

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н. П. Огарёва»

На правах рукописи



ИНИН АНДРЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ
ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ
МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Низина Татьяна Анатольевна



Саранск 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ	
ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1. Классификация теплоизоляционных материалов.	11
1.2. Перспективы развития производства энергосберегающих защитных покрытий на основе полых микросфер в строительной отрасли. . .	15
1.3. Полимерные дисперсии для теплоизоляционных покрытий.	30
1.4. Тонкодисперсные минеральные наполнители для производства теплоизоляционных материалов.	34
1.5. Анализ минерально-сырьевой базы республики Мордовия для оценки возможности разработки на ее основе энергосберегающих защитных покрытий.	41
1.6. Цели и задачи исследования.	44
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	45
2.1. Применяемые материалы и их свойства.	45
2.2. Методы исследования характеристик теплоизоляционных покрытий и применяемое оборудование.	52
2.3. Планирование эксперимента и статистические методы анализа экспериментальных данных.	62
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ	
ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ . . .	
3.1. Анализ методов экспериментального определения теплофизических показателей теплоизоляционных покрытий с учетом количества слоев и толщины покрытий.	65
3.2. Влияние минеральных наполнителей на характеристики наполненных полимерных связующих теплоизоляционных покрытий.	74

3.3. Экспериментальные исследования свойств теплоизоляционных покрытий.	85
3.4. Оптимизация составов теплоизоляционных покрытий с применением экспериментально-статистических моделей.	92
3.5. Выводы по главе 3	110
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОБОЖЖЕННОГО ДИАТОМИТА НА СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ.	112
4.1. Исследование влияния обожженного диатомита на коэффициент теплопроводности теплоизоляционных покрытий.	112
4.2. Анализ эффективности предварительного высокотемпературного обжига диатомита на теплозащитные характеристики теплоизоляционных покрытий.	122
4.3. Выводы по главе 4.	125
ГЛАВА 5. ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ АПРОБИРОВАНИЕ.	126
5.1. Разработка технологической схемы процесса производства составов теплоизоляционных покрытий.	126
5.2. Технология нанесения составов теплоизоляционных покрытий.	128
5.3. Техничко-экономические показатели производства теплоизоляционных покрытий.	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.	137
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Акт опытно-производственного апробирования и технические условия.	156
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Справка о внедрении результатов диссертационной работы.	169

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Ограниченность запасов невозобновляемых природных топливно-энергетических ресурсов (нефть, природный газ, торф, уголь) отнесла проблемы их рационального использования к приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий во всем мире. Для нашей страны этот вопрос стоит особенно остро, что обусловлено суровыми климатическими условиями, в которых находится большая часть страны. Россия, являясь одной из ведущих стран мира по запасам энергии, значительно уступает экономически развитым странам в вопросах рационального использования топливно-энергетических ресурсов. Так, по данным Министерства регионального развития РФ, средние затраты на отопление жилых зданий на всей территории России в 5-7 раз превышают затраты на отопление Германии и других стран ЕС.

Анализ мирового опыта проблемы рационального использования энергии показал, что сокращение потерь тепла при отоплении зданий достигается за счет повышения термического сопротивления ограждающих конструкций. Одним из путей повышения теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций является разработка эффективных составов тонкослойных теплоизоляционных покрытий. К подобным материалам относятся появившиеся в последнее время на отечественном рынке новые теплоизоляционные покрытия (ТП), создаваемые с использованием полых микросфер на основе различных видов полимерных связующих.

Как правило, для повышения теплоизоляционных характеристик покрытий на основе полимерных связующих производители и разработчики составов в качестве наполнителей используют исключительно полые стеклянные или керамические микросферы, содержание которых, согласно литературным источникам, достигает 80% от общего объема. Основным недостатком наиболее хорошо зарекомендовавших себя покрытий (Изоллат, Корунд, RETHERM, Броня, Теплос-Топ) является высокая цена, существенным образом

зависящая от стоимости используемых микросфер. Стремление снизить цену лишь за счет использования микросфер более низкого качества приводит к существенному снижению эксплуатационных показателей. Решение данной проблемы возможно за счет формирования оптимальной структуры тонкослойных теплоизоляционных покрытий с учетом замены части полых микросфер тонкодисперсными минеральными наполнителями.

Работа выполнялась в рамках фундаментальной НИР №53/10-12 «Исследование процессов формирования наноструктуры теплоизоляционных материалов на основе минеральных частиц».

Степень разработанности темы исследования.

При выполнении диссертационной работы был проведен литературный научно-технический обзор по: технологии получения и режимам оптимизации составов энергосберегающих покрытий, лакокрасочных составов на основе акриловых связующих; видам микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей, используемых в составах теплоизоляционных покрытий. Теоретическими основами работы стали исследования отечественных и зарубежных ученых: М.В. Акуловой, Е.А. Бирюзовой, В.В. Бухмирова, В.В. Верховланцева, Р. М. Гарипова, Г.Н. Дульнева, В.И. Логаниной, Е.Е. Казаковой, М.Л. Лившица, В.В. Новикова, Д.В. Орешкина, В.А. Рыженкова, В.П. Селяева, С.В. Федосова, Ю.Х. Хабибулина, А.Ф. Чудновского и др.

В работах, выполненных ранее, обоснована возможность использования тонкодисперсных минеральных наполнителей для получения теплоизоляционных материалов (вакуумированных панелей, ячеистых бетонов, теплоизоляционных растворов и т.д.), а также полых стеклянных или керамических микросфер в качестве наполнителя с низким значением коэффициента теплопроводности. Однако вопросы возможности применения в составах теплоизоляционных покрытий на основе полимерных связующих и полых микросфер высокодисперсных минеральных порошков, обладающих низкой плотностью, с целью снижения себестоимости продукции без ухудшения эксплуатационных свойств изучены недостаточно полно. Таким образом, разра-

ботка и оптимизация составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей, а также технологии их получения является актуальной задачей строительного материаловедения.

Целью диссертационной работы является разработка технологии получения и оптимизации составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных наполнителей, обладающих высокими теплоизоляционными характеристиками. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Обосновать целесообразность использования минеральных наполнителей, позволяющих решать комплекс технологических задач и получать покрытия с необходимыми теплоизоляционными характеристиками.

2. Исследовать и оптимизировать составы полимерных связующих, наполненных белой сажой и диатомитом Атемарского месторождения, для теплоизоляционных покрытий.

3. Исследовать эффективность влияния высокотемпературного обжига диатомита на теплоизоляционные характеристики покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей.

4. Разработать и оптимизировать составы теплоизоляционных покрытий на основе наполненных тонкодисперсными минеральными порошками полимерных связующих с позиции обеспечения комплекса требуемых свойств и технологических особенностей при введении полых микросфер.

5. Провести опытно-промышленное апробирование разработанных составов теплоизоляционных покрытий; разработать нормативную документацию на производство составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей и рекомендации по их использованию.

Научная новизна работы состоит в следующем:

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования тонкодисперсных минеральных порошков (диатомита и белой сажи) в качестве наполнителей полимерных связующих при производ-

стве составов теплоизоляционных покрытий. Показано, что роль минеральных наполнителей заключается в формировании более пористой структуры наполненного полимерного связующего, что позволяет снизить теплопотери. Оптимизация структуры материала как на уровне наполненного связующего, так и на уровне покрытия позволяет получить составы с требуемым комплексом теплоизоляционных и адгезионных характеристик.

Выявлены закономерности влияния рецептурных факторов на основные технологические и эксплуатационные характеристики теплоизоляционных покрытий. Методами математического планирования установлены зависимости физико-механических свойств теплоизоляционных покрытий от вида и содержания акриловой дисперсии, тонкодисперсных наполнителей и полых микросфер.

Выявлено, что предварительная высокотемпературная обработка порошка природного диатомита позволяет получать теплоизоляционные покрытия с улучшенными теплоизоляционными характеристиками. За счет использования в составах теплоизоляционных покрытий обожженного диатомита получена возможность применения более устойчивых к раздавливанию микросфер марки K20 (3M Glass Bubbles), что позволило повысить технологичность при изготовлении и нанесении теплоизоляционных покрытий.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Разработана технология получения теплоизоляционных покрытий оптимальной структуры на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей и полых стеклянных микросфер, обладающих следующими характеристиками: коэффициент теплопроводности $0,038 \div 0,051 \text{ Вт/(м} \times \text{К)}$, плотность в сухом состоянии $294 \div 388 \text{ кг/м}^3$, адгезионная прочность к бетонным основаниям $1,012 \div 1,215 \text{ МПа}$, к стали – 1 балл, паропроницаемость $0,029 \div 0,039 \text{ мг/(м} \times \text{ч} \times \text{Па)}$, укрывистость (при однослойном нанесении) $350 \div 400 \text{ г/м}^2$.

Новизна разработок подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение № 2472835 «Теплоизоляционная краска-покрытие» от 20.01.2014 г.

Методология и методы диссертационного исследования.

Теоретической и методологической основой диссертационного исследования послужили результаты фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области энергосберегающих покрытий, тонкодисперсных минеральных наполнителей и лакокрасочных составов на основе акриловых дисперсий. Методическую основу диссертационной работы составляют физико-химические и физико-механические методы испытаний, статистические методы обработки, анализа и оптимизации результатов экспериментальных исследований.

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось с применением действующих ГОСТ и современных аналитических способов изучения свойств тонкопленочных теплоизоляционных покрытий. При изучении характеристик теплоизоляционных покрытий применялись методы испытаний, регламентированные нормативными документами, а также приборы и оборудование, прошедшие поверку и удовлетворяющие требованиям действующих стандартов. Оптимизация составов проводилась с помощью многокритериального анализа экспериментально-статистических моделей, полученных по результатам статистической обработки экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности получения теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей с требуемым комплексом технологических и эксплуатационных характеристик;
- результаты экспериментальных исследований влияния рецептурных факторов на физико-механические показатели тонкопленочных теплоизоляционных покрытий;
- анализ влияния предварительной высокотемпературной обработки природного диатомита на повышение теплоизоляционных характеристик теплоизоляционных покрытий;

- рациональные составы и технология производства тонкопленочных энергосберегающих покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей с высокими теплоизоляционными характеристиками.

Достоверность полученных результатов и выводов по работе обеспечивается сходимостью большого числа экспериментальных данных, полученных с применением сертифицированного и поверенного научно-исследовательского оборудования; проведением экспериментальных исследований с достаточной воспроизводимостью; сходимостью теоретических решений с экспериментальными данными, их непротиворечивостью известным закономерностям. Выводы и рекомендации работы получили положительную апробацию и внедрение в строительной практике.

Апробация результатов исследований.

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась в ООО «Инжиниринговая конструкторская компания» (г. Саранск).

Теоретические положения диссертационной работы, а также результаты экспериментальных исследований используются в учебном вопросе при подготовке бакалавров и магистров по направлению подготовки 080401 «Строительство», профиль «Фундаментальные основы прогнозирования и повышения надежности, долговечности строительных материалов, конструкций зданий и сооружений».

Основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях: «Актуальные вопросы строительства» (г. Саранск, 2013); «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (г. Тула, 2013); «Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов» (г. Саранск, 2013); «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» (г. Пенза, 2014); «Ресурсо- и энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона» (г. Саратов, 2014); «Актуальные

вопросы архитектуры и строительства» (г. Саранск, 2015-2016); «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» (г. Пенза, 2015); «Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций» (г. Саранск, 2014); XIV Республиканской научно-практической конференции «Наука и инновации в Республике Мордовия» (г. Саранск, 2015).

Личный вклад автора состоит в разработке составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных наполнителей. Автором самостоятельно получены и интерпретированы результаты исследования.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены в 15 научных публикациях, в том числе в 4 статьях, опубликованных в российских рецензируемых научных журналах согласно перечню ВАК МОиН РФ. Получен патент на изобретение РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 170 страницах текста, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 171 наименования и 2 приложений, содержит 50 рисунков и 28 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность академику РААСН, доктору технических наук, профессору Владимиру Павловичу Селяеву и кандидату физико-математических наук, доценту Вячеславу Александровичу Неверову за оказанную помощь и научные консультации при выполнении диссертационной работы.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вопросы энергосбережения в строительстве с каждым годом приобретают все большую актуальность в связи постоянным повышением их стоимости. Для нашей страны актуальность этой проблемы так же обусловлена низкой среднегодовой температурой окружающей среды ($-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) и длительным отопительным сезоном (для ряда регионов этот показатель превышает 200 дней, а в некоторых регионах отопление зданий и сооружений осуществляется постоянно). Потери тепла при транспортировке через системы теплоснабжения достигают 20% от общего расхода на теплоснабжение, поэтому сокращение тепловых потерь за счет применения энергоэффективных материалов и технологий является важным направлением развития строительной отрасли [1, 2].

1.1. Классификация теплоизоляционных материалов

К теплоизоляционным относят строительные материалы, имеющие низкую теплопроводность (не более $0,18\text{ Вт}/(\text{м}\times^{\circ}\text{C})$) и малую плотность (не выше $600\text{ кг}/\text{м}^3$), предназначенные для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного, энергетического оборудования и трубопроводов [3]. Применение в строительстве эффективных утеплителей позволяет снизить расход конструктивных материалов (кирпич, бетон, дерево и др.), существенно уменьшить вес конструкции и стоимость стен.

Теплоизоляционные материалы по виду сырья разделяют на органические (древесноволокнистые плиты, материалы из пластмасс и др.), неорганические (минеральная и стеклянная вата, ячеистые бетоны и др.) и комбинированные [4 – 6].

По теплопроводности теплоизоляционные материалы разделяются на три группы: низкой теплопроводности – до $0,06\text{ Вт}/(\text{м}\times^{\circ}\text{C})$ при средней температуре материала в конструкции 25°C и не более $0,08\text{ Вт}/(\text{м}\times^{\circ}\text{C})$ при 125°C ;

средней теплопроводности – 0,06-0,115 Вт/(м×°С) при 25°С и 0,08-0,14 Вт/(м×°С) при 125°С; повышенной теплопроводности – 0,115-0,175 Вт/(м×°С) при 25°С и 0,14-0,21 Вт/(м×°С) при 125°С [7].

Из всех сред, кроме вакуума, воздух имеет самый низкий коэффициент теплопроводности (0,023 Вт/(м×°С)), особенно когда он заключен в порах. Поэтому материалы для тепловой изоляции изготавливают высокопористые и, по возможности, с мелкими и не сообщающимися между собой и внешней средой порами, чтобы снизить конвективный перенос тепла. При этом каркас теплоизоляционных материалов рекомендуется изготавливать из веществ аморфного, а не кристаллического строения, так как материалы кристаллического строения обладают более высокой теплопроводностью, чем стеклообразные. Как правило, теплоизоляционные материалы имеют пористость более 50%, а некоторые из них – до 98% (например, пенополистирол) [3, 8].

Характеристики применяемых теплоизоляционных материалов существенно влияют на теплотехническую эффективность и долговечность конструкций, трудоемкость монтажа, ремонтпригодность и в значительной степени определяют сравнительную эффективность различных видов теплоизоляционных решений [9]. Как отмечает автор [7], основным недостатком тепловых сетей является гидрофильность тепловой изоляции. Вода, проникая в изоляцию, вызывает увеличение потерь тепла, ввиду повышения коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала, а также способствует появлению коррозии на наружной поверхности труб и оборудования. Поэтому важными свойствами теплоизоляционных материалов являются водопоглощение и гидрофобность.

Материалы, применяемые для теплоизоляции паропроводов систем теплоснабжения, находящихся в помещениях или производственных цехах, должны обладать низкой теплопроводностью и высокой температуростойкостью. Такие материалы имеют малую объемную плотность, что повышает их гигроскопичность и водопоглощение [10].

При этом несомненно, что конструкции тепловой изоляции трубопроводов и оборудования должны быть рентабельны: иметь оптимальное соотношение между стоимостью теплоизоляционной конструкции и стоимостью тепловых потерь через изоляцию в течение расчетного срока эксплуатации [11].

Теплоизоляция ограждающих конструкций должна осуществляться с применением материалов, обеспечивающих требуемое сопротивление теплопередаче при минимальной толщине конструкции, что обеспечивается использованием материалов с низким значением коэффициента теплопроводности. Плотность теплоизоляционных материалов для утепления зданий ограничивается допустимыми нагрузками на несущие конструкции. Также материалы для теплоизоляции зданий должны обладать требуемой эластичностью, умеренной толщиной, пожаробезопасностью, биостойкостью, водостойкостью, морозостойкостью, приемлемой ценой, удобством монтажа и не выделять токсичных веществ [9, 12].

Основные физико-механические свойства теплоизоляционных материалов приведены в таблице 1.1.1 [10, 13 – 18].

Таблица 1.1.1 – Основные физико-механические свойства теплоизоляционных материалов

Наименование	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности Вт/(м×°С)	Водопоглощение за 24 часа	Средний предел прочности при сжатии, МПа	Предельная температура применения, °С
Минеральные ваты					
плита	34-400	0,033-0,058	3% по объему	0,011-0,015	300-700
полужесткая плита	34-135	0,035-0,042	5% по объему	0,005-0,013	300-700
базальтовая вата	40-100	0,035-0,042	3% по объему	0,018-0,045	500-700
каолиновая вата на глиняном связующем	250-500	0,130-0,175	3% по объему	0,3-2,0	1200

Стекловата и стекловолокно					
жесткая плита	50-140	0,01-0,025	–	0,03-0,033	400
плита	13-75	0,01-0,02	–	0,035-0,061	400
мягкая плита	17-19	0,008-0,02	–	0,033-0,041	400
стекловата	25	0,01-0,045	–	–	400
стекловолокно	60-80	0,04-0,042	–	–	200
Полимеры					
пенополистирол (ППС)	25-50	0,027-0,05	0,4-3% по объему	0,08-0,5	75
пенополиуретан (ППУ)	50-100	0,033-0,05	0,8% по объему	0,1-0,22	110-150
полиэтиленовые и полиэфирные поропласты	20-55	0,035-0,048	10% по объему	0,02-0,025	75
пенополипропилен НППЛФ	40	0,034	8% по объему	0,025	75
вспененные синтетиче- ские каучуки	40-70	0,038-0,04	–	–	105
Древесные материалы					
древесно-волоконистые плиты (ДВП)	230-270	0,04-0,045	–	0,4-2	90
древесно-стружечные плиты (ДСП)	250-400	0,045-0,09	–	12	90
арболит	350	0,12	–	0,5	90
фибролит	300-350	0,1-0,11	–	0,4-1,2	90
торфяные плиты и блоки	150-430	0,052-0,08	–	0,3-1,7	90
Вспученные материалы					
вермукулит	100-200	0,05-0,18	10% по объему	0,4-2	1350
перлит	75-500	0,046-0,08	10% по объему	12	600
пеностекло	100-600	0,03-0,1	10% по объему	0,5-7,5	1000
Легкие бетоны					
пенобетон	200-400	0,05-0,14	14% по объему	0,7-2,5	150
ячеистый бетон	200-500	0,01-0,15	5% по объ- ему	0,3-2,5	150
газобетон	300-500	0,093-0,127	5% по объ- ему	0,4-1,2	200
армопенобетон	350-450	0,08-0,16	14% по объему	1-2,5	150

1.2. Перспективы развития производства энергосберегающих защитных покрытий на основе полых микросфер в строительной отрасли

В связи с все возрастающим темпом современного строительства, требующего новых идей, разработок и технологий, а также увеличением тарифов на энергоресурсы, теплоизоляционные материалы приобретают все большую актуальность [19, 20]. Нехватка эффективных теплоизоляционных материалов приводит к высоким потерям тепловых ресурсов. Например, на потребление систем теплоснабжения только гражданских зданий приходится 30% всего добываемого в стране топлива; при этом тепловые потери достигают $60 \div 70\%$ [21, 22]. Через стены жилых помещений теряется до 45% тепла, через чердаки и полы – до 22%, через оконные и дверные проемы – до 33% тепловой энергии [23].

Для повышения эффективности использования энергоресурсов в России сначала был введен СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», согласно которому тепловое сопротивление ограждающих конструкций зданий было повышено в три раза. С учетом данного СНиПа, требуемое тепловое сопротивление для ограждающих конструкций Московского региона составило $3,14 \text{ (м}^2 \times \text{°C) / Вт}$ [24]. В таком случае толщина однослойной ограждающей конструкции из керамического кирпича для Московского региона должна составлять около двух метров.

С 1 июля 2015 года на территории России стал обязательным к применению СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [25], разработанный в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

С введением новых нормативных требований к теплозащите зданий ряд стеновых конструкций был вытеснен из строительной практики (легкобетонные панели), более широко стали применяться многослойные ограждающие конструкции с эффективным утеплителем [26].

Российский рынок теплоизоляционных материалов представлен достаточно большим разнообразием материалов, отличающихся видом исходного сырья, формой, структурой и техническими характеристиками, среди которых наибольшее применение получили материалы из минеральной ваты и пенополистирола [27, 28]. Развитие рынка происходит неравномерно, но общая динамика положительная. Основными факторами роста являются:

- увеличение количества возводимых зданий и сооружений;
- увеличение цен на услуги ЖКХ;
- увеличение числа тепловых сетей, находящихся в аварийном состоянии;
- несоответствие значительной части строений современным нормам по строительной теплотехнике;
- увеличение цен на энергоносители [19].

Изделия из минеральной ваты занимают основную долю рынка теплоизоляционных материалов (более 65 %) [29]. Минеральная вата состоит из стекловидных волокон, не волокнистых включений в виде капель затвердевшего расплава и микроскопических обломков волокон [4]. Из преимуществ минеральной ваты следует отметить низкую теплопроводность ($0,039 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$), огнестойкость, стойкость к биоповреждениям, хорошую морозостойкость [3]. Недостатками являются малая прочность ($0,018 \div 0,045 \text{ МПа}$) [30], существенное снижение теплоизолирующих свойств при попадании влаги, необходимость устройства гидроизоляционной пленки при монтаже. Так же известно [31], что потеря массы минераловатных плит применительно к вентилируемым фасадам за 25 условных лет эксплуатации может достигать 19% для плит плотностью 74 кг/м^3 и более 3% – плотностью 156 кг/м^3 .

