низина, Т.А. Анализ влияния обжига диатомита на теплопроводность жидких теплоизоляционных покрытий / Т.А. Низина, Е.А. Инин, В.А. Неверов // Известия вузов. Строительство. – 2016. - №1. – с. 24-30.

125. Пат. 2257267 Российская Федерация: МПК⁵¹ В03В 7/00, С04В 18/10. Способ получения микросфер / заявитель и патентообладатель ООО «Нормин» - №2003118293/03; заявл. 20.06.2003; опубл. 27.07.2005, Бюл. №21, – 5 с.

126. Теряева, Т.Н. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер / Т.Н. Теряева, О.В. Костенко, З.Р. Исмагилов, Н.В. Шикина, Н.А. Рудина, В.А. Антипова // Вестник Кузбасского Государственного технического университета. – 2013. - №5. – с. 86-90.

127. Пат. 2047379 Российская Федерация: МПК⁵¹ В03В 5/62. Устройство для выделения полых микросфер из золошлаковой пульпы / А.С. Кузин, И.П. Прокопьев, Г.Н. Якунин; заявитель и патентообладатель А.С. Кузин, И.П. Прокопьев, Г.Н. Якунин - №5034964/03; заявл. 31.03.1992; опубл. 10.11.1995, – 4 с.

128. Пат. 2583794 Российская Федерация: МПК⁵¹ В03В 9/00. Устройство для получения микросфер из золошлаковых отходов тепловых электростанций / Э.Д. Яцек; заявитель и патентообладатель АО «ЭКО

ЭКСПОРТ» - №2014153845/03; заявл. 31.12.2014; опубл. 10.05.2016, Бюл. №13, – 4 с.

129. Пат. 2013410 Российская Федерация: МПК⁵¹ C04B 18/10, B03B 5/64. Способ получения микросфер из водной суспензии летучей золы тепловых электростанций / В.М. Маркелов, Ю.А. Сонин, Г.П. Ершова, Е.А. Сидорова, В.И. Яковлева, И.С. Павловская, Л.Ю. Жарикова; заявитель и патентообладатель Всесоюзный Государственный научно-исследовательский и проектный институт асбестовой промышленности - №915006192; заявл. 09.08.1991 – 4 с.

130. Пат. 2263634 Российская Федерация: МПК⁵¹ C01B 33/26, C01B 1/10. Способ получения алюмосиликатных микросфер из золошлаковых отходов теплоэлектростанций и печь для сушки алюмосиликатных микросфер / А.Н. Смаль, М.Р. Предтеченский; заявитель и патентообладатель ООО «Научный центр «Эпитаксия» - №2004130067/15; заявл. 11.10.2004; опубл. 10.11.2005, Бюл. №31, – 4 с.

131. Дрожжин, В.С. Процессы образования и основные свойства полых алюмосиликатных микросфер в золах-уноса тепловых электростанций / В.С. Дрожжин, М.Я. Шпирт, Л.Д. Данилин, М.Д. Куваев, И.В. Пикулин, Г.а. Потемкин, С.А. Редюшев // Химия твердого топлива. – 2008. - №2. – с. 53-66.

132. Яковлев, А.Д. Порошковые краски с применением микросфер / А.Д. Яковлев, Н.З. Евтюков, Т.И. Гольц // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2011. - №9. – с. 34-36.

133. Моисеев, С.С. Оптические свойства теплоизоляционной керамики из микробаллонов оксида алюминия / С.С. Моисеев, В.А. Петров, С.В. Степанов // ТГВ. – 2004. Т.42. - №1. – с. 137.

134. Домбровский, Л.А. Приближенные модели рассеяния излучения в керамике из полых микросфер / Л.А. Домбровский // Теплофизика высоких температур. 2004. Т. 42. -№5. – с. 772-779

135. Верховланцев, В.В. Водные краски на основе синтетических полимеров / В.В. Верховланцев. – Л.: Химия, 1968. – 200 с.

136. Мюллер, Б. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур / Б. Мюллер, У Пот. – М.: ООО «Пейнт-Медиа», 2007. – 237 с.
137. Орлова, О.В. Технология лаков и красок / О.В. Орлова, Т.Н. Фомичева. – М. Химия, 1990. – 384 с., ил.
138. Индейкин, Е.А. Пигментирование лакокрасочных материалов / Е.А. Индейкин, Л.Н. Лейбзон, И.А. Толмачев. – Л.: Химия, 1986. – 160 с.
139. Иноземцев, А.С. Полые микросферы – эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. - №10. – с. 80-83.
140. Иноземцев, А.С. Особенности реологических свойств высокопрочных легких бетонов на полых микросферах / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Вестник МГСУ. – 2013. - №6. – с. 100-108.
141. Иноземцев, А.С. Динамика развития высокопрочных легких бетонов. Анализ мировых достижений / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. - №12-1 (19). – с. 87-94.
142. Беляев, К.В. Общая схема получения облегченных и сверхлегких цементных растворов / К.В. Беляев, В.С. Семенов, Д.В. Орешкин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. - №11. – с. 32-33.
143. Орешкин, Д.В. Теплофизические свойства, пористость и паропроницаемость облегченных цементных растворов / Д.В. Орешкин, К.В. Беляев, В.С. Семенов // Строительные материалы. – 2010. - №8. – с. 51-54.
144. Орешкин, Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства / Д.В. Орешкин // Строительные материалы. – 2010. - №6. – с. 34-37.
145. Орешкин, Д.В. Высококачественные строительные и тампонажные растворы с полыми стеклянными микросферами / Д.В.