Как отмечает автор [32], теплоизоляция, произведенная с применением минераловатных плит, обладает невысокой химической и гидролитической стойкостью вследствие низкого значения модуля кислотности, что снижает срок службы изоляционного покрытия. Для защиты теплоизоляционного слоя от атмосферных и внешних механических воздействий используют за-

щитные покрытия, которые, в свою очередь, имеют недостаточную прочность или высокую стоимость.

Широко применяющаяся в настоящее время пенополиуретановая изоляция в виде скорлуп или образуемая методом напыления обладает высокими теплоизолирующими свойствами, но в тоже время имеет достаточно высокую себестоимость, низкую температуру применения (до 120 °С) и характеризуется неблагоприятными условиями при изготовлении [32].

Стекловолоконная вата представляет собой тонковолокнистый материал, получаемый из расплавленной стеклотканы путем непрерывного вытягивания стекловолокна [4]. Она обладает высокой морозостойкостью, малогигроскопична и поглощает звук [3]. Недостатком стеклотканы является низкая температуростойкость, сложность при монтаже, так как она пылит и колет, а также необходимость применения защитной одежды и маски для защиты дыхательных путей [33].

Пенополистирол – легкий пластик, получаемый из полистирола с поробразователем путем его вспенивания при нагревании не выше 100 °С [34]. Преимуществом материала является низкая плотность, стойкость к истиранию и низкое водопоглощение [35]. Из недостатков пенополистирола можно выделить то, что он является горючим материалом, при горении которого выделяются токсичные вещества.

Также у всех традиционных теплоизоляционных материалов можно выделить общие недостатки: они малоэффективны при утеплении поверхностей сложных конфигураций; не обеспечивают полного отсутствия мостиков холода; при их использовании на металлических конструкциях возникает необходимость в дополнительном применении антикоррозионных материалов.

Следует отметить и то, что коэффициент теплопроводности материалов в сухом состоянии и этих же материалов в ограждающей конструкции имеет существенное различие. Например, пенополистирольные плиты плотностью 40 кг/м³ имеют коэффициент теплопроводности в сухом состоянии 0,038 Вт/(м×°С), а в ограждающей конструкции здания, расположенного в цен-

тральной полосе России, с учетом увлажнения стены при эксплуатации – 0,05 Вт/(м×°С) [36, 37]. Кроме того, если вода из утеплителя не будет удалена до наступления холодов, то она превратится в лед и теплопроводность материала увеличится еще больше, так как теплопроводность льда примерно в четыре раза больше аналогичного показателя воды.

С учетом вышеперечисленных недостатков существующих видов теплоизоляции, а также повышению требований к энергосбережению и теплозащите зданий, ведутся постоянные поиски новых эффективных теплоизоляционных материалов. Одним из наиболее перспективных направлений по улучшению теплоизолирующих свойств ограждающих конструкций и трубопроводов является разработка составов теплоизоляционных покрытий на основе полых микросфер [38 – 42].

ТП представляет собой композицию, состоящую, как правило, из полимерного связующего, полых микросфер, функциональных добавок, и, при необходимости, пигментов. По консистенции материал напоминает густую краску, которую можно наносить на бетонную, деревянную, кирпичную и металлическую поверхность. После высыхания образуется эластичное полимерное покрытие, которое обладает высокими теплоизоляционными, звукоизоляционными и антикоррозионными свойствами. Материал наносится послойно окрасочными инструментами: кисточкой, валиком или краскопультом низкого давления

Известно [43], что история возникновения тонкопленочных теплоизоляционных покрытий уходит в 70-е годы. Тогда в США было разработано жидкое керамическое покрытие марки «Thermal-Coat». Покрытие состояло из латексно-бутадиенстирольных и винилакриловых полимеров, полых микросфер и оксидов металлов (кремния, титана, цинка, кальция). ТП использовалось для нанесения на поверхность космических аппаратов для защиты от воздействия космических излучений температурных градиентов. Из-за недостаточной прочности и износостойкости ТП покрывалось сверху металлом, дабы избежать непосредственного контакта с окружающей средой космоса.

В 1995 г. компания «Thermal-Coat» существенно расширило сферу применения ТП, переименовав его в новую торговую марку «Thermal-Coat - Тм». Покрытие стали применять на трубопроводах, котлах, промышленных объектах и частных домах. После появления первых статей о ТП за рубежом, аналогичные материалы стали появляться и в России.

В качестве связующих в составе ТП наиболее часто используются стирол-акриловые, бутадиен-стирольные, кремнийорганические полимеры или их смеси. Связующие вещества обеспечивают механическую прочность и термостабильность теплоизоляционного покрытия. В качестве наполнителя жидкой теплоизоляции наиболее часто используются полые микросферы, которые и определяют их теплоизолирующие свойства, способствуют снижению плотности, значительно повышают химическую стойкость и стойкость к УФ - излучению. Так же известны работы с использованием перлита, вспученного вермикулита, аэрогеля и белой сажи для дополнительного снижения коэффициента теплопроводности [44, 45]. Для модификации составов теплоизоляционных покрытий применяют пластифицирующие, биоцидные, антипиреновые, антикоррозионные и другие добавки [46, 47].

Теплоизоляционные свойства ТП обеспечиваются за счет наличия в них наполнителей с низким значением коэффициента теплопроводности. При этом материал стенок микросфер и связующее вещество имеют относительно высокий коэффициент теплопроводности. Задача улучшения теплоизолирующих свойств покрытия сводится к оптимизации количества и гранулометрического состава теплоизолирующей среды [38].

Установлено [48], что наиболее подходящий диаметр микросфер для достижения требуемых теплоизоляционных характеристик варьируется в пределах от 60 до 100 мкм. При использовании микросфер диаметром меньше 60 мкм происходит увеличение числа «тепловых мостиков», образуемых близко расположенными друг к другу стенками микросфер, имеющих низкое термическое сопротивление. В случае увеличения диаметра микросфер выше 100 мкм также наблюдается снижение теплоизоляционных свойств по-

крытия, обусловленное повышением объемной концентрации связующего материала. При этом максимально возможная степень наполнения микросферами составляет 70-85% по объему. Для получения составов, используемых для теплоизоляции поверхностей конструкций и оборудования, эксплуатируемых при высоких рабочих температурах, допускается минимальное содержание связующего. В тоже время для составов, устойчивых к высоким механическим воздействиям, требуется максимальное содержание связующего [49].

На практике, при теплоизоляции ограждающих конструкций традиционными утеплителями (минеральная вата, пенополистирол и др.) не удается получить однородную конструкцию. Арматурные стержни, с помощью которых крепится облицовка и сам утеплитель, приводят к возникновению «мостиков холода» и, как следствие, потерям тепла. Ввиду того, что для утепления с помощью теплоизоляционных покрытий не требуются дополнительные элементы, имеющие высокую теплопроводность, стало возможным проведение работ по теплоизоляции конструкций без «мостиков холода». Также неоспоримым преимуществом тонкослойных теплоизоляционных покрытий является существенное снижение трудоемкости работ.

На сегодняшний день рынок жидкой теплоизоляции представлен отечественными и зарубежными производителями. В качестве примера можно привести торговый бренд «Броня», реализованный Волгоградским Инновационным Ресурсным Центром, одним из крупнейших российских производителей жидких теплоизоляционных материалов. В 2012 году объем производства достиг 400 тонн. В России «Броня» имеет развитую дистрибьюторскую сеть в странах Азии, Евросоюза и ближнего зарубежья. Компания предлагает широкий выбор продукции жидкой теплоизоляции:

- «Броня Фасад» применяется для теплоизоляции фасадов зданий, крыш, бетонных полов, не нарушает влаго- и воздухообмен помещения с окружающей средой;

- «Броня Классик» разработана для теплоизоляции труб горячего и холодного водоснабжения, систем охлаждения, паропроводов, воздухопроводов систем кондиционирования;
- «Броня Антикор» – материал с дополнительными антикоррозионными свойствами, который можно наносить на ржавую поверхность, удалив металлической щеткой сырую ржавчину;
- «Броня Зима» – покрытие, которое можно наносить при отрицательных температурах (до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$); состоит из композиции акриловых полимеров и диспергированных в ней микрогранул пеностекла, пигментирующих, антипиреновых, реологических и ингибирующих добавок [50].

Бренд «RE-THERM» начал свои первые разработки еще в 2004 году. Сегодня он занимает одну из ведущих позиций на общенациональном рынке жидких теплоизоляционных материалов; компания ООО «Индустрия Инновационных Технологий» работает над созданием новых видов «RE-THERM» и модернизирует уже существующие виды.

Компания «Индустрия Инновационных Технологий» предлагает следующие составы жидкой теплоизоляции:

- «RE-THERM Стандарт» – универсальная модификация покрытия для нанесения на любые поверхности;
- «RE-THERM Ингибитор» – применяется для нанесения на металлические поверхности;
- «RE-THERM Антифриз» – позволяет хранить продукцию при температуре до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, которая после оттаивания не теряет своих свойств;
- «RE-THERM Вертикаль» – предназначен для утепления кровель и стеновых конструкций, обладает повышенной вязкостью;
- «RE-THERM» Фрост – предназначен для нанесения на различные конструкции, в том числе подверженные высоким температурным воздействиям [51].

В 2002 году на базе института высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН при взаимодействии с несколькими предприятиями-

ми ВПК была создана компания ООО «Специальные технологии». Компания имеет свои филиалы в Москве, Санкт-Петербурге, Перми, Челябинске и в Республике Казахстан. Первым изобретенным продуктом был «Изоллат», получивший первый патент в 2003 году. На сегодняшний день компания предлагает следующие составы теплоизоляционных покрытий:

- «Изоллат 01» – применяется для теплоизоляции и защиты стен снаружи и внутри зданий, группа горючести НГ;
- «Изоллат 02» – применяется для теплоизоляции покрытия трубопроводов, промышленного, котельного и емкостного оборудования;
- «Изоллат 03» – применяется для объектов с высокими требованиями пожаробезопасности;
- «Изоллат 04» – материал для теплоизоляции трубопроводов с температурой до 500 °С;
- «Изоллат 05» – покрытие с высокими характеристиками по растяжимости, ударо- и сейсмоустойчивости, а также способностью выдерживать длительное вибрационное напряжение;
- «Изоллат-нано» – применяется для теплоизоляции фасадов с эффектом фотокализа, благодаря которому происходит очищение фасадов от органических соединений;
- «Изоллат М» – морозостойкий материал, который можно перевозить, хранить и наносить при температурах до -15 °С;
- «Изоллат Эффект» – комбинированный теплоизоляционный материал, применяемый для нанесения на трубопроводы и технологическое оборудование с высокой температурой поверхности [52].

Продукция данной компании отличается хорошим качеством и выбором, но имеет высокие цены.

Компания «Термалком», изготовитель жидкой теплоизоляции Астратек, начала свою деятельность в 2003 году. Тогда она вела сотрудничество с США и занималась выводом на российский рынок их продукции теплоизоляционных покрытий. В 2004 году компания начала свои разработки теплоизоляци-

онных покрытий, аналогичных американским по качеству, но более конкурентных по стоимости продукции. Компания «Термалком» предлагает следующие виды теплоизоляционных покрытий:

- «Астратек универсал» – для теплоизоляции объектов и конструкций из кирпича, бетона, металла, пластика, дерева и других материалов;
- «Астратек металл» – для теплоизоляции объектов, эксплуатирующихся в условиях повышенной влажности и воздействия слабых агрессивных сред, безопасен для использования внутри жилых помещений;
- «Астратек фасад» – состав для внутренних и наружных работ с повышенной вязкостью, атмосферостойкостью и паропроницаемостью [53].

Теплоизоляционные покрытия под торговым названием «Альфатек» производятся компанией ООО НПО «Альфатек». История компании начинается с 2006 года. «Альфатек» разработан по оригинальной технологии из импортных компонентов, может наноситься на любые поверхности, кроме пластика; после высыхания образует эластичное полимерное покрытие, которое обладает теплоизоляционными свойствами и обеспечивает антикоррозионную защиту. Компания НПО «Альфатек» выпускает продукцию по невысоким ценам по сравнению с аналогами отечественного и импортного производства, но уступает другим брендам по количеству ассортимента [54].

Торговый бренд под названием «Теплосил» разработан инженерным техническим центром «Энергоаудит». Компания начала деятельность по разработке и внедрению инновационных теплоизоляционных и гидроизоляционных материалов в 2010 году и сейчас ведет активное формирование дилерских сетей в России, Европе и Азии. Продукция компании, выпускаемая с 2012 года, имеет следующие модификации: Теплосил Стандарт, Теплосил Фасад, Теплосил Антикор, Теплосил Зима, Теплосил Антипирен, Теплосил Термо+, Теплосил Грунт. Покрытие состоит из нескольких видов вакуумированных микросфер, высококачественного полимерного связующего, противогрибковых и антикоррозионных добавок, предотвращающих появление плесени и ржавчины.

Компания Capstone Manufacturing LLC является первой в мире, выпустившей теплоизоляционное покрытие с торговым названием TC Ceramic NB (Thermal Coat) еще в 80-х годах прошлого века. Данная компания занимается разработкой высокотехнологических решений в сфере теплоизоляционных и звукоизоляционных материалов для различных отраслей, включая космическую индустрию. В нашей стране TC Ceramic NB начало применяться с начала 2000-х годов. Единственным официальным представителем в России концерна Capstone Manufacturing LLC является ООО «Капстоун Московская Мануфактура». Продукция этой компании представляет собой водную композицию, в состав которой входят акриловые полимеры, синтетический каучук, неорганические пигменты, вакуумные керамические и полые силиконовые микросферы. Покрытия данного вида имеют длительный срок службы – 25 лет внутри объекта и 10 лет снаружи.

Теплоизоляционные покрытия под торговым названием «THERMO-SHIELD» производятся в США. В России официальным представителем выступает Екатеринбургская компания ООО «Термо-Шилд». Первая продукция вышла на рынки в 2003 году. Термо-Шилд имеет три модификации:

- «Термо-Шилд Интерьер» – предназначен для использования внутри помещений;
- «Термо-Шилд Экстерьер» – предназначен для выполнения фасадных работ;
- «Термо-Шилд Топ-Шилд» – применяется для получения защитно-декоративных покрытий на кровлях.

Покрытие включает в состав модифицированные акриловые смолы, пигменты (диоксид титана и тригидрат алюминия), минеральный наполнитель, представляющий собой натриево-боросиликатные и керамические вакуумированные микросферы (диаметр 50÷100 мкм) [55].

Анализ рынка жидких теплоизоляционных материалов говорит о том, что на сегодняшний день на отечественном строительном рынке наблюдается преобладание теплоизоляционных покрытий отечественных производителей.

Учитывая определенную конкуренцию, многие производители предприняли попытку замены качественных полых микросфер и других компонентов смесей на более дешевые аналоги. Однако подобная замена привела к существенному ухудшению эксплуатационных характеристик, что в ряде случаев отразилось на имидже тонкопленочных теплоизоляционных покрытий.

Технические задачи, требующие снижение веса материала при обеспечении низкой теплопроводности, высокой прочности и стойкости к агрессивным средам, многими исследователями и производителями решались за счет использования полых стеклянных и керамических микросфер или их смесей [56]. Используя данный наполнитель, можно получить оптимальную структуру композита. Для теплоизоляционных материалов оптимальной является структура, при которой достигается максимальное наполнение композита легкими с аморфным строением частицами твердой фазы. При этом для исключения конвективной составляющей передачи тепла необходим размер ячеек заземленного воздуха, значительно меньший 2 мм [57].

Стеклянные микросферы представляют собой высокодисперсные легкосыпучие порошки, состоящие из тонкостенных ($0,5 \div 2$ мкм) стеклянных частиц сферической формы диаметром $10 \div 150$ мкм [57 – 59]. Микросферы на мировом рынке известны под различными названиями – армосферы, глобулит, ценосферы, микрошелл, сферолит, локалит, микробаллон [60].

Технологии по производству полых стеклянных микросфер впервые появились в 50-х годах в США. Они использовались для засыпки открытых нефте- и топливозапасников, что позволило значительно снизить потери от испарения [60]. Производство полых шариков из растворов силикатов щелочных металлов было запатентовано американской фирмой «Standart Oil Co» еще в 1957 г. [61]. К настоящему времени промышленное производство микросфер осуществляется в России, США, Японии, Франции, Финляндии, Польше и других странах.

Большую часть полых стеклянных микросфер изготавливают путем пропускания мелких частиц через высокотемпературную зону газопламенной

горелки, где они плавятся или размягчаются, а газообразователь формирует полость внутри частиц, расширяя их. Одной из ведущих фирм по производству микросфер является американская компания «Minnesota Mining Manufacturing Co» (3M). Она разработала оригинальный способ их получения, заключающийся в измельчении обычного стекла до частиц размером в несколько десятков микрон с последующей обработкой парами или газами при высоких температурах. Целью такой обработки является создание в объеме твердых микрочастиц стекла потенциальных центров вспенивания, т.е. соединений, способных при последующей термической обработке частиц разлагаться с выделением газа и вызывать образование полых микросфер [61].

Способы изготовления полых стеклянных микросфер продолжают развиваться, в том числе и с целью улучшения их свойств для конкретных направлений [56, 62, 63]. В России серийно выпускают полые стеклянные микросферы на Новгородском заводе «Стекловолокно» и Московском заводе стекловолокна ОАО «НПО Стеклопластик» [64]. Химический состав микросфер выпускаемых на Новгородском заводе «Стекловолокно» приведен в таблице 1.2.1. Усредненный химический состав стеклянных микросфер приведен в таблице 1.2.2.

Таблица 1.2.1 – Химический состав стеклянных микросфер завода «Стекловолокно», % [65]

SiO ₂	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	B ₂ O ₃
71.7 – 73.8	Не более 0,4%	25.5 – 28.2%	3.8 – 4.4%

Таблица 1.2.2 – Усредненный состав стеклосфер, % [66]

SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O+Li ₂ O	CaO	MgO	MnO ₂	B ₂ O ₃	P ₂ O ₅
60 – 80	5 – 16	5 – 16	5 – 25	0 – 15	0 – 10	0 – 20	0 – 5

Большой спрос на микросферы объясняется их уникальными свойствами, в частности, оптимальным соотношением площади поверхности к занимаемому объему. Благодаря сферической форме частиц требуется меньшее количество жидких компонентов производимой продукции (смол, модификатора, растворителя, отвердителя и т.д.) для увлажнения их поверхности, чем для наполнителей иной, отличной от сферы, формы. Использование полых

микросфер при производстве композиционных материалов позволяет улучшать их свойства. Например, Д. В. Орешкиным было установлено, что использование стеклянных микросфер в цементных кладочных растворах позволяет снизить расход воды при сохранении той же подвижности, и благодаря этому повысить прочность и морозостойкость ограждающих конструкций [67, 68]. Также установлено, что при одинаковой плотности паропроницаемость строительных растворов с полыми стеклянными микросферами существенно ниже, чем у ячеистых бетонов, что позволяет сократить потери тепла и уменьшить градиент усадки в результате влагопереноса через ограждающие конструкции.

Основными преимуществами стеклянных микросфер являются:

– *низкая насыпная плотность*, варьируемая в зависимости от фракции от 125 до 600 кг/м³. Низкая плотность обеспечивает легкость смешивания, удобство использования и снижение веса готовых материалов;

– *высокая прочность и твердость*. Устойчивость к раздавливанию – 1,7÷200 МПа; твердость по шкале Мооса – 6. Твердая поверхность микросфер обеспечивает их высокую устойчивость к разрушению;

– *высокие показатели текучести*. Благодаря сферической форме частиц микросферы обладают повышенной текучестью, по значению этого показателя они приближаются к жидким веществам;

– *низкая усадка*. Микросферы – один из немногих наполнителей, который обеспечивает низкую усадку композиционных материалов;

– *низкая теплопроводность*, составляющая для стеклянных микросфер 0,04 ÷ 0,2 Вт/(м×К) при t = 20°C, что позволяет использовать их для создания эффективных теплоизоляционных материалов;

– *водостойкость*. Благодаря своему химическому составу, микросферы способны выдерживать, не разрушаясь, длительное воздействие воды;

– *диэлектрическая проницаемость*. Полая структура микросфер обеспечивает низкую диэлектрическую проницаемость.

На сегодняшний день микросферы используются довольно широко, и, пожалуй, нет такой научной области, где не исследовались бы возможности их применения [69-73]. В силу своих уникальных свойств, полые стеклянные микросферы могут применяться для:

- изготовления звуко- и теплоизоляционных материалов (изоляция электрических кабелей, трубопроводов, звукопоглощающие панели, литейные формы, изоляционные засыпки и т.д.);
- снижения веса композиционных полимерных материалов различного назначения (легкая фарфоровая посуда, обувная промышленность, строительные материалы и т.п.);
- создания антикоррозионных покрытий (судостроение, создание нефтяных вышек, автомобилестроение);
- создания защитных поверхностных слоев, предотвращающих улетучивание токсичных и легколетучих жидких веществ (нефти, нефтепродуктов) из открытых водоемов;
- изготовления полимерных композиций со специальными свойствами для электроники и электротехники (электромагнитные и радиочастотные экраны);
- для производства материалов автомобильной промышленности (детали кузовов, пневматические шины, ламповые отражатели, энергопоглощающие щиты, бамперы, коррозионно-устойчивые замазки и шпатлевки) [74].

Кроме стеклянных микросфер так же нашли широкое применение алюмосиликатные микросферы, которые представляют собой полые силикатные шарики практически идеальной сферической формы [75, 76]. Диаметр частиц алюмосиликатных микросфер составляет $1 \div 500$ мкм, а толщина стенки $0,1 \div 10$ мкм. Газовый состав внутри микросфер представлен смесью газов CO_2 (70 %) и N_2 (30 %). Плотность материала стенок микросфер составляет около 2500 кг/м^3 [77].