Орешкин, К.В. Беляев, В.С. Семенов // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. - №10. – с. 56-58.

146. Орешкин, Д.В. Полые микросферы – эффективный наполнитель в строительные и тампонажные растворы / Д.В. Орешкин, К.В. Беляев, В.С. Семенов, У.Е. Кретова // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. - №9. – с. 50-51.

147. Орешкин, Д.В. Полые стеклянные микросферы и прочность цементного камня / Д.В. Орешкин, К.В. Беляев, В.С. Семенов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. - №11. – с. 45-57.

148. Орешкин, Д.В. Формирование структуры цементных растворов с полыми стеклянными микросферами / Д.В. Орешкин, К.В. Беляев, В.С. Семенов // Вестник МГСУ. – 2010. - №3. – с. 140-146.

149. Домкин, К.И. Оптические методы определения размеров мелкодисперсных материалов / К.И. Димкин, В.А. Трусов, В.Г. Недорезов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2011. том. 2. – с. 154-158.

150. ГОСТ 32299-2013 «Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва». – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.

151. ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 13 с.

152. ГОСТ 31975-2017 (ИСО 2813:2014) «Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий под углом 20°, 60°, 85°». – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.

153. ГОСТ 9.032-74 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения». – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 23 с.

154. ГОСТ 25380-82. «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 9 с.
155. ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций». – М.: Издательство стандартов, 1994. – 20 с.
156. Руководство по измерению тепловых потоков в ограждающих конструкциях эксплуатируемых зданий и сооружений при помощи прибора ИТП-7/НИИСФ Госстроя СССР, ИТТФ АН УССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 16 с.
157. ГОСТ 28196-89 «Краски водно-дисперсионные. Технические условия» - М.: Стандартиформ, 2007. – 10 с.
158. ГОСТ 8832-76 (ИСО 1514-84) «Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытания». – М.: Стандартиформ, 2006. – 13 с.
159. ГОСТ Р 51694-2000 (ИСО 2808-97) «Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия». – М.: Стандартиформ, 2006. – 17 с.
160. ГОСТ 8784-75 «Материалы лакокрасочные. Методы определения укрывистости». – М.: Издательство стандартов, 2002. – 10 с.
161. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.
162. Шорин, С.Н. Теплопередача / С.Н. Шорин. – М.: Высшая школа, 1964. – 489 с.
163. Кушнырев, В.И. Техническая термодинамика и теплопередача: Учебник для вузов / В. И. Кушнырев, В. И. Лебедев, В. А. Павленко. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
164. Арнольд, Л.В. Техническая термодинамика и теплопередача / Л.В. Арнольд, Г.А. Михайловский, В.М. Селиверстов. – М.: Высшая школа, 1979. – 446 с.

165. Охотин, В.С. Основы теплотехники / В.С. Охотин, В.М. Жидких. – М.: Высшая школа, 1984. – 216 с.
166. Лариков, Н.Н. Общая теплотехника / Н.Н. Лариков. – М.: Стройиздат, 1975. – 559 с.: ил.
167. Телегин, А.С. Тепло-массоперенос / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. – М.: Металлургия, 1995. – 400 с.
168. Цветков, Ф.Ф. Тепломассообмен / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательство МЭИ, 2011. – 562 с.
169. ГОСТ 19007-73 «Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания». – М.: Издательство стандартов, 2003. – 7 с.
170. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» – М.: Минрегион России, 2012. – 139 с.

Приложения

ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 63389

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МНОГОСЛОЙНЫЙ ПАКЕТ
(ВАРИАНТЫ)**

Патентообладатель(ли): *Государственное общеобразовательное учреждение высшего профессионального образования Тюменский государственный архитектурно-строительный университет (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2006145925

Приоритет полезной модели 25 декабря 2006 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 мая 2007 г.