Алюмосиликатные микросферы образуются при высокотемпературном сжигании угля на ТЭС. Под воздействием высоких температур силикатный минеральный материал углей расплавляется, а затем под воздействием газового потока продуктов сгорания дробится на высокодисперсные капли. Полые шарики образуются в каплях, в которых внутреннее давление газа уравнивается силами поверхностного натяжения. В остальных случаях происходит либо разрыв капель, либо они остаются просто сплошными силикатными шариками [78]. Сбор микросфер происходит с водной поверхности прудов-золонакопителей методом флотации.

Благодаря удачному сочетанию экономических показателей и эксплуатационных свойств (приемлемая цена, высокая прочность, химическая стойкость и низкая плотность) алюмосиликатные микросферы находят широкое применение как наполнитель при изготовлении композиционных материалов, таких как тампонажные цементы, легкие бетоны, сухие строительные смеси, штукатурки, а также полимерные композиции [79 – 82].

В среднем, количество микросфер в золе-унос изменяется от десятых долей процента до 3...5 % и зависит от вида сжигаемых углей, вида котельного оборудования и режима его работы [83 – 87]. Основным недостатком керамических микросфер является то, что производители могут лишь в ограниченной мере влиять на их конечные характеристики, так как микросферы имеют естественное происхождение. Поэтому в зависимости от типа сжигаемых углей микросферы могут различаться по цвету, фракционному составу и, другим химическим и физическим показателям. Попытки выделения микросфер однородного состава приводят к образованию больших объемов отходов – микросфер другого фракционного состава, что негативно сказывается на рентабельности производства [88 – 91].

На сегодняшний день в строительной индустрии наибольшее применение находят стеклянные микросферы. Основным преимуществом стеклянных микросфер над алюмосиликатными является более низкий коэффициент теплопроводности, стабильность параметров и возможность получения фракций

меньших размеров. Из недостатков стеклянных микросфер следует выделить высокую стоимость (около 500-700 руб./кг), которая оказывает влияние на себестоимость готовой продукции.

1.3. Полимерные дисперсии для теплоизоляционных покрытий

В настоящее время в России рост объемов строительства нового, а также ремонтных работ существующего жилья, послужил развитию рынка строительных и лакокрасочных материалов. Наибольшая доля производства лакокрасочных материалов приходится на производство строительных красок (около 30%) [92, 93].

Основным компонентом любого лакокрасочного материала является пленкообразователь, составляющий сплошную среду. Пленкообразователями называют природные, синтетические смолы и другие высокомолекулярные соединения, способные формировать на твердой подложке сплошную пленку, обладающую достаточной прочностью, твердостью, эластичностью, адгезией и т.д. Выбор пленкообразователя определяется его эксплуатационными свойствами [94].

Так, например, лакокрасочные материалы, применяемые для окрашивания металлических поверхностей, должны иметь минимальное паропроницание и водопоглощение для недопущения протекания коррозионных процессов, а также обладать высокой эластичностью ввиду больших термических расширений металла из-за температурных колебаний.

При окрашивании трубопроводов систем теплоснабжения так же важным свойством является диапазон рабочих температур. Максимальное значение рабочих температур покрытия определяется наибольшей температурой теплоносителя. Для систем горячего водоснабжения в качестве теплоносителя используется вода, поэтому за максимальную температуру теплоносителя принимается расчетная температура сетевой воды в подающем трубопроводе по температурному графику. Вследствие чего, материалы, используемые для окрашивания трубопроводов тепловых сетей

должны быть стойкими к воздействию повышенных температур и не терять своих физических свойств и структуры [1].

Как отмечает автор [1], в качестве связующего вещества в составах ТП, применяемых для теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей, рекомендуется использовать следующие лакокрасочные покрытия: органосиликатные, эпоксидные, кремнийорганические, полиуретановые и силикатно-эмалевые.

Для минеральных поверхностей характерно при повышении влажности впитывать влагу, а при понижении отдавать ее в виде пара. Поэтому краски для таких поверхностей должны иметь структуру, не пропускающую воду в конденсированной фазе, но выпускающую ее в газовой (парообразной). Если фасад не будет «дышать», влага будет накапливаться внутри стены, что приведет к разрушению минерального основания [95].

Деревянные поверхности вследствие их гигроскопичности впитывают влагу и изменяют свои размеры в тангенциальном и радиальном направлении до достижения их предела гигроскопичности. При высыхании подложки происходит уменьшение ее размеров. Циклические изменения размеров подложки сказываются на долговечности покрытия, приводя со временем к его растрескиванию и отслаиванию. В связи с чем, связующее для деревянных поверхностей должно быть эластичным и водостойким [95, 96].

До недавнего времени лакокрасочные покрытия, в основном, изготавливались из природного сырья (масла, битумы, смолы растительного происхождения) и, как правило, содержали большое количество органических растворителей, которые безвозвратно терялись при получении покрытия, отравляли воздух и заставляли принимать существенные меры по технике безопасности [94]. На сегодняшний день наибольшее распространение получили водно-дисперсионные краски, производство и применение которых не требует использование органических пожароопасных и токсичных веществ. Данные краски относятся к экологически безопасным, высококачественным и экономичным, так как их использование позволяет

экономить на безвозвратно теряемых органических растворителях, вентиляции и технике мер безопасности. Кроме того, их преимуществом является быстрое высыхание, возможность окрашивать влажные поверхности и проводить окрасочные работы при повышенной влажности воздуха [97, 98].

По типу пленкообразователя водно-дисперсионные краски строительного назначения подразделяют на четыре класса:

- акриловые;
- акрилстирольные;
- бутадиенстирольные;
- поливинилацетатные [99].

Проведенный анализ данных (таблица 1.3.1) производителей теплоизоляционных покрытий показал, что в качестве связующего используются водно-дисперсионные покрытия. Из всех видов водно-дисперсионных красок, составы на основе акриловых водных дисперсий имеют наибольшие преимущества – они образуют покрытие, обладающее повышенной атмосферостойкостью, водостойкостью, высокой стойкостью к старению и действию щелочей [97, 100, 101].

Таблица 1.3.1 – Составы жидких теплоизоляционных материалов

Название	Вид связующего	Вид микросфер
«Изоллат»	полимерная латексная композиция	керамические и силикатные микросферы
«Корунд»	стирол-акриловый латекс	стеклянные и полимерные микросферы
«RE-THERM»	акриловая дисперсия	керамические и силиконовые микросферы
«БРОНЯ»	акриловая дисперсия	керамические микросферы
«Астратек»	стиролакриловый латекс	стеклянные микросферы

Полимерные акриловые дисперсии делятся на акриловые и стирол-акриловые. Акриловые – дисперсии полимеров, получаемые из акриловых или метакриловых мономеров, стирол-акриловые – путем сополимеризации производных акриловой (метакриловой) кислоты со стиролом. Несмотря на то, что акриловые дисперсии имеют более высокие эксплуатационные

характеристики по сравнению со стирол-акриловыми дисперсиями, в строительной практике наибольшее распространение получили последние, вследствие благоприятного соотношения цена/качество. Другие водные дисперсии, например сополимеров стирола с бутадиеном и полиуретана практически не используются для создания таких покрытий. Причиной этого является низкая атмосферостойкость и сильное пожелтение покрытий на основе стирол-бутадиеновых сополимеров [97].

Как правило, водно-дисперсионные краски при нанесении на металлические поверхности способствуют образованию коррозии, поэтому металлическое основание перед окрашиванием грунтуют. Но в настоящее время на рынке появились новые отечественные водные акриловые дисперсии, которые препятствуют образованию коррозии [102]. Это стало возможным благодаря эффективным водорастворимым ингибиторам коррозии и ингибирующим пигментам [94]. Кроме того, сейчас в Европе водно-дисперсионные краски нашли применение в таких областях как судостроение и автомобилестроение.

Еще одним преимуществом использования акриловых красок является их долговечность. Например, этот параметр для масляных покрытий составляет всего 2 – 3 года, для алкидных 3 – 5 лет; в свою очередь для покрытий на основе акриловых связующих этот показатель увеличивается до 8 – 10 лет, а в некоторых случаях – до 30 лет [96, 98].

Применение органосиликатных, кремнийорганических, винилхлоридных связующих имеет ряд недостатков: взаимная несовместимость, сильно пахнущие растворители, низкая технологичность [102]. Кроме того, лакокрасочные пленки, образуемые органическими красками на слабых подложках, быстро растрескиваются и отслаиваются, часто вместе с мелкими фрагментами верхнего слоя штукатурки [103].

Таким образом, учитывая существенные недостатки органоразбавляемых лакокрасочных материалов, наиболее целесообразным является использование при производстве тонкослойных теплоизоляционных

покрытий водных дисперсий на основе акрила и его производных.

1.4. Тонкодисперсные минеральные наполнители для производства теплоизоляционных материалов

Введение наполнителей в полимерные связующие является наиболее перспективным способом создания современных композиционных материалов с технологическими или эксплуатационными свойствами, отличающимся от свойств исходных компонентов. Изменение физических свойств и структуры полимерной матрицы обусловлено взаимодействием на границе раздела «полимерное связующее – твердое тело», к которым, прежде всего, относятся адсорбционные или молекулярные взаимодействия. Они являются ответственными за адгезию на межфазной границе, физические, механические и другие свойства наполненных систем [104, 105].

Как известно [106, 107], процесс передачи теплоты осуществляется тремя основными способами:

- теплопроводность – теплообмен между частицами или элементами структуры, находящимися в непосредственном соприкосновении друг с другом;
- конвекция – процесс переноса теплоты при перемещении объемов жидкостей или газов в пространстве из области с одной температурой в область с другой;
- тепловое излучение (лучистый теплообмен) – процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн; при этом внутренняя энергия тела переходит в энергию излучения.

В настоящее время при производстве теплоизоляционных материалов для утепления зданий и сооружений используется большое количество тонкодисперсных минеральных наполнителей, получаемых из горных пород осадочного происхождения. Дисперсные порошки представляют собой двухфазную (сухая) или трехфазную (влажная) систему, состоящую из остова, образованного огромным количеством твердых частиц различной формы и

размера, разделенных между собой промежутками, заполненными газом, влагой или одновременно и тем, и другим. Теплопередача в таком сложном материале осуществляется за счет: теплопроводности вдоль отдельной частицы; передачи тепла, теплопроводностью в местах соприкосновения частиц; молекулярной теплопроводностью в среде, заполняющей промежутки между частицами; теплопередачи на границе среда-поверхность; конвекции газа и влаги; излучения от частицы к частице [108]. Процессы самоорганизации дисперсных порошков играют существенную роль в формировании так называемой «структуры в структуре». Это приводит к образованию многоуровневой поровой системы, которая способствует снижению кондуктивной и лучистой составляющей эффективной теплопроводности за счет уменьшения объемной доли хорошо проводящих теплоту зерен, а также отражения и преломления электромагнитных волн на структурных неоднородностях [109].

Степень дисперсности системы характеризуется распределением частиц и пор по размерам. Для создания теплоизоляционных материалов предпочтительнее использовать наполнители с зернами малого размера, так как при этом увеличивается число межзерновых пустот, а размер каждой такой поры и канала, соединяющий их, резко снижается. При этом снижается конвективный теплообмен и теплопроводность материала. В тонкодисперсных порошках с малым размером пор на границе раздела «газ – поверхность» возникает значительный температурный скачок, и теплопроводность такой засыпки может стать ниже теплопроводности воздуха (газа), находящегося в межзерновых порах [110].

В тоже время при изготовлении материалов с зернистой структурой очень мелкие зерна из-за развитой внешней поверхности требуют высокого расхода связующего, что, в итоге, приводит к увеличению теплопроводности и средней плотности материалов. В таком случае дисперсность частиц подбирают экспериментально с учетом реологических свойств связующего и адсорбционных свойств наполнителя [111].

Форма частиц обуславливает характер контакта между ними. Считается, что зерна шарообразной формы должны обеспечивать наименьшую теплопроводность в материале. Однако, при одинаковых размерах зерен и одинаковых объемных весах, форма зерен незначительно влияет на коэффициент теплопроводности. Это объясняется тем, что при прочих равных условиях общая пористость системы и количество частиц в 1 см^3 мало отличается при переходе от частиц сферической формы к частицам неопределенной формы [108].

Как известно, увеличение пористости материала способствует улучшению его теплозащитных свойств, что объясняется содержанием большого количества воздуха, который имеет низкое значение коэффициента теплопроводности. Однако на теплозащитные свойства материалов влияет не только процентное содержание пор, но так же их структура, форма и размер, равномерность расположения в материале, а так же количество открытых и закрытых пор. Наиболее предпочтительной является закрытая пористость, так как открытая пористость негативно влияет на эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, являясь причиной увлажнения материала и проникновения газов, что приводит к повышению теплопроводности и возникновению химической коррозии материала. Наилучшими показателями по теплозащите обладают материалы с мелкими равномерно-распределенными по всему объему порами. Пористость также влияет на такие свойства материала, как прочность, водопоглощение, морозостойкость [112].

Авторами работы [113] установлено, что теплопроводность засыпки дисперсных порошков изменяется пропорционально теплопроводности компоненты в порах λ_2 и частице λ_1 . Если отношение $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ меньше 0,1, то более существенный вклад в эффективную теплопроводность засыпки вносит изменение теплопроводности компонентов в порах.

Наиболее эффективными породами с точки зрения теплоизоляционных характеристик являются диатомит, трепел и цеолит, так как частицы из этих пород имеют собственную поровую структуру наноразмерного уровня. Они

широко распространены на территории нашей страны. Только в европейской части разведано 78 месторождений с запасами в 650 млн. м³, а общие запасы составляют 1,7 млрд. м³ [112, 114].

Природный диатомит – один из эффективных теплоизоляционных материалов с уникальными свойствами. Он представляет собой лёгкую тонкопористую кремнистую породу, состоящую преимущественно из опаловых створок диатомовых водорослей или их обломков. Размер створок диатомитов обычно варьируется от 0,03 до 0,15 мм; содержание SiO₂ от 62 до 97%. В качестве постоянной примеси присутствуют глинистые минералы; окраска диатомитов белая, светло-серая, желтовато-серая, иногда буровато-серая. Темный и бурый цвет свидетельствует о содержании тонко-рассеянного органического материала и растительных остатков. Желтый и желто-бурый цвет обусловлен наличием свободных окислов железа, которые на отдельных участках концентрируются в субпараллельные полосы (типа колец Лизеганга) [115]. Удельная поверхность диатомита 50÷100 м²/грамм осадка, содержание раковин 600 млн. см³, объемный вес 1÷0,25 г/см³. Диатомит обладает исключительной пористостью (до 90–92 %), которая обусловлена составом породы из мельчайших полых раковин диатомей. Благодаря кремнистому, тонкодисперсному составу и большой удельной поверхности данный минеральный наполнитель обладает отличными теплоизоляционными, абразивными, кислотоустойчивыми и огнеупорными свойствами [116], что позволяет использовать его в рецептурах тонкопленочных теплоизоляционных покрытий.

Породы с высоким содержанием кремнезема (диатомиты, опоки, трепелы) относятся к числу полезных ископаемых с широким диапазоном полезных свойств, в связи с чем, находят широкое применение в различных отраслях промышленности [115, 117, 118]. Например, диатомиты применяют как адсорбент и фильтрующее вещество в текстильной, пищевой, нефтехимической промышленности, а также в медицине для производства антибиотиков.

В строительной отрасли его используют для:

- изготовления стекла и стеклокристаллических материалов и изделий на их основе;
- искусственных пористых заполнителей;
- крупно- и мелкозернистых отделочных материалов, особенно цветных глазурованных и неглазурованных фактурных песков;
- в качестве добавки к бетонам и цементам.

Пенодиатомитовые и диатомитовые изделия используют для теплоизоляции трубопроводов и промышленного оборудования, а также печей при высоких температурах изолируемой поверхности (до 900° С) [2] .

Не менее длительную историю имеет опыт применения диатомитов при изготовлении сухих строительных смесей. Использование диатомитов в составах сухих строительных смесей способствует формированию плотной структуры материала, благодаря чему повышаются прочностные характеристики, снижается проницаемость, повышается морозостойкость, стойкость к истиранию и эрозии, а также устойчивость материала к различным видам коррозии, что в конечном итоге обеспечивает его высокую долговечность [119]. В работе [120] установлено, что диатомиты при введении в лакокрасочные составы повышают прочность пленки, огнестойкость и вязкость, а также сопротивляемость пленок трению.

На мировом рынке диатомитов самой известной компанией является World Minerals. Компания имеет месторождения диатомита, расположенные в Исландии, Испании, Франции, США, Китае и некоторых других странах. В них добывается порядка 65% мирового потребления диатомитов. В нашей стране крупные месторождения диатомитов расположены в Пензенской и Ульяновской областях, Сибири и на Урале, а также в Республике Мордовия [115, 119, 121].

Трепел – тонкопористая осадочная горная порода, состоящая из мелких сферических опаловых, а иногда и халцедоновых телец (глобул) размером 0,01÷ 0,02 мм, образованных аморфным кремнеземом (опал-кристобалитом). В своем составе трепел может содержать примеси кварца, полевых шпатов, а

также глинистых минералов. В отличие от диатомита, трепел содержит очень малое количество или совсем лишен органических примесей (остатков скелетов диатомовых водорослей), по остальным же физико-химическим характеристикам полностью аналогичен ему. Имеет рыхлую или слабосцементированную структуру; цвет может изменяться от белого и сероватого до, бурого. В природе также встречаются трепелы красноватого и черного цвета. Средняя плотность трепела находится в пределах от 1200 до 2500 кг/м³; прочность обычно колеблется в районе 30÷35 кг/см² и менее; пористость – 50÷70 % [112].

Трепел широко применяется для изоляции, фильтрования, как строительный материал, катализатор, наполнитель и адсорбент. В частности, трепел является активной гидравлической добавкой, используемой при производстве портландцемента. В сухом молотом виде трепел может быть использован в составе сухих строительных смесей в качестве активного микронаполнителя [112].

Цеолиты уже давно привлекают исследователей своими специфическими свойствами. Природные цеолиты – минералы семейства алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов, имеющие высокие сорбционные и ионообменные свойства. Цеолитовый каркас представляет подобие кристаллической «губки» с объемом пор до 50%. Особенность кристаллической структуры цеолитов обуславливают их сорбционную активность – так называемый «молекулярно-ситовой эффект». Применение их не требует дополнительной обработки, достаточно помола [122, 123].

Цеолиты, как правило, молочно-белого цвета или водопрозрачны. Иногда они окрашены органическими веществами; цвет таких цеолитов преимущественно темно-бурый [124]. Цеолитовые туфы имеют следующие физико-механические свойства: истинная плотность – 2300÷2500 кг/м³; средняя плотность – 1600÷2400 кг/м³; пористость – 5÷44 %; прочность по дробимости – 1,58÷3,25 МПа; прочность при сжатии – 24,5÷80,5 МПа. Химический состав цеолитов: SiO₂ – 58,4÷69,2; Al₂O₃ – 11,12÷14,03; Fe₂O₃ – 0,78÷3,12;

CaO – 1,37÷5,05; MgO – 0,36÷-1,53; R₂O – 1,41÷6,56; п.п.п. – 6,96÷14,23 % [125].

Цеолиты преимущественно распространены в районах проявления молодого вулканизма: в России – в Бурятии, Приморье, Красноярском крае, Якутии, Забайкалье и на острове Сахалин; в Индии в районе Пуны; в США в штате Нью-Джерси, в районе озера Верхнее и в окрестностях Голдена (шт. Колорадо). Месторождения цеолитов также часто встречаются в Закавказье (Армения) [126].

Потребление цеолитов ежегодно возрастает на 15÷20 %. Мировым лидером по производству естественных цеолитов является Китай с годовым объемом производства в 2,5 млн. тонн (65 % мировой добычи). Однако основная масса китайских цеолитов является низкосортными и используется в качестве добавки в пуццолановый цемент. Так же крупными производителями цеолитов являются Германия, Япония, Южная Корея, Россия и Куба [127].

Аэросил – пирогенный диоксид кремния SiO₂, состоящий из сферических частиц коллоидных размеров (3÷10 нм), полностью аморфен. Впервые был получен в 1941 г. в Германии Клепфером. Аэросил безвреден и не вызывает силикоза даже при больших концентрациях. Однако при работе с ним рабочие места должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией, а рабочие – респираторами. Удельная поверхность аморфного диоксида кремния составляет 380 м²/г. Коэффициент теплопроводности нанопорошка аэросила составляет 0,02 Вт/(м×К), что делает его хорошим теплоизолятором. Из недостатков аэросила следует выделить чрезмерную загущающую способность полимерных композиций. Для предотвращения чрезмерного загущения применяют пирогенетический диоксид кремния с гидрофобной поверхностью частиц, получаемой в результате обработки поверхности частиц аппретами, заменяющие силанольные группы имеющимися на поверхности частиц неполярными органическими группами типа метильных и других [66].

Белая сажа представляет собой гидратированный диоксид кремния с частицами коллоидных размеров, получаемый в результате химических ре-

акций. Минимальный размер частиц составляет 0,002 мкм; удельная поверхность 143 м²/г. Осажденный аморфный диоксид кремния по своим свойствам схож с аэросилом, но имеет меньшую стоимость [66].

Благодаря высоким теплозащитным свойствам, низкой плотности, экологичности и огнестойкости тонкодисперсные минеральные порошки могут применяться в качестве эффективных наполнителей при производстве ТП, что позволит снизить расход полых микросфер, и, как следствие, себестоимость производимой продукции. В связи с этим, возникает задача разработки составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных добавок с комплексом высоких эксплуатационных характеристик.

1.5. Анализ минерально-сырьевой базы республики Мордовия для оценки возможности разработки на ее основе энергосберегающих защитных покрытий

Недра Мордовии располагают нерудными полезными ископаемыми, используемыми, главным образом, для производства строительных материалов, изделий и конструкций. Территориальным балансом запасов учтено 101 месторождение, из которых официально эксплуатируется 44. Из традиционно развитых месторождений полезных ископаемых преобладают месторождения песка, глины, кремнистого сырья, карбонатных пород, а также мергелей. Полезные ископаемые Республики Мордовия по своему происхождению являются осадочными горными породами и относятся к отложениям меловой, палеогеновой, неогеновой, каменноугольной и четвертичной систем [128].