Срок действия патента истекает 25 декабря 2011 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

Автор(ы): *Зимакова Галина Александровна (RU), Панченко Юлия Федоровна (RU), Брежнева Надежда Ивановна (RU), Отраднов Анатолий Николаевич (RU), Кутушев Анвар Гумерович (RU)*

RU 63389 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **63 389** ⁽¹³⁾ **U1**
(51) МПК
E04B 7/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ(титульный лист)

(21), (22) Заявка: 2006145925/22, 25.12.2006
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.12.2006
(45) Опубликовано: 27.05.2007 Бюл. № 15
Адрес для переписки:
115569, Москва, ул. Шипиловская, 5, кв.182,
О.И. Брик

(72) Автор(ы):
Зимакова Галина Александровна (RU),
Панченко Юлия Федоровна (RU),
Брежнева Надежда Ивановна (RU),
Отрадных Анатолий Николаевич (RU),
Кутушев Анвар Гумерович (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Государственное общеобразовательное
учреждение высшего профессионального
образования Тюменский государственный
архитектурно-строительный университет (RU)

(54) ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МНОГОСЛОЙНЫЙ ПАКЕТ (ВАРИАНТЫ)

(57) Формула полезной модели

1. Теплоизоляционный многослойный пакет, содержащий несущий основной слой, расположенные со стороны одной из его поверхностей два теплоизоляционных слоя, и слой гипсокартона, расположенный между указанными теплоизоляционными слоями, при этом каждый теплоизоляционный слой представляет собой пленочное покрытие, образованное композицией, выполненной на основе жидкой фольги с равномерно распределенными в ее объеме заполненными воздухом стеклокерамическими микросферами, и включающей следующие компоненты при их соотношении, мас. %:

Жидкая фольга	44-62
Стеклокерамические микросферы	36-48
Пластификатор	2-8

2. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.1, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из бетона или железобетона.

3. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.1, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из металла или из древесины, или из кирпича керамического или силикатного, или из пластмассы, или из керамики или из блоков керамзитобетонных или ячеистых или из шлакоблоков.

4. Теплоизоляционный многослойный пакет, содержащий несущий основной слой, расположенные со стороны одной из его поверхностей два теплоизоляционных слоя, и подложку с теплосберегающими свойствами, расположенную между указанными теплоизоляционными слоями, при этом каждый теплоизоляционный слой представляет собой пленочное покрытие, образованное композицией, выполненной на основе жидкой фольги с равномерно распределенными в ее объеме заполненными воздухом стеклокерамическими микросферами и включающей следующие компоненты при их соотношении, мас. %:

Жидкая фольга	44-62
Стеклокерамические микросферы	36-48
Пластификатор	2-8

Стр.: 1

RU 63389 U1

RU 63389 U1

5. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.4, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из бетона или железобетона.

6. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.4, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из металла или из древесины, или из кирпича керамического или силикатного, или из пластмассы, или из керамики или из блоков керамзитобетонных или ячеистых или из шлакоблоков.

7. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.4, отличающийся тем, что подложка с теплосберегающими свойствами выполнена из древесины или из стеклопластика, или из бетона, или из пластмассы, или в виде цементностружечной плиты, или в виде древесноволокнистой панели или в виде древесностружечной панели или представляет собой слой кирпича.

8. Теплоизоляционный многослойный пакет, содержащий несущий основной слой, расположенные со стороны одной из его поверхностей и один за другим утеплительный слой и теплоизоляционный и слой, и расположенный между утеплительным и теплоизоляционным слоями слой гипсокартона, при этом теплоизоляционный слой представляет собой пленочное покрытие, образованное композицией, выполненной на основе жидкой фольги с равномерно распределенными в ее объеме заполненными воздухом стеклокерамическими микросферами и включающей следующие компоненты при их соотношении, мас. %:

Жидкая фольга	44-62
Стеклокерамические микросферы	36-48
Пластификатор	2-8

9. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.8, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из бетона или железобетона.

10. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.8, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из металла или из древесины, или из кирпича керамического или силикатного, или из пластмассы, или из керамики или из блоков керамзитобетонных или ячеистых или из шлакоблоков.

11. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.8, отличающийся тем, что утеплительный слой представляет собой слой пенополиуретана.

12. Теплоизоляционный многослойный пакет, содержащий несущий основной слой, расположенную со стороны одной из его поверхностей и соединенную с ним подложку в виде решетки из древесины, слой гипсокартона, соединенный со стороны одной из своих поверхностей с упомянутой подложкой, и теплоизоляционный слой, расположенный со стороны другой поверхности гипсокартона и представляющий собой пленочное покрытие, образованное композицией, выполненной на основе жидкой фольги с равномерно распределенными в ее объеме заполненными воздухом стеклокерамическими микросферами и включающей следующие компоненты при их соотношении, мас. %:

Жидкая фольга	44-62
Стеклокерамические микросферы	36-48
Пластификатор	2-8

13. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.12, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из бетона или железобетона.