По данным В.И. Барановского [129], Мордовия обладает исключительным богатством месторождения диатомитов. В основном они представляют собой кремнистую осадочную породу, состоящую преимущественно из кремнистых панцирей диатомитовых водорослей, ридиолярий и других организмов, отложенных на маргелях в палеоценовом море. Месторождения диатомита сосредоточены в восточной и северо-восточной части республики.

Это село Анучено Ромодановского района, села Ремезенка и Огарьевка Чамзинского района, а также село Атемар.

Атемарское месторождение диатомита расположено в 2 км к востоку от села Атемар Лямбирского района, в 18,5 км от железнодорожной станции Саранск. Целой чередой располагаются супесчаные, опоковые, трепельные, диатомитовые и глинистые карьеры [130].

Структура залежей Атемарского диатомита характеризуется неоднородностью. Ему присуща различная структурная плотность и пористость. Достаточно часто встречаются включения глинистых и песчаных примесей, влияющие на пластичность. Из-за отсутствия четкой границы с мелом и трепелом, Атемарский диатомит имеет цветовые оттенки от бело-серого, желтоватого до красновато-бурого [113]. Возраст диатомитов, подстилающей и перекрывающей их опоки – нижнепалеогеновый (палеоцен). Месторождение разведано в 1956 – 57 гг., общие запасы которого составляют 6,6 млн. м³. Диатомит залегает в виде линз шириной 1,0÷1,5 км, мощностью 4,1÷18,3 м и является высококачественным теплоизоляционным материалом. Полезная толща не обводнена; вскрышные породы толщиной 0,3÷8,9 м [130].

Химический состав диатомита представлен оксидами в следующем процентном соотношении: SiO₂ – 79,9±0,35; CaO – 2,54±0,04; MgO – 1,49±0,05; R₂O₃ – 8,84±0,12; Fe₂O₃ – 3,36±0,14; Al₂O₃ – 4,01±0,24; TiO₂ – 1,47±0,007; прочие элементы – 7,9±0,13 [113].

Запасы диатомита у села Малые Ремезенки, составляют 5,8 млн. м³, мощность пласта – около 5 м. Химический состав: кремнезем – 84÷86%, окись алюминия – порядка 6%, окись магния - 1%. Месторождения диатомита у села Анучино, по данным разведок, составляют 14 млн. м³. Диатомиты Анученского месторождения имеют следующий химический состав: кремнезем – 86%, окись железа – 2%, окись алюминия – 9%, окись кальция – 1,5%. Мощность пласта достигает 10 м [129].

Огарьевское месторождение диатомита находится в 2,5 км от железнодорожного разъезда Огарьевка. Запасы составляют 10,4 млн. м³. Химический

состав: кремнезем – 70÷75%, окись магния – 1%. Мощность пласта составляет 20 м.

На территории Республики Мордовия находятся четыре месторождения цеолитсодержащих пород объемом до 225 млн. м³. Основные ресурсы сырья располагаются в восточных районах республики в отложениях турон-сантонского ярусов. По содержанию клиноптилолита эти отложения превышают отложения Татарстана [131].

Цеолит Атяшевского месторождения представляет собой легкую твердую породу светло-серого цвета. В шлифе цеолит имеет мелкозернистую структуру. Глубина залегания цеолитсодержащих пород до 9÷12 м. Рентгенографический количественный фазовый анализ показал следующий минералогический состав (в % по массе сухого вещества): глинистые минералы – 19%, клин оптилолит – 40%, ОКТ фаза – 20 %, кальцит – 13 %, кварц – 8 %. Химическим анализом установлен следующий состав (в % по массе сухого вещества): SiO₂ – 59,46; TiO₂ – 0,48; Al₂O₃ – 8,98; Fe₂O₃ – 4,37; CaO – 10,64; MgO – 1,84; Na₂O – 0,82; K₂O – 2,0; п.п.п. – 12 % [127].

Месторождения трепела разведаны в районе села Атемар в 1957 г. и территориально располагаются вместе с мелом и опоками. Полезная толща трепела по своей форме представляет пластообразную залежь мощностью от 3,7 до 18,1 м. Они имеют следующий химический состав в процентном соотношении: SiO₂ – 77,11÷85,82; CaO – 0,21÷1,2; MgO – 0,56÷1,39; Fe₂O₃ – 2,33÷3,89; Al₂O₃ – 4,6÷9,6; SO₃ – 0,02÷0,2. Трепелы данного месторождения можно использовать для производства теплоизоляционного кирпича. Суммарные запасы составляют 3703 тыс. м³. Так же известны месторождения трепелов в 2,5 км к северу от разъезда Огарьевка Чазинского района. Содержание диоксида кремния на этой территории изменяется от 55,67 до 72,24 % [132].

Анализ минерально-сырьевой базы республики Мордовии свидетельствует о достаточных запасах местных сырьевых ресурсов для производства теплоизоляционных покрытий, что делает особенно актуальными исследова-

ния по разработке составов ТП и запуска их производства на территории республики Мордовия.

1.6. Цели и задачи исследования

Проведённый анализ научно-технической литературы показал, что использование местных минеральных наполнителей и разработка на их основе энергосберегающих покрытий является актуальным и перспективным на сегодняшний день направлением в области производства строительных материалов.

Цель данной работы заключается в разработке технологии получения и оптимизации составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных наполнителей, обладающих высокими теплоизоляционными характеристиками. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать целесообразность использования минеральных наполнителей, позволяющих решать комплекс технологических задач и получать покрытия с необходимыми теплоизоляционными характеристиками.

2. Исследовать и оптимизировать составы наполненных белой сажей и диатомитом Атемарского месторождения полимерных связующих для ТП.

3. Исследовать эффективность влияния высокотемпературного обжига диатомита на теплоизоляционные характеристики разрабатываемых составов ТП.

4. Разработать и оптимизировать составы ТП на основе наполненных тонкодисперсными минеральными порошками полимерных связующих с позиции обеспечения комплекса требуемых свойств.

5. Провести опытно-промышленное апробирование разработанных составов теплоизоляционных покрытий; разработать нормативную документацию на производство ТП на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей и рекомендаций по их использованию.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Применяемые материалы и их свойства

В качестве связующего вещества в работе использовались водные дисперсии «Акрэмос-101» и «Эколат-2014». Водная дисперсия «Акрэмос-101» (ТУ 2241–134–05757593–2000) представляет собой сополимер стирола и акриловых мономеров, полученный эмульсионным методом. Используется в качестве связующего вещества для получения красок, которые подходят для наружной и внутренней окраски любых цементосодержащих (кирпич, бетон, штукатурка), деревянных и металлических поверхностей. Дисперсия неморозостойкая, рекомендуемый температурный интервал хранения составляет от +2 до +35 °С. Основные характеристики водной дисперсии «Акрэмос-101» и физико-механические свойства образуемой пленки представлены в таблицах 2.1.1 и 2.1.2. При испарении воды при температурах выше минимальной температуры пленкообразования образуется прозрачная, гидрофобная пленка, обладающая высокой светостойкостью, стойкостью к действию щелочной среды и старению. Состав «Акрэмос-101» не содержит органических растворителей и относится к малоопасным веществам (4-й класс опасности) [133].

Таблица 2.1.1– Основные характеристики акриловой дисперсии «Акрэмос-101» [133]

Наименование показателей	Норма
Внешний вид	Молочно-белая жидкость
Система эмульгирования	Анионная
рН дисперсии	8±0,5
Массовая доля сухого вещества, %	50±1
Устойчивость к хлористому кальцию	Выдерживает испытания
Стабильность к механическому перемешиванию (2500 об/мин)	Выдерживает испытания
Способность к введению пигментной пасты	Выдерживает испытания
Средний размер частиц, мкм	ок. 0,1
Массовая доля остаточного мономера, %, не более	0,1
Минимальная температура пленкообразования, °С	+10

Таблица 2.1.2 – Физико-механические свойства пленки на основе акриловой дисперсии «Акрэмос-101»

Наименование показателей	Норма
Относительное удлинение при разрыве, %	400 ÷ 700
Предел прочности при растяжении, МПа	3 ÷ 4
Водопоглощение через 24 часа, %	15

Полимерная дисперсия «Эколат-2014» представляет собой водную дисперсию сополимера стирола и сложных эфиров акриловой кислоты с высоким сухим остатком, полученную эмульсионным методом. Дисперсия в своем составе не содержит алкилфенолэтоксилатов, фталатов и стабилизирована анионными ПАВ. Достоинствами дисперсии «Эколат-2014» являются высокая адгезия к различным поверхностям (дерево, металл, кирпич, бетон), высокая эластичность и водостойкость, стойкость к УФ-излучению и хорошая паропроницаемость. Температурный интервал хранения и транспортировки составляет от +5°C до +40°C. Основные характеристики водной дисперсии «Эколат-2014» и физико-механические свойства образуемой пленки представлены в таблицах 2.1.3 и 2.1.4.

Таблица 2.1.3 – Основные характеристики акриловой дисперсии «Эколат-2014»

Наименование показателей	Норма
Внешний вид	Молочно-белая жидкость
Система эмульгирования	Анионная
pH дисперсии	6,5-7,5
Массовая доля сухого вещества, %	57±1
Минимальная температура пленкообразования, °C	0
Средний размер частиц, мкм	0,1
Массовая доля остаточного мономера, %, не более	0,05
Температура стеклования, °C	-14

Таблица 2.1.4 – Физико-механические свойства пленки на основе акриловой дисперсии «Эколат-2014»

Наименование показателей	Норма
Относительное удлинение при разрыве, %	700 ÷ 900
Предел прочности при растяжении, МПа	1,4

Для повышения вязкости системы на основе дисперсии «Акрэмос-101» использовался ассоциативный загуститель «Акрэмос-401», являющийся частично нейтрализованным сополимером (мет)акриловых мономеров, получаемый эмульсионным методом. По внешнему виду это белая вязкая жидкость, содержащая 6 % основного вещества. Препятствует осаждению пигментов и наполнителей. Акриловая дисперсия «Акрэмос-401» неустойчива при хранении, поэтому ее приготовление производят непосредственно перед применением из дистиллированной воды, дисперсии «Акрэмос-402» (высококарбокислированный акриловый сополимер) и раствора аммиака концентрации 13% [134].

При изготовлении составов использовалась дистиллированная вода, соответствующая ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная. Технические условия» [135].

В качестве диспергирующей добавки использовался полифосфат натрия ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$), представляющий собой по внешнему виду белый стекловидный порошок, хорошо растворимый в воде. Полифосфат натрия гигроскопичен (на воздухе расплывается и гидратируется, превращаясь сначала в пирофосфат, а затем в ортофосфат натрия), обладает высокими диспергирующими и адсорбционными свойствами, не токсичен, пожаро-и взрывобезопасен. Способность полифосфатов образовывать комплексы с ионами щелочноземельных металлов или более тяжелыми ионами способствует снижению неблагоприятного действия жесткости воды в процессе смачивания. Физико-химические показатели полифосфата натрия представлены в таблице 2.1.5.

Таблица 2.1.5 – Физико-химические показатели полифосфата натрия [136]

Наименование показателя	Значение
Температура плавления, °С	408
Содержание оксида фосфата, %, не менее	68
Содержание неактивных оксидов фосфата, % не более	7,5
Содержание железа, % не более	0,05
рН	5,8-7,3
Содержание нерастворимых в воде веществ, %, не более	0,05

В качестве биоцидной добавки применялся биоцид «Гидол» (ТУ 2499–259–05757593–00), представляющий собой водный раствор - 1,3-диметил-5,5-диметилгидантоина, получаемый взаимодействием 5,5-диметилгидантоина и параформальдегида (формальдегида) в щелочной среде. Содержит 45÷55% основного вещества, остальное вода. По внешнему виду это жидкость белого или бледно- жёлтого цвета без механических примесей, хорошо растворимая в сложных эфирах, воде, спиртах и ацетоне. Биоцид «Гидол» обладает высокими фунгицидными и бактерицидными свойствами, не оказывает неблагоприятного воздействия на окружающую среду (относится к 4 классу опасности), не взрывоопасен и не горюч. Применяется в концентрациях от 0,2 до 3,2 %. Плотность Гидола при 20°C – 1145÷1188 кг/м³; рН водного раствора 6,5÷8,0 [137].

Диоксид титана представляет собой белый плотный порошок, нерастворимый при обычных условиях в щелочах, растворах и кислотах. Относится к 4-му классу опасности. Диоксид титана существует в трех кристаллических структурах: рутил, анатаз, брукит. Техническую значимость имеют только анатаз и рутил. Диоксид титана рутильной формы повышает стойкость красок к действию УФ-излучения и имеет больший коэффициент преломления, чем анатаз, за счет чего имеет более высокую укрывистость. Пигмент анатазной модификации имеет более высокую фотохимическую активность, что приводит к уменьшению стойкости к действию УФ-излучения и мелению; пригоден лишь для использования в рецептурах ЛКМ для внутренних работ [138].

Физические свойства использовавшегося в работе диоксида титана рутильной формы приведены в таблице 2.1.6.

В работе в качестве коалесцирующей добавки использовались диэтиленгликоль и уайт-спирит.

Диэтиленгликоль (НОСН₂СН₂ОСН₂СН₂ОН) – густая бесцветная жидкость, смешивается с водой, эфиром, спиртом, ацетоном, гликолями. Ограниченно растворяется в толуоле, бензоле, четыреххлористом углероде, фтала-

тах. Плохо растворим в органических и минеральных маслах, относится ко 2-му классу опасности [140, 141]. Диэтиленгликоль замедляет процесс испарения воды, что приводит к снижению скорости пленкообразования, а также придает краскам морозостойкость, так как снижает температуру их замерзания. Основные технические характеристики диэтиленгликоля представлены в таблице 2.1.7.

Таблица 2.1.6 – Физические свойства диоксида титана [139]

Свойство	Значение
Средний размер частиц, мкм	0,22
Содержание TiO ₂ , %	95,5
Насыпная плотность, кг/л	0,76
Плотность, кг/л	4
Укрывистость, г/м ²	5,8
pH водной вытяжки	7,75
Относительное сопротивление, Ом	10000
Водоёмкость, г воды/100г пигмента	22,0
Маслоёмкость, г масла/100г пигмента	20,5

Таблица 2.1.7 – Основные технические характеристики диэтиленгликоля [141]

Свойство	Значение
Плотность при 20°C, г/см ³	1,116 – 1,117
Массовая доля органических примесей, %, не более в том числе этиленгликоля, %, не более	0,4 0,15
Температурные пределы перегонки при давлении 101,3 кПа (760 мм рт. ст.): Начало перегонки, °C, не ниже Конец перегонки, °C, не выше	244 249
Массовая доля диэтиленгликоля, %, не ниже	99,5
Массовая доля кислот в пересчете на уксусную кислоту, %, не выше	0,005
Массовая доля воды, %, не выше	0,05
Цветность, единицы Хазена, не выше	10
Число омыления, мг КОН на 1 г продукта, не выше	0,1

Уайт-спирит представляет собой фракцию бензина прямой перегонки. Является гидрофобным коалесцентом, хорошо совмещающимся с полимерами, поэтому пластифицирует и размягчает их лучше, чем гидрофильные растворители. Не содержит водорастворимых кислот и щелочей, легко воспла-

меняется и относится к 4-му классу опасности. Характеристики применявшегося в работе уайт-спирита приведены в таблице 2.1.8.

Таблица 2.1.8 – Основные технические характеристики [142]

Показатель	Значение показателя
Температура начала перегонки, °С	не более 160
Плотность ρ_{420}	не более 0,790
Остаток в колбе, %	не более 2
Летучесть по ксилолу	3-4,5
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	не менее 33
Анилиновая точка, °С	не более 65
Массовая доля ароматических углеводородов, %	не более 16
Присутствие механических примесей и воды	отсутствие
Присутствие водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие

В работе использовались полые стеклянные микросферы 3M™ Glass Bubbles марок K15 и K20. Стеклянные микросферы (рисунок 2.1.1) представляют собой сыпучий порошок белого цвета, состоящий из полых частиц сферической формы, получаемый путем измельчения натрийборосиликатного стекла до размеров порядка нескольких десятков микрон и последующей обработкой их парами при высоких температурах. Использование микросфер при производстве композиционных материалов позволяет улучшать их теплоизолирующие и звукопоглощающие характеристики [88].

Основные технические характеристики и химический состав стеклянных микросфер приведены в таблицах 2.1.9-2.1.10.

Таблица 2.1.9 – Основные характеристики стеклянных полых микросфер производства компании 3M™ марок K15 и K20 [143]

Марка	Устойчивость к раздавливанию 90% неповрежденных, МПа (бар)	Плотность, г/см ³	Средний диаметр, мкм	Толщина стенки, мкм	Отношение $V_{\text{внутр.}}/V_{\text{общ.}}$	Теплопроводность, Вт/(м×К)
K15	2,1 (21)	0,15	60	0,60	0,94	0,051
K20	3,4 (34)	0,20	65	0,88	0,92	0,065

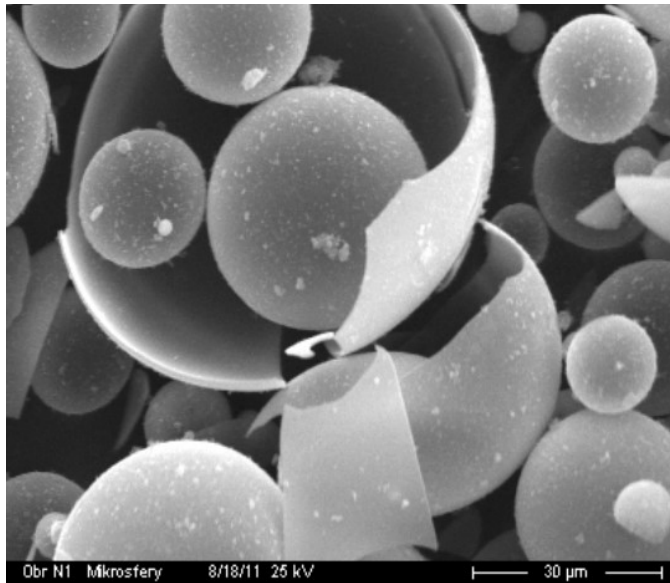


Рисунок 2.1.1 – Микроструктура полых стеклянных микросфер K20 [123]

Таблица 2.1.10 – Химический состав стеклянных микросфер [144]

Оксиды	Si ₂ O	Na ₂ O	CaO	B ₂ O ₃
Содержание, %	70-80	3-8	8-15	2-6

Для снижения расхода полых стеклянных микросфер в работе использовались тонкодисперсные минеральные наполнители, имеющие низкий коэффициент теплопроводности – диатомит Атемарского месторождения, являющийся для Республики Мордовия местным сырьем, и белая сажа.

Диатомит представляет собой окаменелые остатки древних диатомовых водорослей, состоящих, в основном, из аморфного диоксида кремния (таблица 2.1.11). Теплоизоляционные характеристики этой породы обусловлены высокой разноуровневой пористостью [113]. В таблице 2.1.12 приведены основные характеристики порошка, полученного из диатомита Атемарского месторождения.

Таблица 2.1.11 – Химический состав диатомитов Атемарского месторождения [145]

Оксиды	Si ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅
Содержание, %	87,23	3,41	5,15	0,32	1,21	1,75	0,73	0,03	0,06

В работе применялась белая сажа БС-100, представляющая собой гидратированный оксид кремния, получаемый осаждением из раствора силиката натрия (жидкого стекла) кислотой с последующей фильтрацией, промывкой

и сушкой. Физико-химические характеристики сажи белой БС-100 и гранулометрический состав приведены в таблице 2.1.13.

Таблица 2.1.12 – Основные характеристики порошка диатомита [113]

Параметр	Величина
Истинная плотность, кг/м ³	2150
Насыпная плотность, кг/м ³	200 – 350
Размер частиц, мкм	2 – 160

Таблица 2.1.13 – Физико-химические характеристики белой сажи БС-100 [146]

Параметр	Величина
Массовая доля SiO ₂ , %	≥86
Массовая доля H ₂ O, %	≤6,5
Потеря массы при прокаливании, %	5–7
Массовая доля Fe в пересчете на Fe ₂ O ₃ , %	≤0,15
Массовая доля Al в пересчете на Al ₂ O ₃ , %	≤0,15
Массовая доля Ca и Mg в пересчете на CaO, %	≤0,8
Массовая доля хлоридов Cl, %	≤1
Насыпная плотность, г/дм ³ : для неуплотненной	80–130
для уплотненной	170 – 220
Массовая доля остатка на сите с сеткой 014К по ГОСТ 6613, %	≤0,1
Удельная поверхность, м ² /г	100

2.2. Методы исследования характеристик теплоизоляционных покрытий и применяемое оборудование

Технологический процесс получения составов ТП в лабораторных условиях состоял из следующих этапов:

1. получение пигментной пасты;
2. совмещение пигментной пасты с плёнкообразующей дисперсией и загустителем;
3. введение в полуфабрикат (наполненное связующее) микрофер.

Теплоизоляционные покрытия наносили на стеклянные и металлические пластины толщиной, соответственно, 5 и 1 мм и бетонные образцы-балочки с помощью малярной кисти из смешанной щетины в 2 слоя толщиной 0,4-0,5 мм с промежуточной сушкой не менее 24 часов. Выбор стандартных пластинок для испытаний и подготовка их к нанесению покрытий осуществлялся в соответствии с ГОСТ 8832-76.

Перед нанесением покрытий составы ТП тщательно перемешивались до однородной массы вручную, избегая механического разрушения полых сфер, входящих в исследуемые составы. Нанесение покрытий осуществлялось при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(65 \pm 5)\%$.

Внешний вид теплоизоляционных композиций и покрытий на их основе определяли согласно п. 9.3 ГОСТ Р 52020-2003 визуально при рассеянном дневном свете на расстоянии около 0,3 м от испытуемого образца.

Плотность ТП в жидком состоянии определяли согласно ГОСТ 31992.1-2012 «Материалы лакокрасочные. Метод определения плотности». Сущность метода заключается в определении массы образца, помещенного в пикнометр с известной вместимостью при определенной температуре.

Аппаратура, реактивы и материалы:

- электронные весы с точностью измерения 0,01 г;
- пикнометр стеклянный вместимостью 50 см³;
- термометр стеклянный ртутный, обеспечивающий точность измерений 0,2 °С и ценой деления шкалы 0,1 °С;
- водяная баня для поддержания температуры с точностью $\pm 0,5$ °С
- вода дистиллированная;
- растворитель (ацетон).

Плотность лакокрасочного материала (в г/см³) определяли по формуле:

$$\rho_T = \frac{m_2 - m_0}{V} \quad (2.2.1)$$

где m_0 – масса пустого пикнометра, г;

m_2 – масса пикнометра с испытуемым материалом, г;

V – объем пикнометра (см^3), определяемый как

$$V = \frac{m_1 - m_0}{\rho_{H_2O}} \quad (2.2.2)$$

где m_1 – масса пикнометра с дистиллированной водой, г;

ρ_{H_2O} – плотность воды при температуре испытания, г/см^3 .

Перед проведением испытания теплоизоляционные составы тщательно размешивали, чтобы не допустить образования пузырьков воздуха. Взвешивание проводили в течение 5 минут, чтобы избежать потерь массы из-за испарения легколетучих растворителей, входящих в состав лакокрасочного материала. За результат испытания принимали среднее арифметическое результатов трех параллельных определений.

Плотность теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии определяли согласно ГОСТ 15139-69. Для этого определяли массу образца взвешиванием с точностью до 0,0001 г., а также объем образцов по результатам линейных размеров.

Плотность (в г/см^3) образцов в сухом состоянии определяли по формуле:

$$\rho_t = \frac{M_1}{V}, \quad (2.2.3)$$

где M_1 – масса образца в г;

V – объем образца в см^3 .

За результат испытания принимали среднее арифметическое трех параллельных определений, допускаемые расхождения между которыми не превышали $0,0005 \text{ г/см}^3$. Результаты округляли до третьего десятичного знака.

Теплопроводность наполненных связующих и теплоизоляционных покрытий на их основе определяли в соответствии с ГОСТ 7076-99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме» с помощью прибора ИТС-1. Общий вид прибора представлен на рисунке 2.2.1. Технические характеристики прибора ИТС-1 представлены в таблице 2.2.1.

С помощью прибора ИТС-1 возможно задавать условия измерений и устанавливать параметры с помощью экранных меню, производить автоматический цикл измерений с быстрой оценкой результата через 10 – 20 минут с момента начала цикла, определять теплопроводность при средней температуре образца 12 – 43°C, автоматически архивировать 200 результатов и условий измерений, вычислять термическое сопротивление образца, отображать результаты и ход процесса измерения на графическом дисплее в течение всего времени испытания. Технические характеристики прибора приведены в таблице 2.2.1.



Рисунок 2.2.1 – Измеритель теплопроводности материалов ИТС-1

Таблица 2.2.1 – Технические характеристики прибора ИТС-1 [147]

Диапазон измерения теплопроводности, Вт/(м×°С)	0,02 ÷ 1,5
Диапазон определения термического сопротивления, (м ² ×°С)/Вт	0,01 ÷ 1,5
Предел основной относительной погрешности, %	±5
Размеры испытуемого образца, мм	150×150×(4÷40)
Время измерения, час	0,5 ÷ 2,5
Питания прибора	220В / 50Гц
Габаритные размеры прибора, мм	290×190×135
Масса, кг	6,5

Измерение теплопроводности данным методом заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего в перпендикулярном направлении к наибольшим граням плоского образца заданной толщины, измерении

плотности этого теплового потока, толщины образца и температуры противоположных лицевых граней. Измерения производили на образцах с размерами 150x150x5 мм. Измерение толщины образцов производили штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм в четырех углах на расстоянии $(50,0 \pm 5,0)$ мм от вершины угла и посередине каждой стороны. Окончательная толщина образца устанавливалась как среднеарифметическое значение результатов всех измерений. Измерение длины и ширины образцов осуществлялось линейкой с погрешностью не более 0,5 мм. Затем образец высушивали до постоянной массы, и после окончания сушки образец сразу помещался в прибор для измерения теплопроводности. Разность температур лицевых граней образца в процессе испытаний составляла $10 \div 30$ К.

Эффективная теплопроводность λ образца ТП определялась по формуле:

$$\lambda = \frac{d \times q}{\Delta T}, \quad (2.2.4)$$

где d – толщина образца;

q – плотность теплового потока, проходящего через образец;

ΔT – разность температур между противоположными гранями образца.

Адгезия к стали теплоизоляционных покрытий определялась в соответствии с ГОСТ 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии». При определении адгезии к стали использовали метод решетчатых надрезов, суть которого состоит в нанесении решетчатых надрезов на готовое покрытие и визуальной оценке состояния покрытия.

Образцы для испытания представляли собой окрашенные пластины размеров 70×150 мм толщиной 1 мм из листовой стали марки 08кп по ГОСТ 16523-97.

Аппаратура:

- адгезиметр-решетка "Константа-АР";
- толщиномер;
- лупа с 4-х кратным увеличением.

Проведение испытания.

Испытания проводили на двух образцах (по три участка на каждом образце). На каждом испытуемом участке поверхности образца на расстоянии не менее 10 мм от края делали надрезы с помощью адгезиметра до металла длиной не менее 20 мм на расстоянии 3 мм друг от друга. Скорость резания составляла около 30 мм/с. Таким же образом производили надрезы в перпендикулярном направлении для образования решетки из квадратов одинакового размера. Между соседними решетками соблюдалось расстояние в 20 мм. Прорезание покрытия до металла контролировалось с помощью лупы.

Для удаления кусочков покрытия, отслоившихся после нанесения надрезов, проводили мягкой кистью по поверхности решетки в диагональном направлении по пять раз в прямом и обратном направлении. Адгезию оценивали в соответствии с таблицей 1 ГОСТ 15140-78.

За результат испытания принимали значение адгезии в баллах, соответствующее большинству совпадающих значений, определенных на всех испытываемых участках поверхности двух образцов с учетом того, что различие между значениями должно быть не более, чем 1 балл.

Адгезию к бетонной поверхности теплоизоляционных покрытий определяли в соответствии с ГОСТ 28574-2014 «Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий». Сущность метода количественного определения адгезии лакокрасочных покрытий заключается в измерении необходимой силы отрыва покрытия от защищаемой бетонной поверхности в направлении, перпендикулярном плоскости покрытия с помощью приклеенного металлического диска и адгезиметра.

Для проведения испытания использовали образцы-балочки размером 40×40×160 мм из бетонной смеси класса по прочности на сжатие В30, изготовленной в соответствии с ГОСТ 26633. Уплотнение бетонной смеси производили в формах на лабораторном вибрационном столе в течение 30 сек., а затем наружную поверхность образцов выравнивали металлическим шпате-

лем. Твердение образцов продолжалось в течение 28 суток при температуре $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(65 \pm 5) \%$. Поверхность образцов перед нанесением теплоизоляционного покрытия должна соответствовать категории А3 по ГОСТ 13015. Для этого поверхность бетонных образцов очищали от цементного молока и пыли. Составы наносили на поверхность образцов-балочек с помощью малярной кисти из смешанной щетины в 2 слоя толщиной 0,3-0,4 мм с промежуточной сушкой не менее 24 часов. Отверждение покрытий происходило в помещении с температурой воздуха $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и относительной влажностью $(65 \pm 5)\%$.

На подготовленные образцы с покрытием с помощью двухкомпонентного эпоксидного клея наклеивались предварительно очищенные и обезжиренные металлические грибки. Лишний клей удаляли прежде, чем он затвердеет. После отверждения клея покрытие надрезалось до основания по периметру металлических дисков. На каждый бетонный образец наклеивалось по одному металлическому диску. Образцы с нанесенными покрытиями и наклеенными металлическими дисками выдерживались в помещении лаборатории при температуре воздуха $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ в течение 72 часов, после чего производили определение величины адгезии.

Испытуемые образцы закрепляли в адгезиметре. Металлические грибки, наклеенные на образцы, соединяли шарнирно с захватным устройством адгезиметра. Нагружение производилось равномерно, со скоростью не более 1 МПа/сек. с учетом того, что время испытания до отрыва диска должно составлять от 30 до 90 сек.

При отрыве покрытия от бетона величину адгезии R , МПа, вычисляли по формуле:

$$R = \frac{F}{A}, \quad (2.2.5)$$

где F – значение силы, при которой произошел отрыв, Н;

A – площадь отрыва, мм^2 .

При обработке результатов испытаний не менее 5 образцов-близнецов исключали экстремальные значения и определяли среднеарифметическое значение не менее чем по 3 образцам.

Массовую долю нелетучих веществ определяли в соответствии с ГОСТ 31939-2012 «Материалы лакокрасочные. Определение массовой доли нелетучих веществ». Сущность метода заключается в нагревании пробы лакокрасочного материала при определенной температуре в течение заданного промежутка времени или до достижения постоянной массы и определения массовой доли нелетучих веществ по разности результатов взвешивания до и после нагревания.

Аппаратура:

- электрошкаф сушильный, обеспечивающий автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности $\pm 2^\circ\text{C}$;
- электронные весы с точностью измерения 0,1 г.;
- эксикатор с осушителем (силикагель);
- плоскодонные чашки из стекла диаметром $(75 \pm 5 \text{ мм})$ и высотой бортика не менее 5 мм.

Проведение испытания. После очищения, обезжиривания и взвешивания чашки, в нее помещали пробу образца $(1 \pm 0,1 \text{ грамм})$, равномерно распределяя ее по дну. Затем чашку с испытуемым составом помещали в электрошкаф, предварительно нагретый до температуры 125°C , и выдерживали в нем в течение 60 минут. После окончания времени нагрева чашку переносили в эксикатор, охлаждали до комнатной температуры и взвешивали.

Массовую долю нелетучих веществ (в %) определяли по формуле:

$$\text{НВ} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100, \quad (2.2.6)$$

где m_0 – масса пустой чашки, г;

m_1 – масса чашки с пробой для испытания, г;

m_2 – масса чашки с остатком, г.

Среднее значение рассчитывали не менее, чем по двум параллельным испытаниям при условии, что результаты испытаний отличаются друг от друга не более чем на 2% (относительного среднего значения).

Вязкость составов теплоизоляционных покрытий определяли согласно ГОСТ 8420-74 «Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости» с помощью шарикового вискозиметра, представляющего собой стеклянную трубку длиной 350 мм диаметром 20 мм с нанесенными на ней метками, расстояние между которыми 250 мм.

При проведении испытаний стеклянную трубку вискозиметра устанавливали вертикально и заполняли глицерином до нижней отметки и испытуемым материалом на 1 см выше верхней метки. Далее свободно опускали стальной шарик в центр трубки и в момент достижения нижним краем шарика верхней метки включали секундомер. После достижения шариком нижней метки трубки, секундомер останавливали и отсчитывали время прохождения шарика в секундах между двумя метками трубки вискозиметра с погрешностью не более 0,2 с. За величину условной вязкости принимали среднее арифметическое значение трех параллельных определений времени прохождения стального шарика между двумя метками вискозиметра.

Укрывистость теплоизоляционных покрытий определялась в соответствии с ГОСТ 8784-75 «Материалы лакокрасочные. Методы определения укрывистости». Сущность метода заключается в нанесении слоев лакокрасочного материала на стеклянную пластинку до тех пор, пока контуры черно-белой контрастной пластинки или шахматной доски, подложенной под стеклянную пластинку, станут невидимыми.

Укрывистость высушенной пленки (D), в г/м^2 вычисляют по формуле:

$$D = \frac{(m_1 - m_0) \times 10^6}{S}, \quad (2.2.7)$$

где m_0 – масса пустой неокрашенной стеклянной пластинки, г;

m_1 – масса пластинки с высушенной пленкой, г;

S – площадь стеклянной пластинки, мм^2 .

Укрывистость высушенной пленки в пересчете на лакокрасочный материал (D_m), в г/м², вычисляют по формуле:

$$D_m = \frac{D \times 100}{X}, \quad (2.2.8)$$

где X – массовая доля нелетучих веществ в лакокрасочном материале, %.

Паропроницаемость теплоизоляционных составов определяли согласно ГОСТ 28575-90. «Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Испытание паропроницаемости защитных покрытий». При определении паропроницаемости использовали сухой метод.

В сосуд закладывали необходимое количество силикагеля, зазор между образцом и стенкой сосуда заполняли герметизирующей пастой. Кольцеобразный край верхней поверхности образца покрывали герметизирующей пастой до размера, соответствующего открытой нижней поверхности образца. Подготовленные к испытанию эксикаторы с образцами взвешивали с точностью до ± 10 мг и выдерживали в шкафу для кондиционирования при температуре $(20 \pm 0,5)$ °С и относительной влажности воздуха $(80 \pm 2)\%$. Сосуды с образцами взвешивали каждые 24 ч и определяли количество водяного пара, прошедшего через образцы. Взвешивания повторяли до тех пор, пока изменение массы за единицу времени не будет постоянным.

Коэффициент паропроницаемости (δ_m), кг·м⁻²·с⁻¹·Па⁻¹, вычисляли для каждого образца по формуле

$$\delta_m = \frac{(m_2 - m_1)h}{A(t_2 - t_1)(P_e - P_i)}, \quad (2.2.9)$$

где $m_2 - m_1$ – количество водяного пара, проходящего через образец за интервал времени от t_1 до t_2 , кг;

h – толщина образца, м;

A – площадь испытываемого образца, м²;

$t_2 - t_1$ – интервал времени между двумя взвешиваниями, с;

$P_e - P_i$ – разность значений парциального давления водяного пара на образце, Па;

P_e – парциальное давление водяного пара в воздухе температурой 20 °С и относительной влажностью $\varphi_e = 80\%$, Па, вычисляемое по формуле

$$P_e = \frac{\varphi_e \times 2336,75 \text{ Па}}{100}$$

P_i – парциальное давление водяного пара в воздухе температурой 20 °С и относительной влажностью $\varphi_i 0\%$, Па, вычисляемое по формуле

$$P_i = \frac{i \times 2336,75 \text{ Па}}{100}$$

За коэффициенты паропроницаемости принимали среднеарифметическое результатов четырех определений одной серии испытаний, расхождение между которыми не превышает 5%.

Паропроницаемость (δ_0) защитного покрытия определяли по формуле:

$$\delta_0 = \frac{\delta_{m,2}}{\delta_{m,1}}, \quad (2.2.10)$$

где $\delta_{m,2}$ – среднее значение коэффициента паропроницаемости без защитного покрытия;

$\delta_{m,1}$ – среднее значение коэффициента паропроницаемости с защитным покрытием.

2.3. Планирование эксперимента и статистические методы анализа экспериментальных данных

Достижения в производстве, науке и технике требуют увеличения производительности и эффективности труда. Традиционные методы исследований требуют больших затрат, сил и средств и основаны на поочередном варьировании отдельных независимых переменных в условиях, когда остальные стремятся сохранить неизменными [148]. Применение математических методов планирования и анализа эксперимента при проведении исследований способствуют значительному повышению эффективности научной рабо-

ты, и позволяют избежать большинства трудностей традиционных методов исследования. Временные затраты при этом сокращаются в десятки раз [149]. Для исследований с применением планирования эксперимента характерно использование полиномиальных уравнений:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \cdot x_i + \sum_{i<j}^k \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} \cdot x_i^2 + \dots \quad (2.3.1)$$

где y – критерий оптимизации;

$\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$ – коэффициенты полинома;

x_1, x_2, \dots, x_k – варьируемые факторы.

Обработка результатов экспериментальных данных производится с целью определения среднего арифметического значения критерия оптимизации в отдельном опыте, средней квадратической ошибки опыта и коэффициента вариации:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}; \quad (2.3.2)$$

$$S_{\text{ош}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}; \quad (2.3.3)$$

$$V = \frac{S_{\text{ош}}}{\bar{y}}, \quad (2.3.4)$$

где y_i – численное значение случайной величины, полученное в i -ом опыте;

n – количество опытов в одной точке.

Коэффициенты полиномиальных моделей (2.3.1) определялись методом наименьших квадратов. Сущность метода заключается в подборе коэффициентов уравнения с минимальной суммой квадратов отклонений расчетных значений от экспериментальных.

По плану эксперимента составлялись матрица планирования $[X]$ и вектор-столбец результатов эксперимента $[Y]$. Используя матричные операции, вектор-столбец неизвестных коэффициентов полиномиального уравнения $[B]$ находили из решения системы линейных алгебраических выражений:

$$[B] = ([X^T] \cdot [X])^{-1} \cdot [X^T] \cdot [Y]. \quad (2.3.5)$$

Регрессионный анализ проводился с целью статистической обработки полученных полиномиальных моделей. Для этого производили проверку ста-

статистических гипотез об однородности дисперсий в строках матрицы плана эксперимента, значимости коэффициентов регрессии и проверку гипотезы адекватности модели экспериментальным данным.

Проверку точности результатов измерений производят с помощью критерия Стьюдента:

$$P\left(\bar{y} - \frac{t \cdot S_{\text{ош}}}{\sqrt{n}} \leq y \leq \bar{y} + \frac{t \cdot S_{\text{ош}}}{\sqrt{n}}\right) = \alpha, \quad (2.3.6)$$

где t – критерий Стьюдента.

При одинаковом числе наблюдений проверку однородности дисперсий производили с помощью критерия Кохрена. Дисперсия считается однородной, если расчетный критерий Кохрена, равный отношению наибольшей из дисперсий к их сумме, меньше предельного значения, определяемого из таблиц:

$$G = \frac{S_{i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \leq G_{\text{табл.}} \quad (2.3.7)$$

Адекватность полиномиальной модели определялась с помощью критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S^2(Y)}, \quad (2.3.8)$$

где $S_{\text{ад}}$ – дисперсия адекватности, равная:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_1^N (\bar{y}_u - y_u)^2}{f}, \quad (2.3.9)$$

где f – число степеней свободы, равное разнице между числом строк матрицы и числом значимых коэффициентов регрессии.

Уравнение регрессии считается адекватным, если расчетное значение критерия меньше критического, взятого из таблиц.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

3.1. Анализ методов экспериментального определения теплофизических показателей теплоизоляционных покрытий с учетом количества слоев и толщины покрытий

Основным параметром теплоизоляционных материалов, характеризующим способность проводить теплоту, является теплопроводность. Показателем степени проводимости тепла материалом служит коэффициент теплопроводности. От данного показателя зависят толщина теплоизоляционного слоя в строительной конструкции, и, как следствие, ее стоимость, а также величина тепловых потерь.

Ряд производителей теплоизоляционных покрытий заявляют сверхнизкие значения коэффициента теплопроводности ($0,001 \div 0,0015$ Вт/(м×К)), объясняя их уникальные теплоизоляционные свойства наличием в составе связующего вакуумированных микросфер с коэффициентом теплопроводности $0,00083$ Вт/(м×К).

К настоящему времени теплоизоляционные свойства ТП изучены не достаточно полно. Имеющиеся исследования теплоизоляционных характеристик подобных составов, проведенные различными авторами, часто показывают значительное расхождение в результатах измерений [150]. При этом несомненно, что некорректный расчет теплоизоляционных показателей строительных материалов может привести к увеличению потерь тепловой энергии на теплоизолируемых объектах, а в ряде случаев – к выходу из строя инженерного оборудования.

На сегодняшний день предложено несколько методик определения коэффициента теплопроводности тонкослойных покрытий. Так, например, авторами работы [1] предлагается использовать для определения теплопроводности ТП, применяемых для теплоизоляции трубопроводов систем теплоснабжения, образцы цилиндрической формы (рисунок. 3.1.1). Данный метод

позволяет создавать значительный перепад между температурами стенки и окружающей среды, повышая, тем самым, точность полученных результатов в оценке эффективной теплопроводности теплоизоляционных материалов, а также дает возможность смоделировать условия, близкие к реальным условиям эксплуатации трубопроводов систем теплоснабжения. Коэффициент теплопроводности образца теплоизоляции цилиндрической формы λ находят по формуле, полученной из уравнения теплопроводности Фурье:

$$\lambda = q \frac{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}{(T_1 - T_2)}, \quad (3.1.1)$$

где q – плотность теплового потока; r_1 – радиус наружной поверхности слоя теплоизоляции; r_2 – радиус внутренней поверхности слоя теплоизоляции; T_1 – температура наружной поверхности слоя теплоизоляции; T_2 – температура внутренней поверхности слоя теплоизоляции.