14. Теплоизоляционный многослойный пакет по п.12, отличающийся тем, что несущий основной слой выполнен из металла или из древесины, или из кирпича керамического или силикатного, или из пластмассы, или из керамики или из блоков керамзитобетонных или ячеистых или из шлакоблоков.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ №1

г. Тюмень



АКТ ВНЕДРЕНИЯ
теплоотражающе - теплоизолирующего покрытия

Объект внедрения: Административно-торговый комплекс по ул.Харьковская-Одесская, г.Тюмень.

Предмет внедрения: Наружные ограждающие конструкции построенного объекта после выполнения штукатурных работ были покрыты теплоотражающе-теплоизоляционным материалом. Покрытие выполнено с целью достижения требуемого сопротивления теплопередаче однослойной кирпичной стены.

Объем внедрения: 6014,76м².

Полученные результаты: Теплоотражающе – теплоизолирующее покрытие позволяет уменьшить результирующий тепловой поток проходящий через стеновую конструкцию на 25%. Это позволяет получить экономический эффект в виде экономии энергоресурсов на отопление здания 8%. С точки зрения технологических решений, простота выполнения строительных работ, низкий расход, обеспечивает снижение затрат на 1м² стены на 98руб. 20коп. по сравнению с трехслойной ограждающей конструкцией. Безотходность материала, высокие теплотехнические параметры позволили получить экономический эффект на данном строительном объекте 590,6 тыс. руб., и снизить расход тепла на отопление здания за отопительный период на 394022 МДж.

Зав.кафедрой
строительные материалы
ТюмГАСУ
Г.А. Зимакова.
«01» 09.2005г.

Главный специалист
ГУИ АГЦ АТО
А.Н. Отраднов
«01» 09. 2005г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕРОПРИЯТИЯ №2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
Общество с ограниченной ответственностью
«СтройТрест»

625000, Российская Федерация, Тюменская область
г. Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 51, оф. 1010
тел./факс: (3452) 728-485, 728-486
stroytrest72@mail.ru

ИНН 7202223789, КПП 720201001, ОКВЭД 45.2, 51.56.5
р/с 4070281040000000223
в ЗАО «Приполяркомбанк», г. Тюмень
к/с 3010181030000000766, БИК 047102766



УТВЕРЖДАЮ:
Исполнительный директор
ООО «СтройТрест»
Черникова Л.В.
« 07 » декабря 2017 г.

АКТ
о внедрении

Объект внедрения: «Совмещенная малоэтажная застройка п. Винзили Тюменского района, ул. 60 лет. Октября»

Предмет внедрения: Лакокрасочное теплоизоляционное покрытие.

Цель внедрения: Утепление мауэрлата в конструкции мансардной кровли.

Основания для внедрения: Промерзание мауэрлата, установленное по результатам тепловизионного обследования. Так как данный факт был установлен после окончания строительных работ, выполнить дополнительное утепление снаружи здания не представлялось возможным. Комиссионно было принято решение, что утепление с применением пенополистирола, приведет к конденсации влаги за утеплителем, что приведет к быстрому развитию процессов гниения древесины мауэрлата.

Объем внедрения: За период с 20.05.2017 г. по 20.09.2017 г. была выполнена окраска мауэрлата мансардной кровли в 50-ти двухквартирных домах лакокрасочным теплоизоляционным покрытием на основе водной дисперсии полимера. Общая площадь окрашенных конструкций – 480 м².

Технический результат: По результатам повторного тепловизионного обследования, после нанесения покрытия, установлено значительное снижение теплотерьер через мауэрлат.

Материалы для внедрения: Пат. 63389 U 1 Российская Федерация: МПК⁵¹ E04B 7/00. Теплоизоляционный многослойный пакет / Г.А. Зимакова; Ю.Ф. Панченко и др.// заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Тюменский государственный архитектурно-строительный университет. - №2006145925/22; заявл. 25.12.06; опубл. 27.05.07, Бюл. № 15. Результаты диссертационного исследования Панченко Ю.Ф. на тему «Лакокрасочное теплоизоляционное покрытие на основе водной дисперсии полимера»

Главный инженер

Смирнов Е.В.

Начальник ПТО

Придворова А.В.