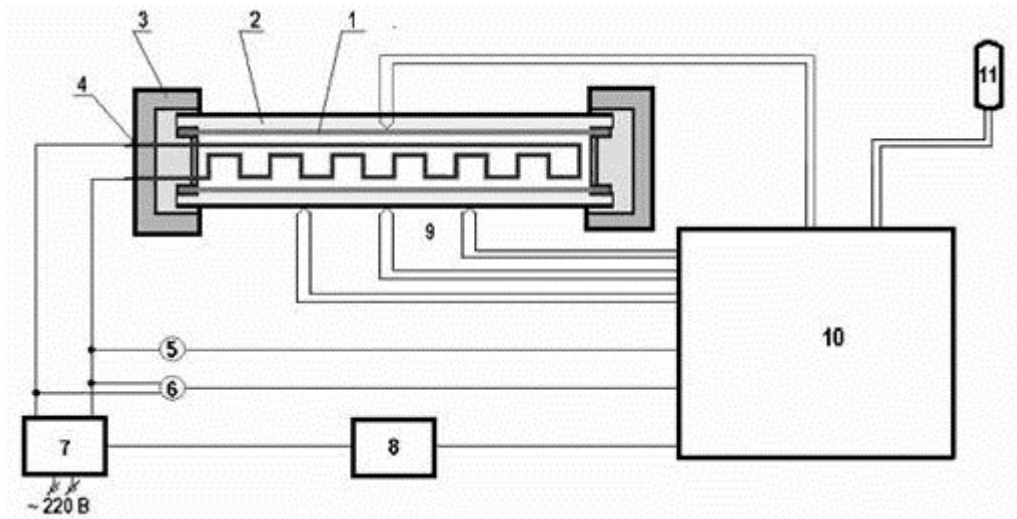


Рисунок 3.1.1 – Схема экспериментального стенда для определения параметров ТП применительно к трубопроводам систем теплоснабжения [1]: 1 – исходный образец; 2 – тестируемый материал; 3 – заглушка; 4 – электронагреватель (ТЭН); 5 – датчик тока; 6 – датчик напряжения; 7 – блок питания; 8 – электронный регулятор температуры трубы «Термодат 18Е2»; 9 – термопары; 10 – измерительно вычислительный комплекс МПС-400М; 11 – датчик температуры окружающей среды

Известен метод определения коэффициента теплопроводности ТП с помощью «вспомогательной стенки» [150], состоящей из двух слоев материала, размещаемых на источнике тепла. При этом, у одного материала известен ко-

коэффициент теплопроводности, а у второго коэффициент теплопроводности определяется по формуле:

$$\lambda_2 = \delta_2 \frac{\lambda_1 t_T - t_1}{\delta_1 t_1 - t_2}, \quad (3.1.2)$$

где δ_1 и λ_1 – толщина и коэффициент теплопроводности материала с известным коэффициентом теплопроводности; t_T – температура источника тепла; t_1 – температура между слоями стенки; t_2 – температура наружной поверхности второго слоя; δ_2 – толщина слоя, коэффициент теплопроводности которого определяется.

Также существует метод определения коэффициента теплопроводности теплоизоляционных покрытий [151], сущность которого заключается в использовании многослойной плоскопараллельной стенки, включающей два слоя материала, установленных на источник тепла, измерении температуры данного источника, температур между двумя слоями материала и наружной поверхности. Температуру неизолированной наружной поверхности верхнего слоя t_n определяют по равенству: $t_n = 2t - t_t$. Далее закрепляют на наружной поверхности верхнего слоя материала тонкую металлическую пластину с нанесенным на нее ТП, измеряют температуру в контактной поверхности верхнего слоя материала и металлической пластины с теплоизоляцией t_u . Коэффициент теплопроводности λ_u предлагается определять по формуле:

$$\lambda_u = \delta_u \frac{\lambda}{\delta} \left(1 - \frac{t_n}{t_u}\right), \quad (3.1.3)$$

где δ_u – толщина жидкого теплоизоляционного покрытия; δ – толщина слоя материала; λ – коэффициент теплопроводности материала; t_n – температура неизолированной наружной поверхности верхнего слоя; t_u – температура в контактной поверхности верхнего слоя материала и металлической пластины с теплоизоляцией.

Однако, согласно [151], данный метод позволяет измерять коэффициент теплопроводности лишь в области от 0,01 до 0,009 Вт/(м×К).

При проведении исследований целесообразно использовать ГОСТовские средства испытаний, что позволяет получать надежную, воспроизводимую оценку изучаемых характеристик. В настоящее время наиболее широко применяется для измерения теплопроводности строительных материалов ГОСТ 7076-99. Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца.

Согласно ГОСТ 7076-99, эффективная теплопроводность (коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)) материала определяется по формуле:

$$\lambda_{eff} = \frac{d}{R}, \quad (3.1.4)$$

где d – толщина образца, м; R – термическое сопротивление, м²×К/Вт.

Термическое сопротивление вычисляется как:

$$R = \frac{\Delta T}{q}, \quad (3.1.5)$$

где ΔT – разность температур между противоположными гранями образца, К; q – плотность стационарного теплового потока, проходящего через образец, Вт/м².

Для измерения теплопроводности насыпного материала в ГОСТ предлагается размещать его в ящике, дно и крышка которого изготовлены из тонкого листового материала. При этом его термическое сопротивление R_u и эффективную теплопроводность λ_{effu} определяют по формулам:

$$R_u = \frac{\Delta T}{q_u} - 2R_L; \quad (3.1.6)$$

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_L}, \quad (3.1.7)$$

где R_L – термическое сопротивление листового материала, из которого изготовлены дно и крышка ящика, м²×К/Вт.

При оценке теплопроводности и теплового сопротивления целесообразно использовать прибор «ИТС-1», позволяющий оценивать данные показате-

ли с помощью метода стационарного теплового потока в соответствии с ГОСТ 7076-99. Техническими характеристиками прибора (см. главу 2) установлена минимальная толщина образцов для проведения измерений, составляющая 5 мм. При этом существует необходимость определения коэффициента теплопроводности покрытий и меньшей толщины, что требует разработки методики подобных исследований.

Авторами работы [152] предложена методика, основанная на определении коэффициента теплопроводности плоского трёхслойного образца, состоящего из двух одинаковых эталонов 1 определенной толщины δ и расположенного между ними слоя жидкой теплоизоляции толщиной $\delta_{\text{ТП}}$ (рисунок 3.1.2). При прохождении стационарного теплового потока через плоский трехслойный образец с помощью измерителя «ИТС-1» определяют эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{ЭКВ.}}$. Коэффициент теплопроводности ТП при этом можно определить по формуле:

$$\lambda_{\text{ТП}} = \frac{\delta_{\text{ТП}}}{\frac{2\delta + \delta_{\text{ТП}}}{\lambda_{\text{ЭКВ.}}} - 2\frac{\delta}{\lambda}}, \quad (3.1.8)$$

где $\lambda_{\text{ЭКВ.}}$ – эквивалентный коэффициент теплопроводности трехслойного образца; λ – коэффициент теплопроводности эталонов; δ – толщина одного эталона; $\delta_{\text{ТП}}$ – толщина слоя теплоизоляции.

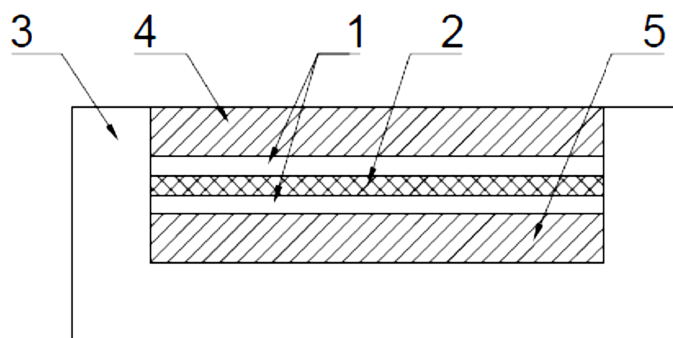


Рисунок 3.1.2 – Схема испытания с помощью прибора «ИТС-1»: 1 – теплопроводные эталоны; 2 – жидкая тепловая изоляция; 3 – измеритель теплопроводности; 4 – нагреватель; 5 – холодильник

Достоинствами данного метода является высокая точность результатов, достигаемая за счет применения специализированного измерителя теплопроводности и применение при расчете всего одной формулы (3.1.8), выведен-

ной из классического уравнения теплопроводности для плоской трехслойной стенки при стационарном тепловом режиме.

Важным условием при использовании данного метода является наличие плотного контакта между слоями. Воздух имеет малую теплопроводность (0,023 Вт/(м×К)), поэтому наличие даже очень тонких зазоров может значительно повлиять на эквивалентный коэффициент теплопроводности трехслойного образца в сторону его уменьшения.

Воспользуемся предложенной методикой для определения теплофизических показателей ТП различной толщины. Для определения влияния числа слоев и толщины покрытия на коэффициент теплопроводности на стекло размером 150 × 150 мм и толщиной 3 мм было нанесено последовательно 6 слоев промышленно-выпускаемого теплоизоляционного покрытия толщиной около 1 мм с промежуточной сушкой в течение 24 часов. На каждом этапе с помощью прибора «ИТС-1» определялись эквивалентные показатели: плотность теплового потока, термическое сопротивление и коэффициент теплопроводности трехслойных образцов. Полученные результаты представлены в таблице 3.1.1 [153].

Из анализа полученных данных установлено (рисунки 3.1.3 – 3.1.5), что эквивалентная плотность теплового потока трехслойных плоских образцов в зависимости от толщины теплоизоляционного слоя описывается логарифмической зависимостью:

$$q_{\text{экв.}} = 141,94 - 21,36 \cdot \ln(\delta_{\text{ТП}}); \quad (3.1.9)$$

эквивалентных показателей термического сопротивления и коэффициента теплопроводности – линейными уравнениями:

$$R_{\text{экв.}} = 0,0292 + 0,0109 \cdot \delta_{\text{ТП}}, \quad (3.1.10)$$

$$\lambda_{\text{экв.}} = 0,1747 - 0,0085 \cdot \delta_{\text{ТП}}. \quad (3.1.11)$$

Для определения коэффициента теплопроводности ТП применялась формула (3.1.8). Плотность теплового потока, термическое сопротивление и коэффициент теплопроводности 2 стеклянных образцов суммарной толщиной 6 мм, соответственно, составили: 230,7 Вт/м², 0,0148 м²К/Вт и 0,4053

Вт/(м×К). Результаты расчета представлены в таблице 3.1.1 и на рисунке 3.1.6.

Таблица 3.1.1 – Измерение теплофизических показателей трехслойных образцов в зависимости от числа слоев и толщины теплоизоляционного покрытия

Номер слоя	Толщина нанесенных слоев, мм	Эквивалентная плотность теплового потока $q_{\text{экв.}}$, Вт/м ²	Эквивалентное термическое сопротивление $R_{\text{экв.}}$, м ² К/Вт	Эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{экв.}}$, Вт/(м×К)	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{ТП}}$, Вт/(м×К)	Термическое сопротивление $R_{\text{ТП}}$, м ² К/Вт
1	1,01	142,4	0,043	0,163	0,0358	0,0282
2	1,99	125,9	0,049	0,163	0,0581	0,0342
3	2,94	118,7	0,060	0,149	0,0651	0,0452
4	4,08	114,0	0,072	0,140	0,0713	0,0572
5	4,87	106,6	0,083	0,131	0,0714	0,0682
6	5,98	104,0	0,096	0,125	0,0739	0,0812

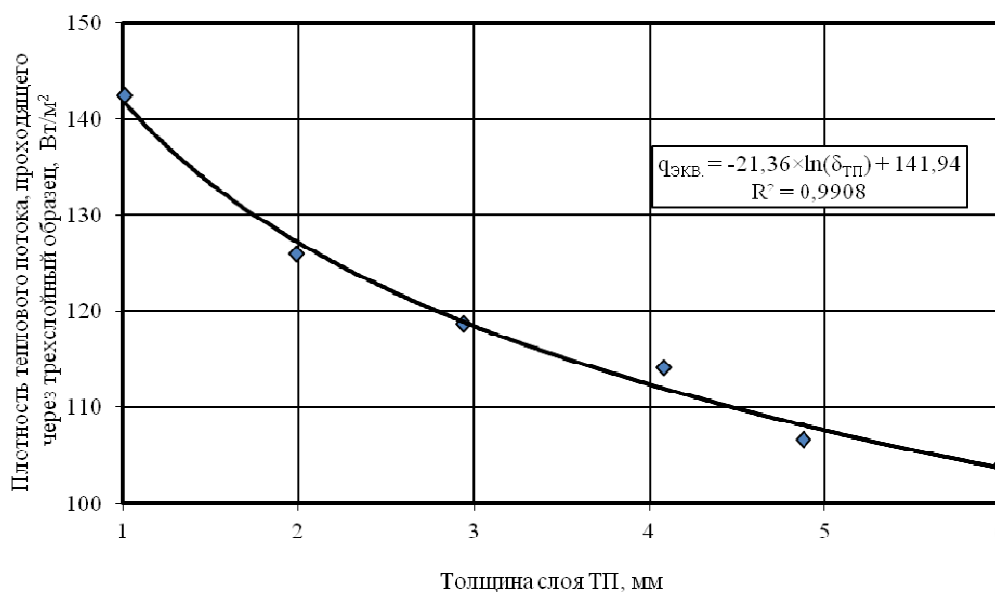


Рисунок 3.1.3 – Изменение эквивалентной плотности теплового потока, проходящего через трехслойный образец в зависимости от толщины слоя теплоизоляционного покрытия

Анализ графических зависимостей изменения коэффициента теплопроводности (рисунок 3.1.6) показал, что при увеличении толщины покрытия в интервале от 1 до 6 мм происходит увеличение данного показателя от 0,0358 до 0,0739 Вт/(м×К). Наибольшее изменение $\lambda_{\text{ТП}}$ при увеличении толщины

покрытия зафиксировано на интервале $1 \div 2$ мм. Коэффициент вариации данного показателя на всем исследуемом интервале составляет 22.9%; сужение исследуемого интервала толщин покрытия приводит к его значительному уменьшению: 9,43% – для $2 \div 6$ мм; 5,363% – для $3 \div 6$ мм; 2,01% – для $4 \div 6$ мм; 2,37% – для $5 \div 6$ мм [153].

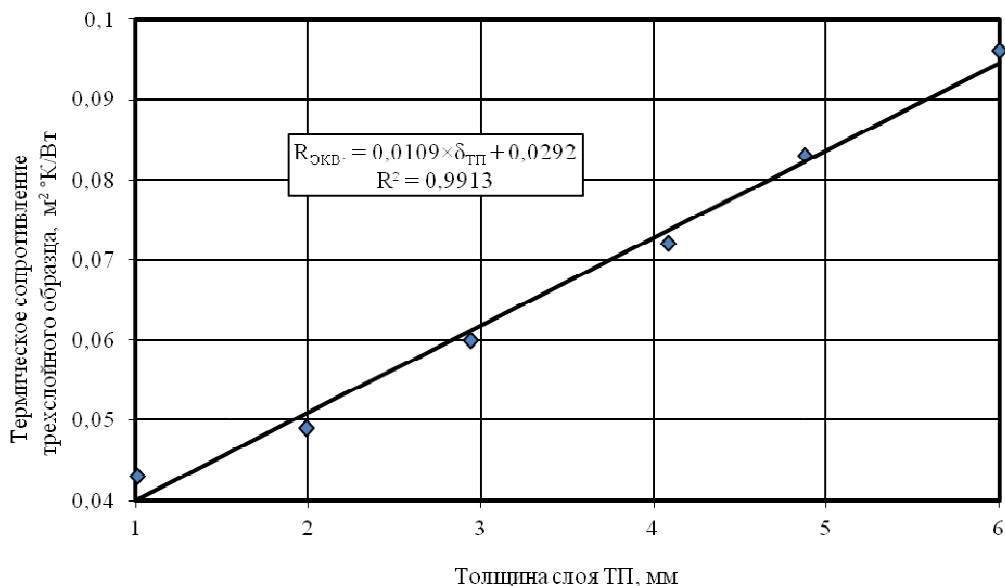


Рисунок 3.1.4 – Изменение эквивалентного термического сопротивления трехслойного образца в зависимости от толщины слоя теплоизоляционного покрытия

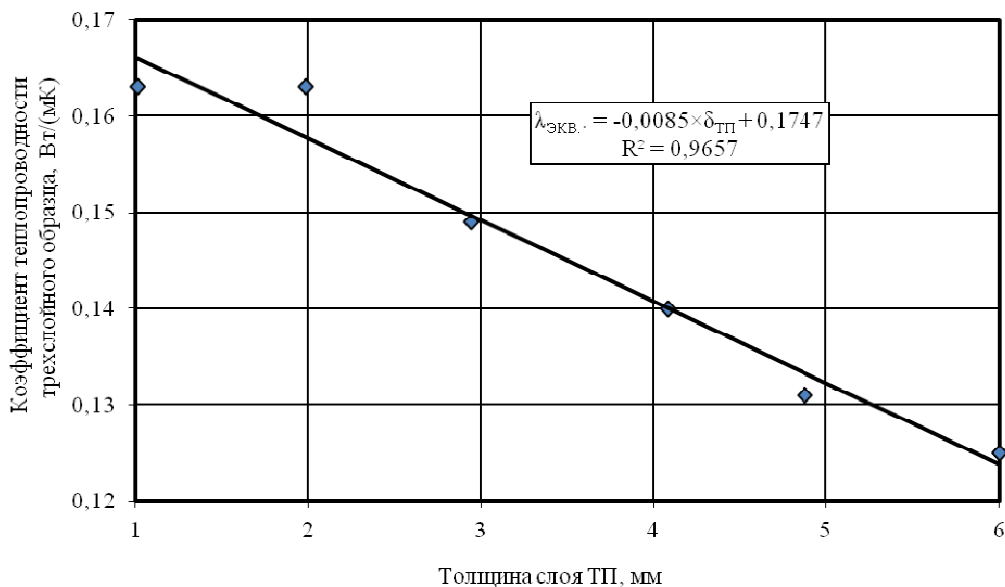


Рисунок 3.1.5 – Изменение эквивалентного коэффициента теплопроводности трехслойного образца в зависимости от толщины слоя теплоизоляционного покрытия

Термическое сопротивление для каждого слоя образца теплоизоляционного покрытия определяли как:

$$R_{\text{ТП}} = R_{\text{ЭКВ}} - R, \quad (3.1.12)$$

где $R_{\text{ТП}}$ – термическое сопротивления жидкой теплоизоляции; $R_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентное термическое сопротивление; R – термическое сопротивление образцов эталонов.

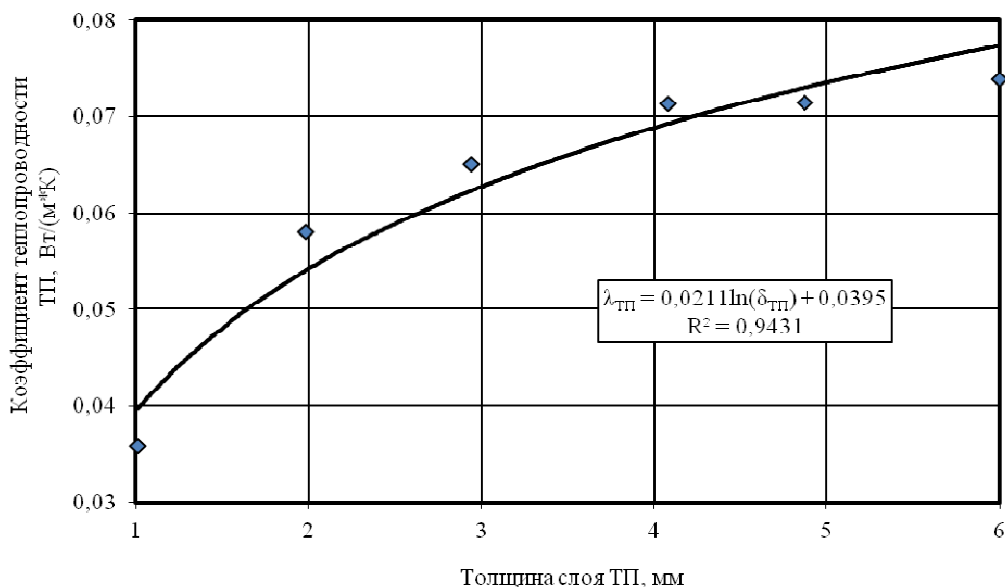


Рисунок 3.1.6 – Изменение коэффициента теплопроводности ТП в зависимости от толщины покрытия

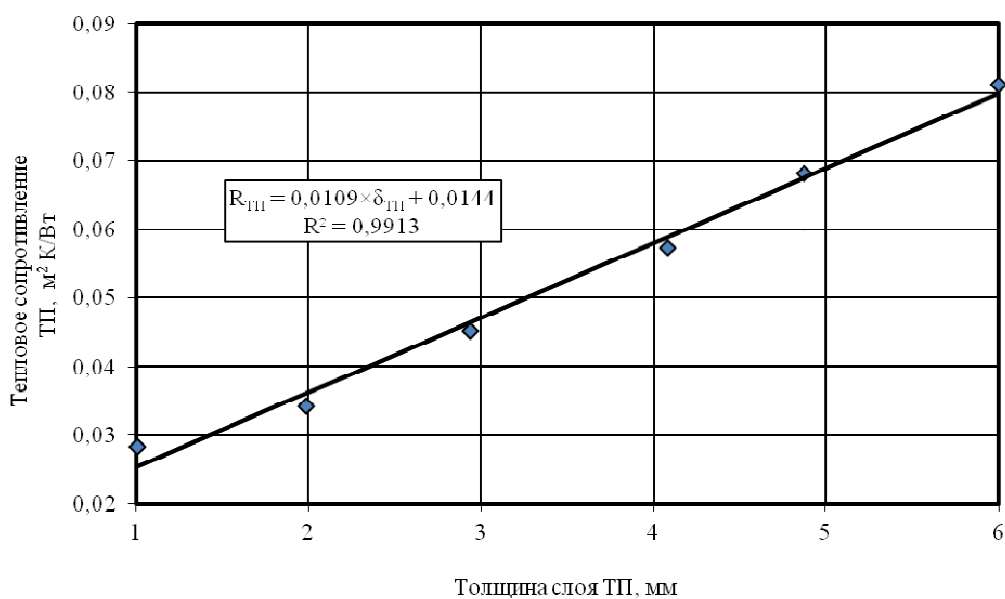


Рисунок 3.1.7 – Изменение термического сопротивления ТП в зависимости от толщины покрытия

Результаты расчета термического сопротивления каждого слоя ТП представлены в таблице 3.1.1 и на рисунке 3.1.7. Установлено, что тепловое сопротивление теплоизоляционных покрытий повышается с увеличением толщины покрытия и составляет для шестислойного покрытия $0,0812 \text{ м}^2 \times \text{К}/\text{Вт}$. Изменение теплового сопротивления в зависимости от толщины покрытия описывается линейным уравнением:

$$R_{\text{ТП}} = 0,0144 + 0,0109 \cdot \delta_{\text{ТП}} ; \quad (3.1.13)$$

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения данной методики, основанной на использовании измерителя теплопроводности «ИТС-1» для оценки теплофизических показателей тонких теплоизоляционных покрытий. Экспериментально установлено, что для получения наиболее стабильных показателей целесообразно проведение исследований теплоизоляционных покрытий толщиной $3 \div 6 \text{ мм}$.