2017

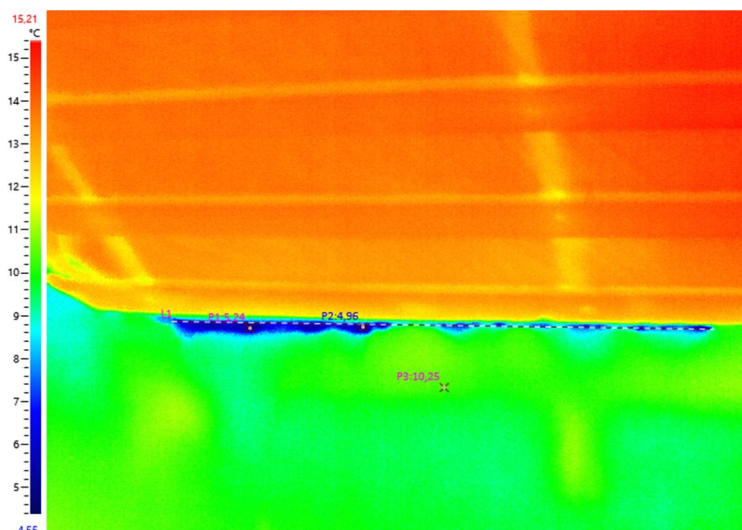
ОТЧЕТ

по результатам тепловизионного обследования
на объекте: «Дом №7 в коттеджном поселке
"Sunrise", п. Винзили»



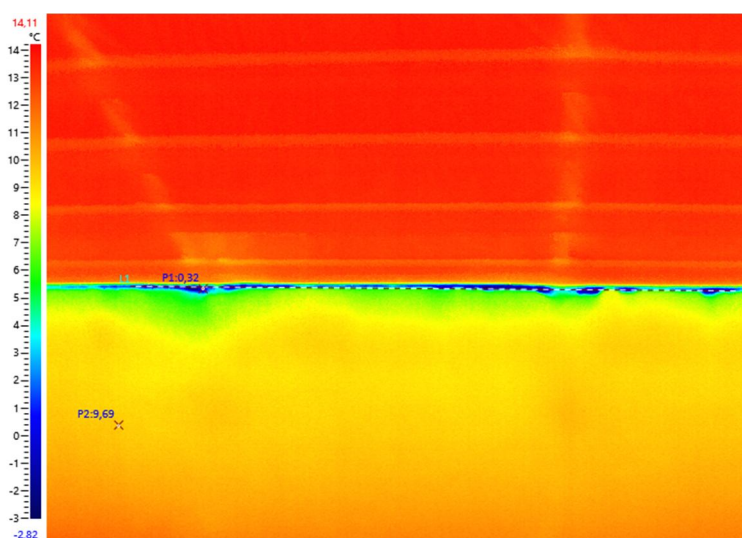
Лаборатория по энергосберегающему
контролю «Спектр»

Мауэрлат без покрытия



Мин. температура
-2,31 °C
Состояние
Температура внутри: Этаж №2: 13,8°С Влажность внутри: Этаж №2: 43,4%
Дополнительная информация
Пониженные температуры в местах примыкания ограждающей конструкции к кровле.

Мауэрлат с лакокрасочным теплоизоляционным покрытием



Мин. температура
5,59 °C
Состояние
Температура внутри: Этаж №2: 13,8°С Влажность внутри: Этаж №2: 43,4%
Дополнительная информация
Пониженные температуры в местах примыкания ограждающей конструкции к кровле.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

1. Влияние композиционного теплоизоляционного покрытия на энергетические показатели объекта по результатам натурных обследований.

Натурные обследования проведены на строящемся объекте – торговом офисе по ул. Одесская – Харьковская. Результаты теплотехнических испытаний показали, что:

- приведенное термическое сопротивление ограждающей конструкции без композиционного теплоизоляционного покрытия – $R^{прив}=2,5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$;

- приведенное термическое сопротивление ограждающей конструкции с нанесенным с внутренней стороны композиционным теплоизоляционным покрытием и обшивкой гипсокартоном - $R^{прив}=3,4 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Данный объект имеет следующие характеристики:

Таблица Г.1 – Расчетные условия

Наименование расчетных показателей	Обознач.	Ед. изм.	Величина
Расчетная температура внутреннего воздуха	t_{in}	°С	18
Расчетная температура наружного воздуха	t_{ext}	°С	-38
Расчетная температура «теплого» чердака	t_{int}^c	°С	15
Расчетная температура «теплого» подвала	t_{int}^f	°С	2
Продолжительность отопительного периода	Z_{hf}	сут	225
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t_{ext}^{av}	°С	-7,2
Градусосутки отопительного периода	D_d	°С *сут	5670