3.2. Влияние минеральных наполнителей на характеристики наполненных полимерных связующих теплоизоляционных покрытий

Современная технология изготовления полимерных композиционных материалов предполагает широкое использование разнообразных наполнителей. Применение дисперсных наполнителей в производстве полимерных материалов позволяет: придать полимерам новые эксплуатационные свойства (снижение горючести и теплопроводности), улучшить технологические свойства и перерабатываемость (снижение усадки, регулирование текучести, улучшение формоустойчивости), существенно варьировать физико-механические, химические и оптические характеристики; уменьшить стоимость [154]. Как правило, в качестве дисперсных наполнителей выступают порошки с размером частиц от 2 до 300 мкм, однако в последнее время для изготовления наномодифицированных композитов используют частицы размером менее 1 мкм. Количество дисперсного наполнителя в ПКМ варьируется в широких пределах – от нескольких процентов до $70 \div 80\%$ [155]. Воз-

можно использование сразу несколько видов наполнителей для получения заданных свойств композита.

Наполнители в зависимости от способа получения подразделяются на:

- природно-дисперсные – диатомит, мел, каолин, мел, бентонит;
- механически диспергированные – гипс, тальк, барит, слюда, асбест хризотилловый пылеватый;
- синтетические – окись и гидроокись алюминия, аэросил, белая сажа, бланфикс синтетический барит и др.

К числу важнейших требований, предъявляемых к дисперсным наполнителям, относят хорошую смачиваемость полимером, способность совмещаться или диспергироваться в нем, а так же отсутствие склонности к агломерации частиц и низкая влажность.

При производстве составов ТП многие производители, стремясь достигнуть максимально низких значений теплопроводности, в качестве наполнителей используют исключительно полые стеклянные или керамические микросферы, содержание которых, согласно литературным источникам, может достигать 80% от общего объема. При этом роль наполненного связующего в целях дополнительного снижения теплопроводности составов практически не учитывается.

По нашему мнению, при разработке теплоизоляционных покрытий необходимо уделять особое внимание оптимизации составов наполненных минеральными порошками связующих не только по прочностным и адгезионным характеристикам, но и по их теплопроводности. Как показали проведенные исследования [156, 157], при разработке составов связующих, предназначенных в дальнейшем для изготовления ТП, целесообразно использовать минеральные порошки низкой плотности, что позволяет дополнительно снизить теплопроводность наносимых покрытий. Проведенный анализ показал, что наиболее перспективными наполнителями с этой точки зрения являются белая сажа и порошки на основе диатомитов, являющиеся для Республики Мордовия местными материалами.

Минеральные порошки благодаря кремнистому, тонкодисперсному составу и большой удельной поверхности обладают высокими теплоизоляционными, кислотоустойчивыми и огнеупорными свойствами [113], что позволяет использовать их в рецептурах теплоизоляционных покрытий. Основные характеристики белой сажи и диатомита приведены в главе 2.

Представленные в работах [158, 159] результаты исследований структурных характеристик природных диатомитов месторождений Среднего Поволжья показали, что диатомиты Атемарского месторождения содержат несколько большее количество диоксида кремния, чем другие диатомиты и примерно на 2% меньше оксида алюминия, что свидетельствует о незначительном содержании в нем глинистых минералов. В качестве объектов исследований авторами [160] выбраны диатомиты Инзенского месторождения Ульяновской области, Никольского месторождения Пензенской области и Атемарского месторождения Республики Мордовия. Результаты проведенного сравнительного анализа (в пересчете на оксиды) полученных структурных характеристик природных диатомитов представлены в таблице 3.2.1. Установлено [158], что в целом природные диатомиты трех месторождений сходны по своему химическому составу, а достаточно высокое содержание диоксида кремния в них позволяет рассматривать эти материалы как полидисперсные зернистые системы, пригодные для промышленного производства теплоизоляционных материалов.

Также в работе была использована белая сажа марки БС-100, применяемую в шинной, резинотехнической, химической, легкой и других отраслях промышленности в качестве усиливающего наполнителя синтетических и полимерных материалов. Химическая формула – $m \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$. Химический состав белой сажи приведен в таблице 3.2.1. Насыпная плотность порошков диатомита Атемарского месторождения (республика Мордовия) 280 кг/м^3 , белой сажи БС-100 – 138 кг/м^3 ; размер частиц – $2 \div 160$ и $23 \div 34$ мкм, соответственно.

Особое значение при разработке защитных покрытий имеет выбор связующего, так как от типа полимерной матрицы существенно меняется диапазон рабочих температур, водо-и атмосферостойкость, химическая стойкость, ударная прочность и долговечность наносимых покрытий [161]. Акриловые связующие на водной основе хорошо зарекомендовали себя при эксплуатации в качестве защитно-декоративных покрытий строительных конструкций, зданий и сооружений [102]. Они являются экологически чистыми, быстро сохнут, не имеют неприятного запаха, имеют длительный срок службы, пожаро- и взрывобезопасны. При проведении экспериментальных исследований использовалась акриловая дисперсия «Акрэмос-101», представляющая собой дисперсию сополимера стирола и акриловых мономеров. Дисперсия хорошо совмещается со многими добавками и наполнителями, входящими в состав ЛКМ, и обладает высокой светостойкостью, стойкостью к старению и действию щелочной среды [98, 162].

Таблица 3.2.1 – Химический состав исследуемых минеральных наполнителей

Оксиды, %	Si ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MnO
Диатомит	87,23	3,41	5,15	0,32	1,21	1,75	0,73	0,03	0,06	-	
Белая сажа	96,47	0,19	0,62	-	-	0,54	0,15	0,12	-	0,74	0,18

Экспериментальные исследования были проведены с помощью методов математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования использовали ортогональный план второго порядка, состоящий из 15 опытов. Варьируемыми факторами служили: акриловая дисперсия (X_1); диатомит (X_2) и белая сажа (X_3). Содержание специализированных видов добавок и загустителя принималось постоянным по отношению к связующему для всех составов. Уровни варьирования переменных факторов и план экспериментального исследования в кодовых величинах приведены, соответственно, в таблицах 3.2.2 и 3.2.3.

Таблица 3.2.2 – Уровни варьирования переменных факторов

Исследуемые факторы			Уровни варьирования		
Обозначение	Наименование	единицы измерения	-1	0	+1
x_1	акриловая дисперсия	% от массы связующего	16	20	24
x_2	диатомит	% от массы связующего	5	10	15
x_3	белая сажа	% от массы связующего	2	5	8

Таблица 3.2.3 – План и результаты экспериментальных исследований наполненных акриловых связующих

Номер состава	Исследуемые факторы в кодовых величинах			Результаты экспериментальных исследований		
	Акриловая дисперсия (x_1)	Диатомит (x_2)	Белая сажа (x_3)	Плотность в жидком состоянии, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³	Теплопроводность, Вт/(м×К)
1	0	1	1	0,88	0,80	0,225
2	0	1	-1	1,01	0,75	0,354
3	0	-1	1	0,90	0,86	0,304
4	0	-1	-1	1,52	0,815	0,307
5	1	-1	0	1,04	0,59	0,296
6	1	1	0	1,10	0,89	0,253
7	1	0	-1	1,06	0,72	0,191
8	1	0	1	1,15	0,98	0,123
9	1	0	0	1,04	0,90	0,253
10	0	0	0	0,91	0,72	0,252
11	-1	-1	0	0,88	0,553	0,167
12	-1	1	0	-	-	-
13	-1	0	-1	0,90	0,496	0,138
14	-1	0	1	-	-	-
15	-1	0	0	1,4	1,045	0,353

В ходе проведения экспериментального исследования оценивались: плотность в жидком и сухом состояниях и теплопроводность (ГОСТ 7076-99) составов наполненных связующих и ГП на их основе. Известно, что лучший теплоизолятор – это сухой воздух (коэффициент теплопроводности – 0,023 Вт/(м×К)), особенно когда он заключен в порах материала, т. е. малоподвижен. Если поры крупные и, тем более, сообщающиеся между собой и внешней средой, то происходит конвекционное передвижение воздуха и теплопроводность материала увеличивается. Тонкодисперсные минеральные по-

рошки обладают высокой пористостью, что позволяет существенно снижать плотность и, как следствие, и теплопроводность разрабатываемых составов.

Из анализа экспериментальных данных, представленных в таблице 3.2.3, видно, что в зависимости от соотношения и доли в составе наполненного связующего диатомита и белой сажи происходит существенное изменение теплопроводности ($0,12 \div 0,35$ Вт/(м×К)), а также плотности в жидком ($0,88 \div 1,52$ г/см³) и сухом ($0,5 \div 1,045$ г/см³) состояниях. Наименьшие показатели теплопроводности, составляющие $0,12 \div 0,13$ Вт/(м×К), выявлены для 8 и 13 композитов. Составы 12 и 14 наполненного связующего обладали повышенной ломкостью, что не позволило получить для них значения по теплопроводности и плотности в сухом состоянии.

С учетом уменьшения числа экспериментальных значений для получения математической модели было выбрано полиномиальное уравнение следующего вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{122}x_1x_2^2 + b_{113}x_1^2x_3 . \quad (3.2.1)$$

После обработки экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов получены коэффициенты полиномиальных уравнения (см. таблицу 3.2.4).

Учитывая, что введение тонкодисперсных наполнителей приводит к значительному повышению вязкости композиции, что связано с их высокими адсорбционными свойствами, перед введением в состав наполненных связующих полых микросфер композиции предварительно (для обеспечения требуемой подвижности) корректировались за счет введения дополнительного количества воды. Суммарный расход воды на всех этапах изготовления наполненных связующих и расход остальных компонентов, в перерасчете на 100 г смеси, приведены на рисунках 3.2.1 – 3.2.4.

Из анализа изолиний изменения теплопроводности установлено (рисунок 3.2.5), что наилучшими теплоизоляционными характеристиками при

24%-ном содержании в составе наполненных связующих акриловой дисперсии обладают композиты с максимальным содержанием минеральных наполнителей, составляющем, соответственно, 8% белой сажи и 15% диатомита. При снижении доли акриловой дисперсии до 20% наблюдается смещение зоны оптимума в область, содержащую от 9 до 13% диатомита; доля белой сажи в составе наполненных связующих при этом не меняется и составляет 8% (рисунок 3.2.5, а) [163].

Таблица 3.2.4 – Значения коэффициентов полиномиальных уравнений (3.2.1)

Коэффициенты уравнения	Плотность в сухом состоянии, г/см ³	Плотность в жидком состоянии, г/см ³	Теплопроводность, Вт/(м×К)
b_0	0,730	0,910	0,2519
b_1	-0,073	-0,180	-0,0496
b_2	-0,031	-0,135	-0,0080
b_3	0,024	-0,185	-0,0331
b_{12}	-0,377	-0,330	-0,2352
b_{13}	-0,185	-0,260	-0,0761
b_{23}	0,001	0,125	-0,0314
b_{11}	0,243	0,310	0,0511
b_{22}	0,126	0,100	0,1421
b_{33}	-0,050	0,065	-0,0965
b_{112}	0,559	0,495	0,2214
b_{122}	-0,286	-0,070	-0,1211
b_{113}	0,291	0,490	0,0750

Еще одной важной характеристикой теплоизоляционных материалов является плотность, оказывающая существенное влияние на механическую прочность, водопоглощение, теплопроводность и другие свойства покрытий. Изолинии изменения плотности наполненных связующих в жидком состоянии от количественного содержания минеральных наполнителей приведены на рисунке 3.2.6. Установлено, что при 20% содержании акриловой дисперсии «Акрэмос-101» наименьшая плотность зафиксирована при содержании 8% белой сажи и 9÷12% диатомита. Повышение доли «Акрэмос-101» до 24% от массы связующего приводит к повышению данного показателя в указанной выше области до 1,1÷1,2 г/см³.

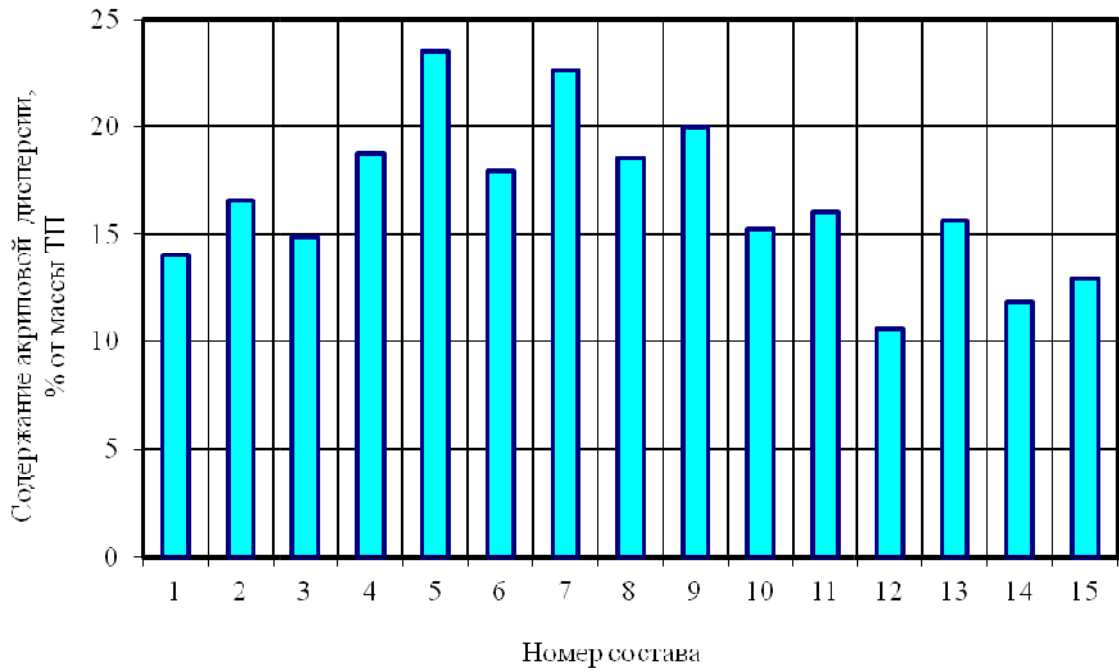


Рисунок 3.2.1 – Гистограммы изменения содержания акриловой дисперсии «Акрэмос-101» от массы ТП

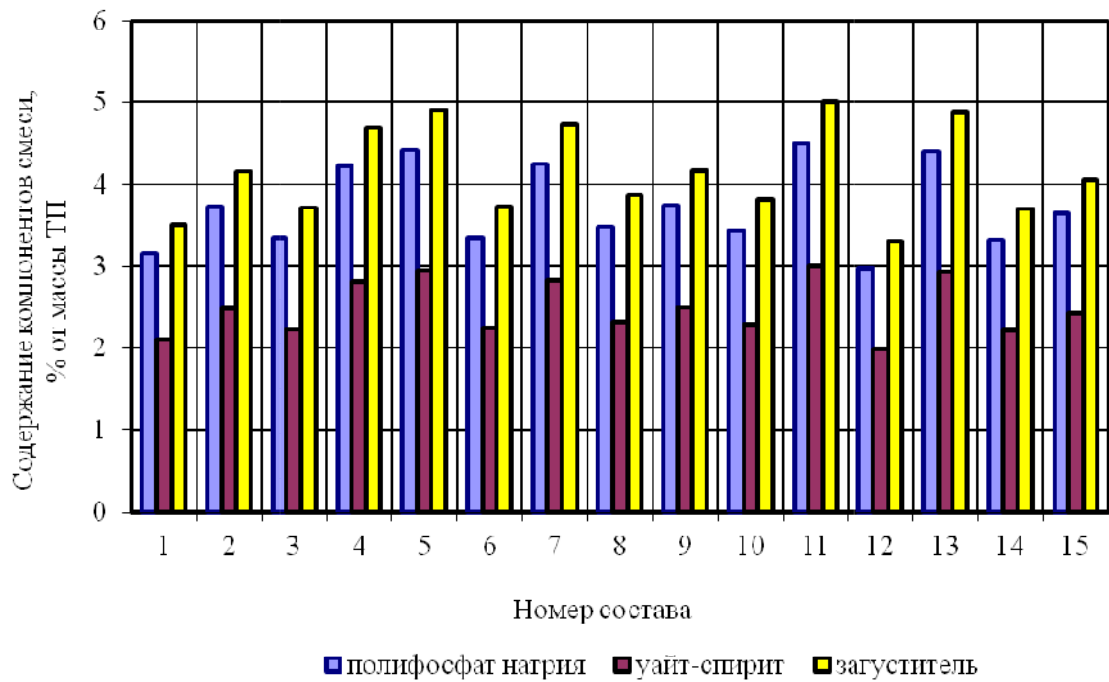


Рисунок 3.2.2 – Гистограммы изменения содержания целевых добавок (полифосфат натрия, уйт-спирит) и загустителя от массы ТП

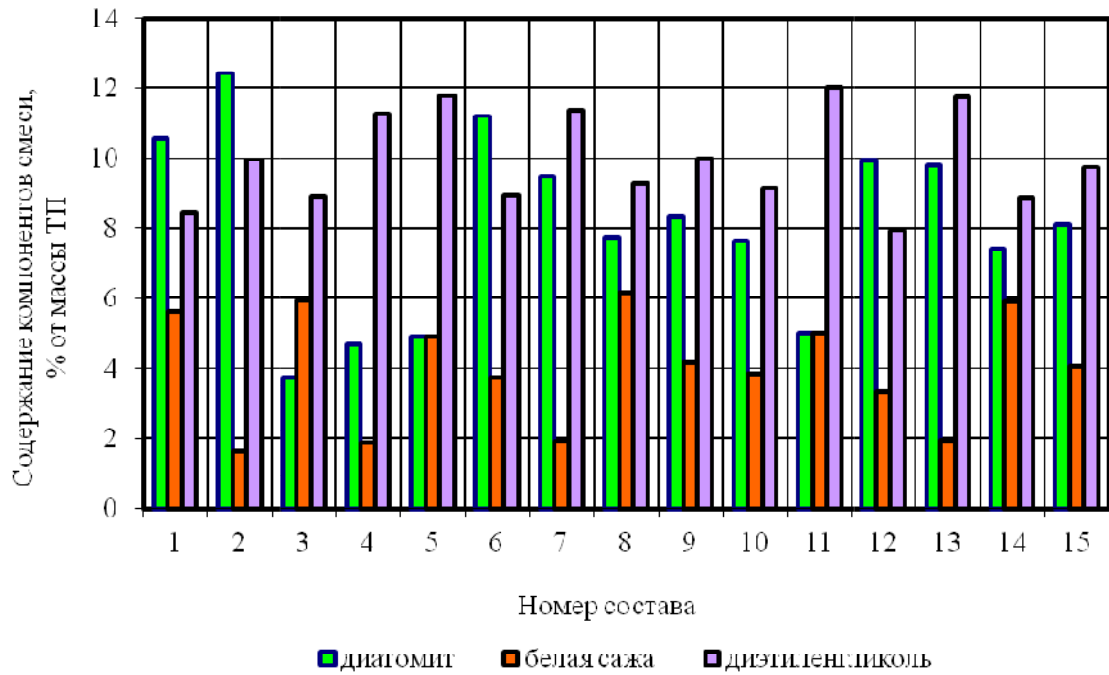


Рисунок 3.2.3 – Гистограммы изменения содержания минеральных наполнителей (диатомит, белая сажа) и целевой добавки диэтиленгликоль от массы ТП

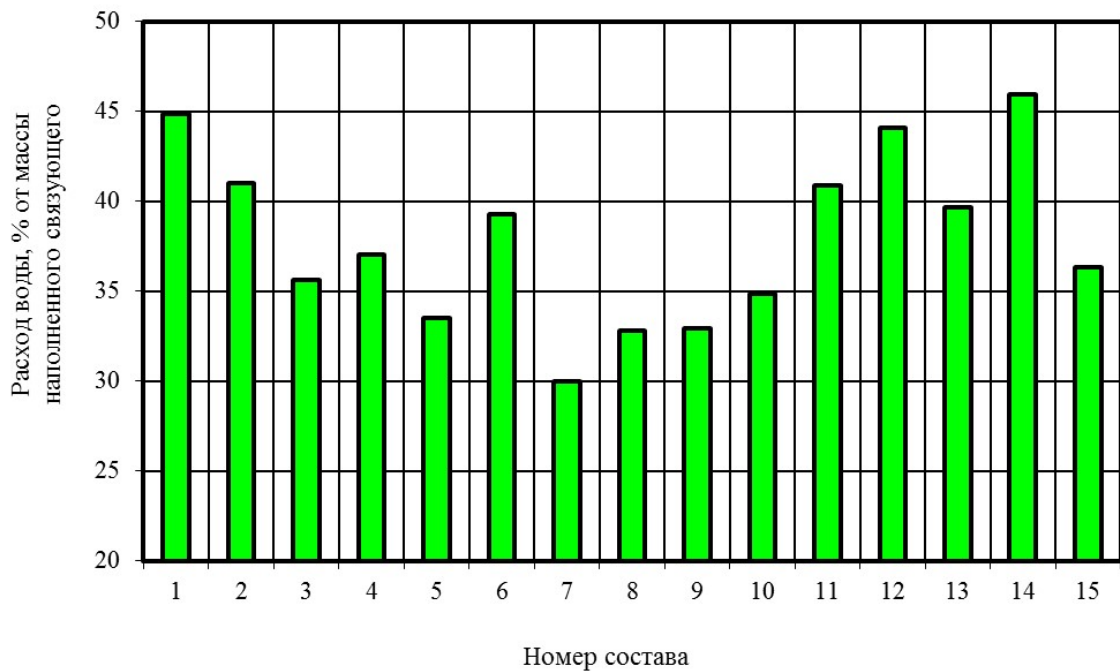
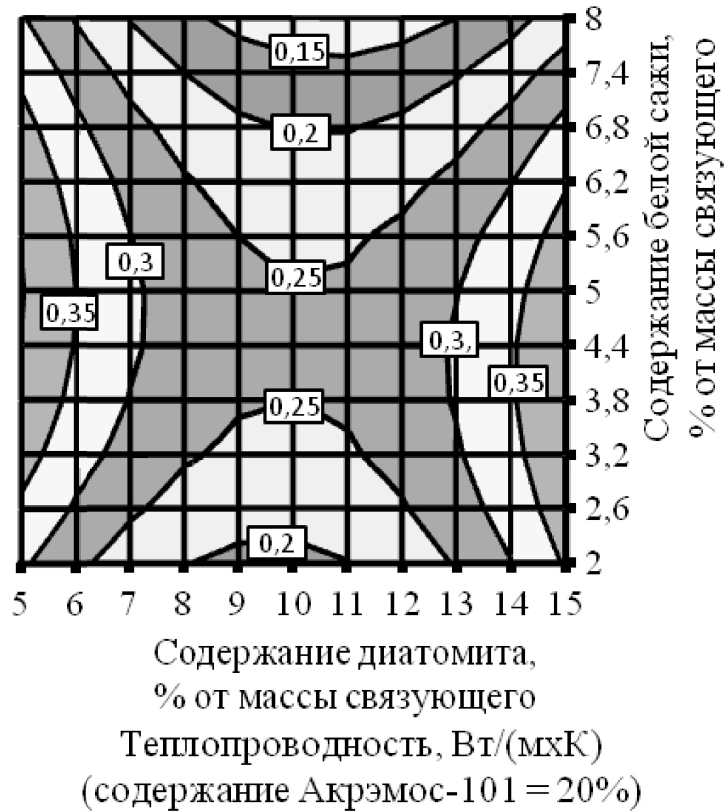