Таблица Г.2 – Объемно-планировочные параметры здания

Показатель	Обозначение и размерность показателя	Значение
1	2	3
Общая площадь наружных ограждающих конструкций, здания в том числе:	$A_t^{sum}, м^2$	9750,4
- стен по продольным фасадам (и зданий башенного типа)	$A_w, м^2$	5229,55
- торцевых стен многосекционных зданий	$A_w, м^2$	785,214
- окон, в т. ч. ориентированных на:	$A_F, м^2$	1374,34
- север		0
- северо-восток(северо-запад)		584,13
- восток (запад)		135,73
- юго-восток (юго-запад)		590,34
- юг		0
- зенитных фонарей		64,14
- входных дверей	$A_{ed}, м^2$	43,75
- покрытия (совмещенного покрытия)	$A_c, м^2$	1236,68
- чердачного перекрытия (холодного чердака)		0
- перекрытий «теплых» чердаков		0
- перекрытия над «теплыми» подвалами	$A_f, м^2$	944,57
- перекрытий над неотапливаемыми подвалами		0
- перекрытий над проездами и эркерами		136,32
- пола по грунту		0
Отапливаемая площадь здания	$A_h, м^2$	9626,48
Полезная площадь	$A_l, м^2$	8072,4
Отапливаемый объем	$V_h, м^3$	29801,262
Коэффициент остекленности фасада здания	ρ	0,23
Показатель компактности здания	k_e^{des}	0,24

Таблица Г.3 - Энергетические показатели

Показатель	Обозначение и размерность показателя	Значение	
		без покрытия	с покрытием
Теплотехнические показатели			
Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций:	R_0^r , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$		
- стен по продольным фасадам(и зданий башенного типа)	R_w	2,7	3,8
- торцевых стен многосекционных зданий	R_w	2,7	3,8
- окон и балконных дверей	R_f	0,54	0,54
- входных дверей	R_{ed}	1,02	1,02
- покрытия (совмещенного покрытия)	R_c	5	5
- чердачного перекрытия (холодного чердака)		0	0
- перекрытий теплых чердаков		4,02	4,02
- перекрытий над «теплыми» подвалами	R_f	1,17	1,17
- перекрытий над не отапливаемыми подвалами		0	0
- перекрытий над проездами и эркерами		3,85	3,85
- пола по грунту		0	0
Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания	K_m^{tr} , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,672	0,599
Кратность воздухообмена	n_a , 1/ч	1	1
Приведенный (условный) инфильтрационный коэффициент теплопередачи здания	K_m^{inf} , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	0,770	0,770
Общий коэффициент теплопередачи здания	K_{m_2} , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	1,442	1,369
Теплоэнергетические показатели			
Общие теплотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период	Q_h , МДж	6887863	6539171
Удельные бытовые тепловыделения в здании	q_{int} , $\text{Вт}/\text{м}^2$	10	10
Бытовые теплоусвоения в здание за отопительный период	Q_{int} , МДж	1569275	1569275
Теплопоступления в здание от	Q_s	1158783	1158783

солнечной радиации за отопительный период	МДж		
Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	Q_h^y , МДж	5317121	4923099
Удельный расход тепловой энергии на отопление здания	q_h^{des} кДж/(м ² ·К·с ут)	98,2	90,2
	q_v^{des} кДж/(м ² ·К·с ут)	31,5	29,1

По результатам расчетов q_h^{des} здания с применением лакокрасочного теплоизоляционного покрытия уменьшится на 8 %, что позволяет присвоить зданию категорию энергетической эффективности – 2-нормальную.

2. Оценка экономической эффективности предлагаемых решений

Сравнение стоимости 1 м² наружной стены выполнено для конструкций с одинаковым сопротивлением теплопередаче – 2,75.

Таблица Г.4 – Конструкция 1

Наименование материала слоя	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности слоя, Вт/м·К	Термическое сопротивление, м ² К/Вт
Кладка из лицевого керамического кирпича	0,12	0,45	0,27
Пенополистирол	0,05	0,043	1,19
Кладка из рядового керамического кирпича	0,51	0,45	1,13
Штукатурный раствор	0,01	0,87	0,01
Итого			2,6

Таблица Г.5 – Конструкция 2

Наименование материала слоя	Толщина слоя, м	Коэффициент теплопроводности слоя, Вт/м·К	Термическое сопротивление, м ² К/Вт
Кладка из лицевого керамического кирпича	0,12	0,45	0,27
Кладка из рядового керамического кирпича	0,51	0,45	1,13
Композиционное теплоизоляционное покрытие	0,002		0,375
Воздушная прослойка	0,02		0,38
Композиционное теплоизоляционное покрытие	0,002		0,375
Гипсокартонный лист	0,01	0,14	0,07
Итого			2,6

Расчет затрат по кладке 1 м² наружной стены Административно-торгового комплекса по ул. Харьковская – Одесская с утеплением пенополистиролом выполнен по состоянию цен на 2005 г и отражен в таблице Г.6.

Таблица Г.6 – Расчет затрат на 1 м² наружной стены с утеплителем

№ п/п	Перечень работ	Ед. изм	Кол-во	Цена за един.	Итого
I.	З/ПЛАТА				
1.	Колодцевая кладка забутовочного слоя из кирпича М-125	м ³	0.51	520.00	265.20
2.	Кладка облицовочного слоя М-150 с разделкой швов под расшивку	м ³	0.12	500.00	60.00

3.	Укладка пенополистирола в колодцевую кладку наружной стены.	м ³	0.05	500.00	25.00
4.	Улучшенная штукатурка цементным раствором	м ³	1	80.00	80.00
5.	Приготовление раствора (0.63x0.33м3)+0.02	м ³	0.227	104.40	23.70
	Итого:				454.00
	Удорожание по з/плате 15%				68.00
	Итого ФОТ				522.00
	Отчисление 37.5%				196.00
	Итого:				718.00
	Накладные 105%				548.00
	Плановая прибыль 70%				365.00
	Всего по разделу I				1631.00
П.	МАТЕРИАЛЫ				
1.	Кирпич забутовочный М-125	м3	0.51x380= 194	5.15	999.10
2.	Кирпич облицовочный М-125	м3	0.12x380= 46	6.20	285.20
3.	Пенополистирол	м3	0.05	1400.00	70.00
4.	Стоимость кладочного и штукатурного раствора.				
	Штукатурный раствор				
4.1	цемент	кг	104	1.15	119.60
4.2	песок	кг/м ³	345/0.23	2.49	0.57
4.3	вода	м ³ /л	0.056/56	17.63	0.98
	Кладочный раствор				
4.4	цемент	кг	4.9	1.15	5.63
4.5	песок	кг/м ³	21.9/0.01	2.49	0.024
4.6	вода	м ³ /л	0.003/3.24	17.63	0.052
	Итого по разделу II				1481.15
	Всего по разделам I, II				3112.15

Расчет затрат по кладке 1 м² наружной стены Административно-торгового комплекса по ул. Харьковская – Одесская с применением композиционного теплоизоляционного покрытия и последующей обшивкой

гипсокартонном выполнен по состоянию цен на 2005 г и представлен в таблице Г.7.

Таблица Г.7 – Расчет затрат на 1 м² наружной стены с применением лакокрасочного теплоизоляционного покрытия

№ п/п	Перечень работ	Ед. изм.	Кол-во	Цена за едн.	Итого
I.	З/ПЛАТА				
1.	Кладка из забутовочного кирпича М-125	м ³	0.51	400.00	204.00
2.	Кладка облицовочного слоя М-150 с разделкой швов под расшивку	м ³	0.12	500.00	60.00
3.	Нанесение на внутреннюю поверхность наружной стены и гипсокартонный лист краски (4 слоя)	м ²	1	28.00	28.00
4.	Установка направляющих	м.п.	2	11.00	22.00
5.	Обшивка стен гипсокартоном ГВЛ	м ²	1	26.55	26.55
	Итого з/платы				340.55
	Удорожание по з/плате 15%				51.08
	Итого ФОТ				391.63
	Отчисление 37.5%				146.86
	Итого:				538.49
	Накладные 105%				411.21
	Плановая прибыль 70%				274.14
	Всего по разделу I				1223.84
II.	МАТЕРИАЛЫ				
1.	Кирпич забутовочный М-125	м ³	0.51x380	5.15	999.10
2.	Кирпич облицовочный М-125	м ³	0.12x380	6.20	285.20
3.	Краска «Изолат» 3 слоя	кг	0.8	360.00	288
4.	Гипсокартон КНАУФ 6=9.5мм	м	1	56.33	56.33
5.	Комплекующие изделия для ГВЛ	м	1	55.78	55.78
6.	Стоимость кладочного раствора				
6.1	цемент	кг	4.9	1.15	5.63
6.2	песок	кг/м ³	21.9/0.01	2.49	0.024
6.3	вода	мл	0.003	17.63	0.05
	Итого по разделу II				1690.11
	Всего по разделам I, II				2913.95

Как свидетельствуют расчеты, использование предлагаемых инженерных решений обеспечивает снижение затрат на 1 м² наружной стены на 198,2 руб., что для рассматриваемого объекта составит 1 млн 140 тыс. руб.

ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПРИ НАНЕСЕНИИ КОМПОЗИЦИОННОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Расход материалов для получения высоко качественного покрытия зависит от физико-механических свойств (укрывистость, плотность, толщина слоя) и для грунтованных поверхностей не должен превышать 400 г/м^2 для нанесения первого слоя. Для шероховатых поверхностей норма расхода для 1-го слоя увеличивается на 20-30 %.

Технология нанесения:

- Подготовка поверхности:

Кирпичная поверхность.

Если здание вновь построенное, то к производству малярных работ следует приступать через 1 месяц для понижения щелочности раствора. При более раннем окрашивании следует использовать устойчивую к щелочам грунтовку. Для обеспечения хорошей адгезии покрытия кирпичную поверхность следует очистить от высолов при помощи чистой воды и жесткой проволочной щетки, а затем тщательно промыть сверху вниз для удаления грязи или рыхлых поверхностных частиц. Имеющиеся трещины следует заделать, заполнив их акриловыми грунтовками на водной основе, которые имеют наименьшую усадку.

Поверхность старого кирпича с высокой пористостью нужно загрунтовать герметизирующим составом для кирпичной кладки. Плесень следует полностью удалить при помощи раствора хлорной извести и воды (1:3). Затем поверхность нужно тщательно промыть чистой водой.

Известково-штукатурные поверхности.

Рекомендуется через 1 месяц начинать окраску новой штукатурки, за это время высокое содержание щелочных компонентов снижается до

приемлемого уровня, и благодаря гидратации, она достигает максимальной прочности.

Для лучших результатов перед окраской свежей штукатурки следует нанести слой акриловой грунтовки. На «старую» штукатурку, если это необходимо, для заполнения пор и пустот следует использовать бесцветную акриловую грунтовку. Расход покрытия на гладкой поверхности значительно уменьшится, а нанесенный слой будет иметь более ровный цвет. Перед нанесением покрытия на оштукатуренную поверхность без грунтовки, необходимо смочить ее водой, что предотвратит чрезмерно быстрое высыхание покрытия.

Бетонные поверхности.

Поверхность должна быть очищена от частиц пыли и грязи, плесени, масла. Применение покрытий на бетонных поверхностях (особенно во вновь построенных зданиях), позволяет достигать следующих целей:

- не препятствовать удалению испарений (паропроницаемость);
- не давать возможности выхода на поверхность солей кальция (высолы).

Если на объекте применялись цементные штукатурные смеси, их необходимо загрунтовать щелочеустойчивым пропитывающим составом.

Металлические и оцинкованные поверхности.

Поверхность должна быть обезжирена, очищена от ржавчины и окалины механическим способом. Применение пескоструйной обработки даст наилучший результат.

При подготовке под окраску целесообразно применение грунтовки с антикоррозийными добавками ГФ-021, или обезжиривающий и фосфатирующий состав СФ-1.

Если имело место применение преобразователя ржавчины, то продукты преобразования нужно смыть и поверхность обезжирить.

Оцинкованные поверхности необходимо обезжирить раствором бензин-калоша или раствором ацетона.

Деревянные поверхности.

Древесина склонна к гигроскопичности, горючести и к биопоражениям. Поэтому в качестве грунта необходимо применить грунтовку с добавками антипиренов и/или биоцидов.

- Способ нанесения:

Материалы наносятся с помощью распылителя высокого давления, предназначенного для красок с высокой вязкостью, валиком или кистью.

После нанесения 1-го слоя, толщиной 0,4-0,6 мм, необходимое время сушки при комнатной температуре составляет 12 часов (период полимеризации), затем наносится второй слой покрытия.

Окрасочные работы производятся по всей площади ограждающих конструкций, с тщательной окраской поверхности за радиаторами. Возможна окраска оконных откосов, тщательно окрашиваются углы (в том числе подоконные).

Работы производятся при температуре от +5 до +150 °С.

Хранить и транспортировать композиции при положительных температурах, под воздействием отрицательных температур происходит деструкция полимерного связующего.

ОЦЕНКА ГИГИЕНИЧЕСКОЙ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Так как химического взаимодействия между компонентами краски с образованием новых веществ, при формировании лакокрасочного покрытия не происходит, гигиеническую и пожарную безопасность покрытия можно оценить по данным характеристикам исходных компонентов.

Стирол-акриловая грунтовка Акрилан 101. Имеет паспорт безопасности вещества в соответствии с 91/155/ЕЕС.

ПАСПОРТ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕЩЕСТВА АКРИЛАН 101 в соответствии с 91\155\ЕЕС

1. ИНФОРМАЦИЯ О ПРОДУКТЕ И КОМПАНИИ

Продукт	АКРИЛАН 101
Применение	Связующее
Название производителя и адрес	ООО «Акрилан» 600000, г.Владимир, Ул.Б.Нижегородская, д.81
Ответственный Поставщик	ООО «Акрилан» 600000, г.Владимир, Ул.Б.Нижегородская, д.81

3.ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНОСТИ

Не классифицируется в соответствии с нормативами ЕС.

5. МЕРЫ И СРЕДСТВА ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Рекомендуемые средства пожаротушения	Вода, пена, порошок, диоксид углерода
Запрещенные средства тушения пожара	Нет ограничений
Опасность, вызываемая горением/ взрывом продукта	Продукт не является горючим. Меры пожаротушения должны соответствовать условиям пожара. В случае возникновения пожара и/или взрыва избегать вдыхания паров.
Продукты сгорания	Оксиды углерода
Точка вспышки	Не является горючим (водный раствор)
Температура самовозгорания	Не применима
Нижний предел взрывоопасности	Не применим
Верхний предел взрывоопасности	Не применим