Рисунок 3.2.4 – Гистограммы изменения содержания воды от массы наполненного связующего

a)



б)

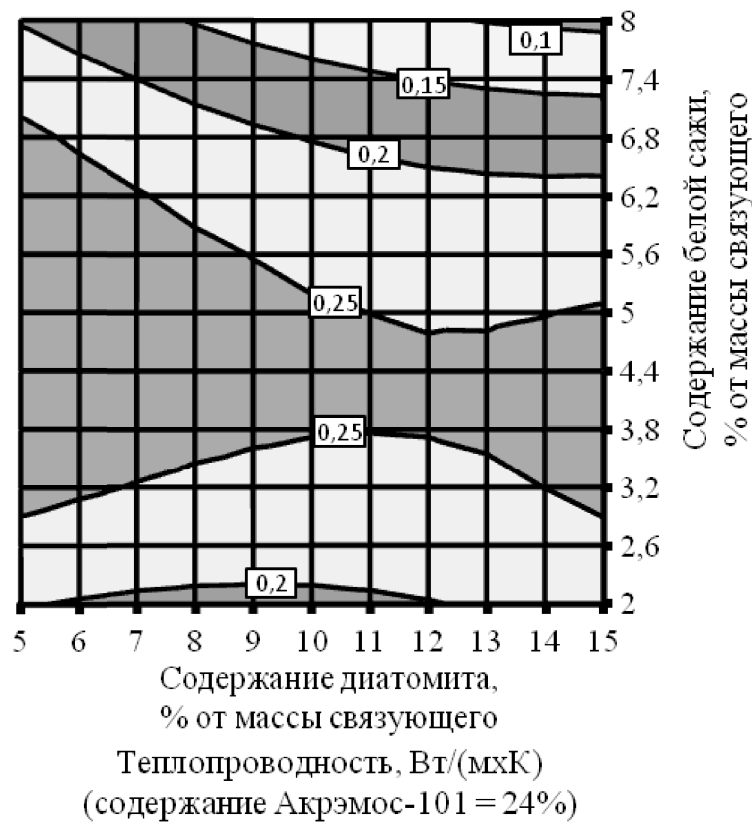
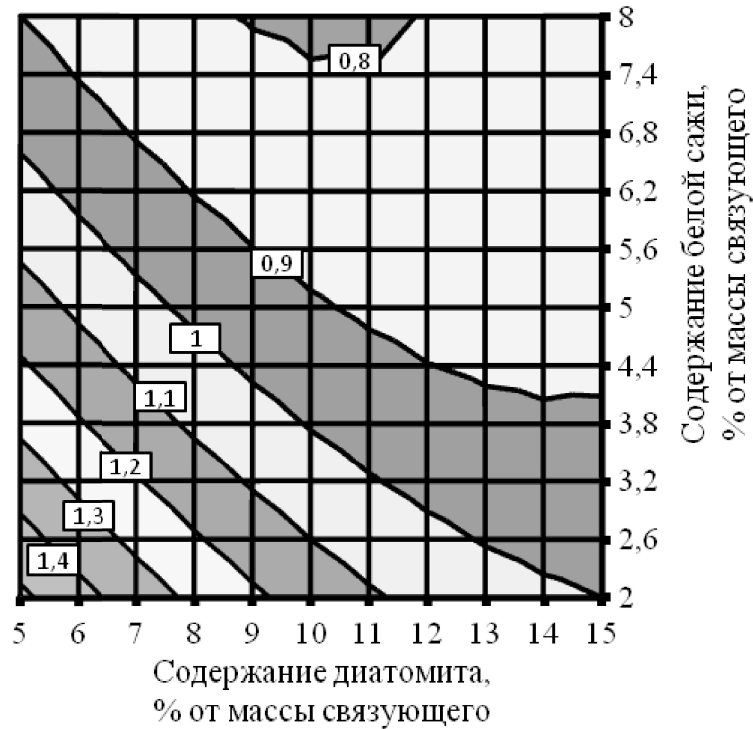


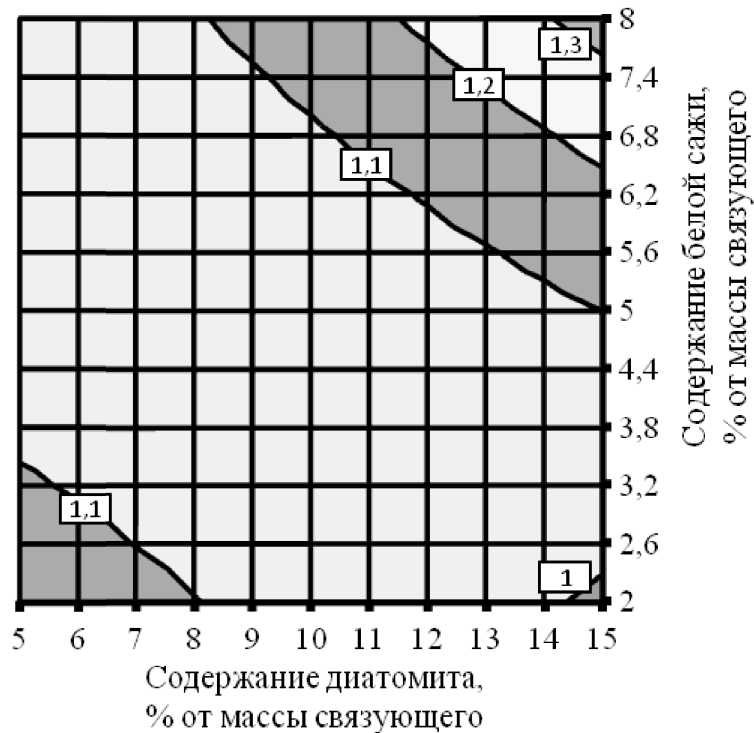
Рисунок 3.2.5 – Изолинии изменения теплопроводности наполненных акриловых связующих в зависимости от содержания диатомита и белой сажи при содержании акриловой дисперсии 20 (а) и 24% (б) от массы

a)



Плотность связующего в жидк. сост., г/см³
(содержание Акрэмос-101 = 20%)

б)



Плотность связующего в жидк. сост., г/см³
(содержание Акрэмос-101 = 24%)

Рисунок 3.2.6 – Изолинии изменения плотности в жидком состоянии наполненных связующих в зависимости от содержания диатомита и белой сажи при содержании акриловой дисперсии 20 (а) и 24% (б) от массы

Итогом проведенных исследований по изучению свойств наполненных связующих для производства ТП стала разработка 13 составов (из 15 исследованных), удовлетворяющих предъявляемым требованиям. Составы 12 и 14 наполненного связующего обладали повышенной ломкостью, что не позволило получить для них значения по теплопроводности и плотности в сухом состоянии.

3.3. Экспериментальные исследования свойств теплоизоляционных покрытий

Известно, что теплотехнические свойства теплоизоляционных покрытий в значительной степени зависят от качества используемых микросфер, их количества и распределения в единице объёма [164]. Теплопроводность самих микросфер, в большей степени, определяется материалом, из которого они изготовлены, размером частиц и толщиной стенки. Так, с увеличением толщины стенки происходит возрастание прочности микросфер, но в тоже время увеличиваются показатели теплопроводности и плотности.

В работе для изготовления составов ТП использовались микросферы марки K15 производства компании 3M Glass Bubbles. Выбор данных микросфер обусловлен сочетанием низкой теплопроводности и плотности. Сферическая форма позволяет частицам легко перемещаться друг относительно друга и, как следствие, увеличивать текучесть смеси. Кроме того, благодаря инертному составу, микросферы 3M™ Glass Bubbles обладают стойкостью к воздействию химических веществ. Основные характеристики стеклянных микросфер марки K15, изготовленных на основе боросиликатного стекла, приведены в главе 2.

Заключительный этап изготовления составов ТП заключался во вводе микросфер в состав наполненных связующих; количество вводимых микросфер варьировалось с учетом достижения требуемой вязкости смеси для получения составов с однородной подвижностью. Составы 12 и 14, для которых не удалось получить экспериментальных значений плотности и теплопро-

водности на этапе подбора состава наполненных связующих из-за их хрупкости, также были использованы в дальнейшей работе. Количество вводимых микросфер марки K15 3M™ Glass Bubbles в зависимости от состава наполненного связующего приведено на рисунке 3.3.1. Учитывая низкую плотность данных микросфер ($0,15 \text{ г/см}^3$), суммарное содержание их в составе ТП варьировалось от 5 до 12% от массы.



Рисунок 3.3.1 – Содержание полых микросфер марки K15 3M™ в зависимости от массы ТП

Учитывая многофазность системы, теплообмен в теплоизоляционных покрытиях может осуществляться посредством

- теплопроводности вдоль частиц минеральных наполнителей;
- передачи тепла теплопроводностью от одной частице к другой в местах их непосредственного контакта;
- теплопередачи на границах минеральных наполнителей и связующего полимера;
- молекулярной теплопроводности в среде, заполняющей поры материала;
- конвекции газа содержащегося в порах;

- излучения.

При обработке результатов экспериментальных исследований были отброшены составы 6, 8 и 9, так как полученные покрытия обладали повышенной усадкой с тенденцией к формированию мелких трещин. С учетом уменьшения числа экспериментальных значений для получения математической модели была произведена корректировка стандартного полинома, принявшего следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{122}x_1x_2^2 + b_{133}x_1x_3^2. \quad (3.3.1)$$

где x_1, x_2, x_3 – содержание, соответственно, акриловой дисперсии «Акрэмос-101», диатомита и белой сажи в составе ТП.

Анализ графических зависимостей плотности и теплопроводности разрабатываемых составов теплоизоляционных покрытий (рисунки 3.3.2 – 3.3.3) показал, что получены составы, покрытия на основе которых обладают коэффициентом теплопроводности $0,05 \div 0,06$ Вт/(м×К) и плотностью в сухом состоянии – $0,2 \div 0,4$ г/см³, что не уступает промышленно-выпускаемому аналогу (теплопроводность «Изоллат-02» – $0,0713$ Вт/(м×К)). Наилучшими теплоизоляционными характеристиками при 16%-ном содержании в составе ТП акриловой дисперсии обладают композиты с содержанием диатомита от 12 до 15 % и белой сажи от 5,6 до 8% от массы связующего (рисунок 3.3.4, а). При увеличении доли акриловой дисперсии до 20% наблюдается смещение зоны оптимума в область, содержащую от 2,6 до 8 % белой сажи, оптимальная доля диатомита в составе наполненных связующих при этом не меняется и составляет $11 \div 15\%$ (рисунок 3.3.4, б) [165].

Анализ изолиний равного влияния плотности теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии (рисунок 3.3.5) показал, что для составов, содержащих 16% полимерной дисперсии, минимальные значения плотности получены в области, содержащей от 7 до 15 % диатомита и от 4,6 до 8 % белой сажи. Наибольшие значения данного показателя ($0,45$ г/см³) наблюдаются

при минимальной степени наполнения акриловой дисперсии минеральными порошками. Увеличение в составах доли полимерной дисперсии до 20% приводит к смещению области оптимальных значений в область, содержащую от 7 до 11 % диатомита и от 3,2 до 6,8 % белой сажи (рисунок 3.3.5, б).

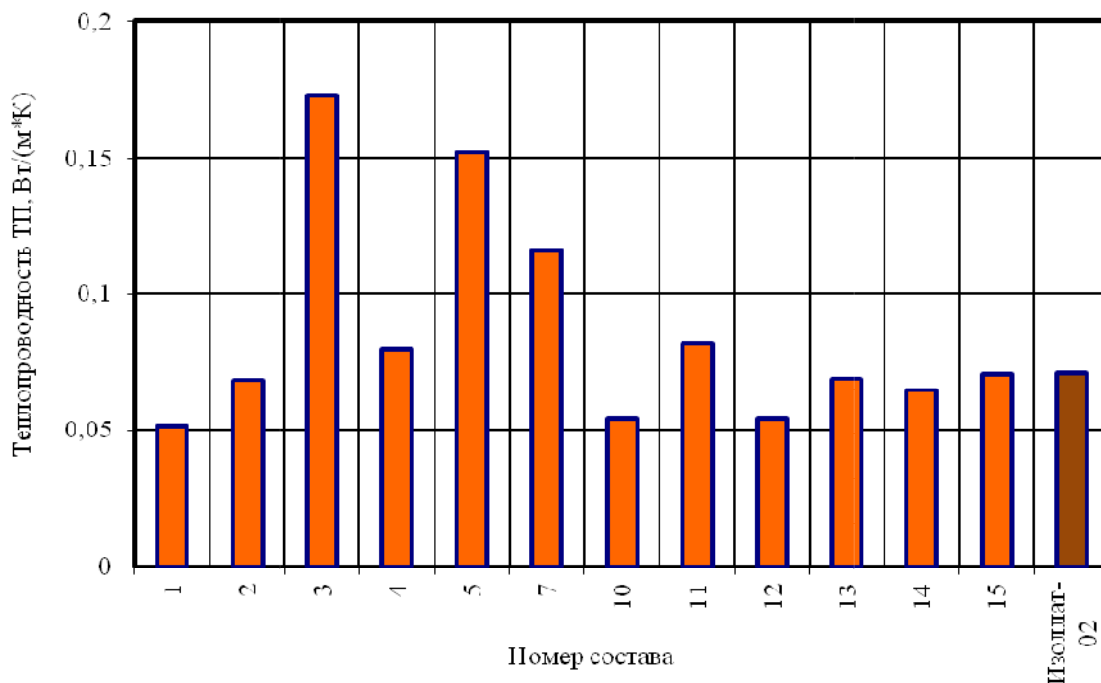


Рисунок 3.3.2 – Теплопроводность ТП на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей

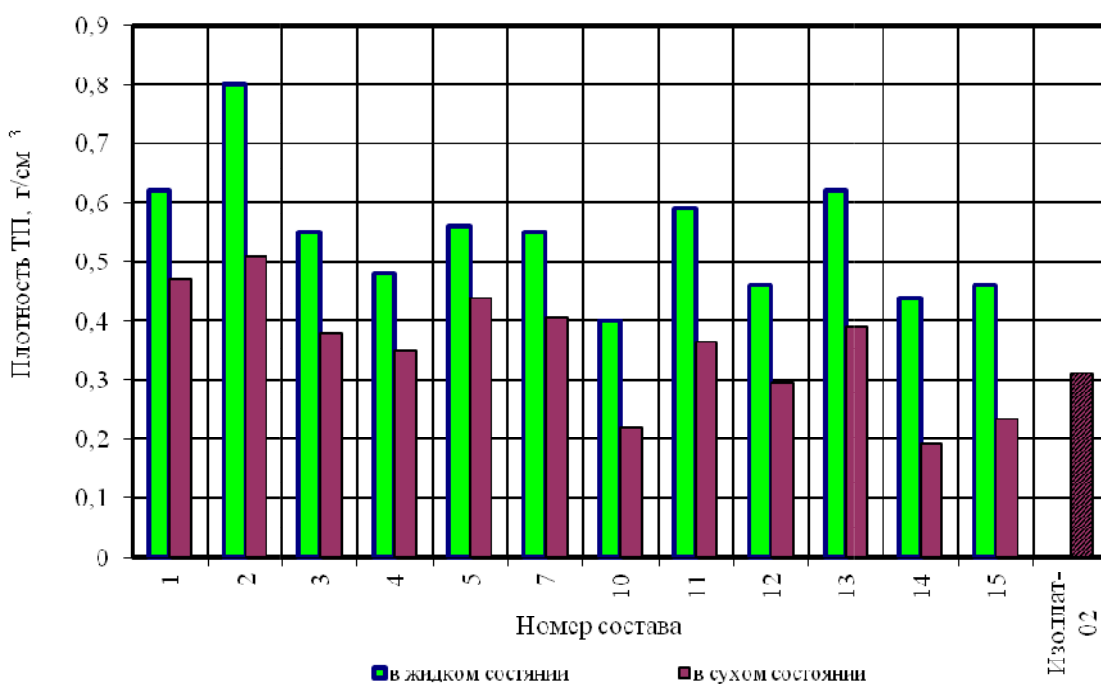
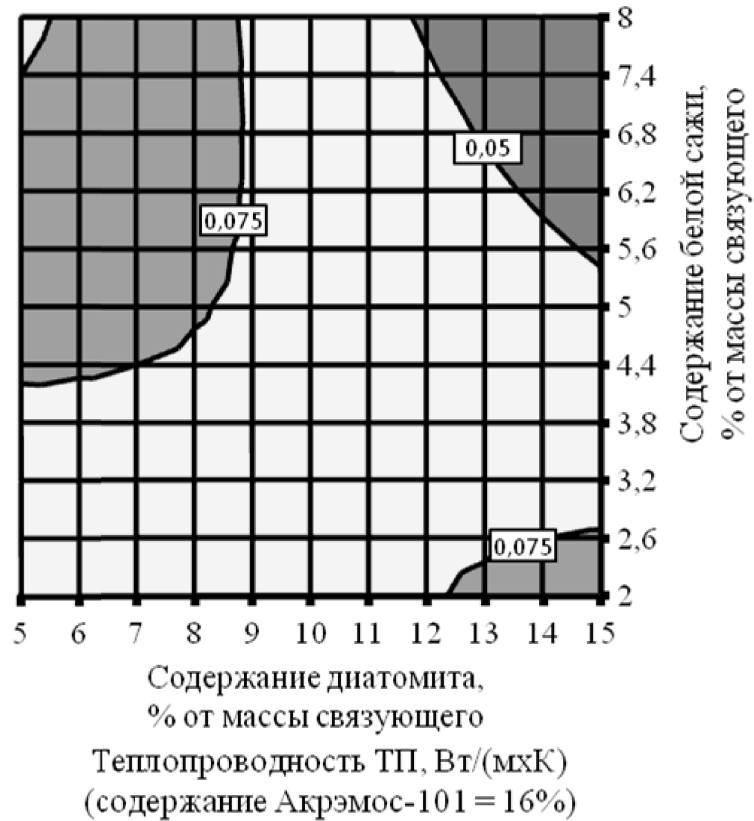


Рисунок 3.3.3 – Плотность ТП на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей в жидком и сухом состояниях

а)



б)

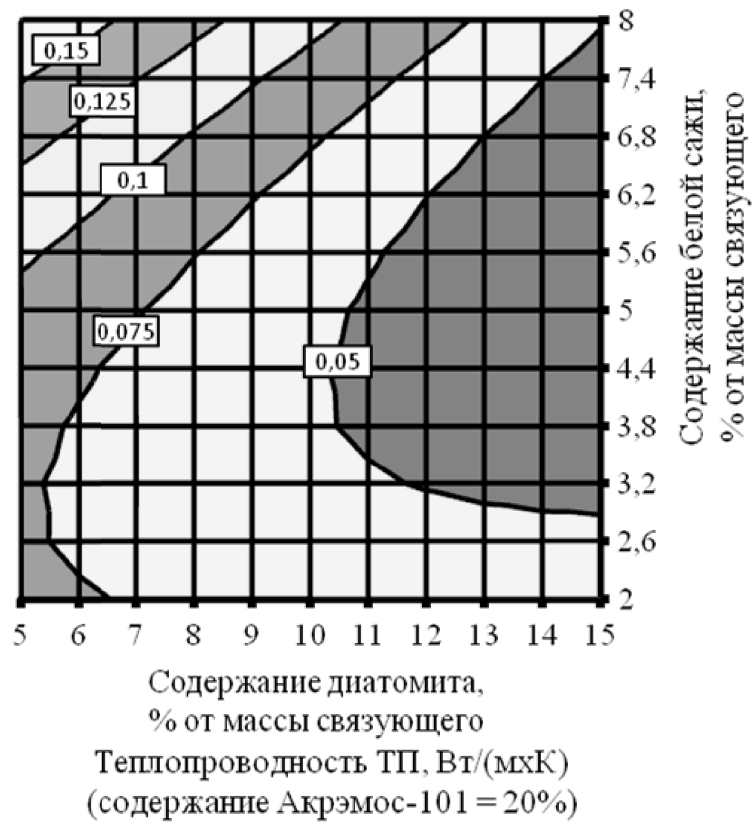


Рисунок 3.3.4 – Изолинии изменения теплопроводности ТП в зависимости от содержания диатомита, белой сажи и акриловой дисперсии: а – 16%; б – 20%

а)



б)

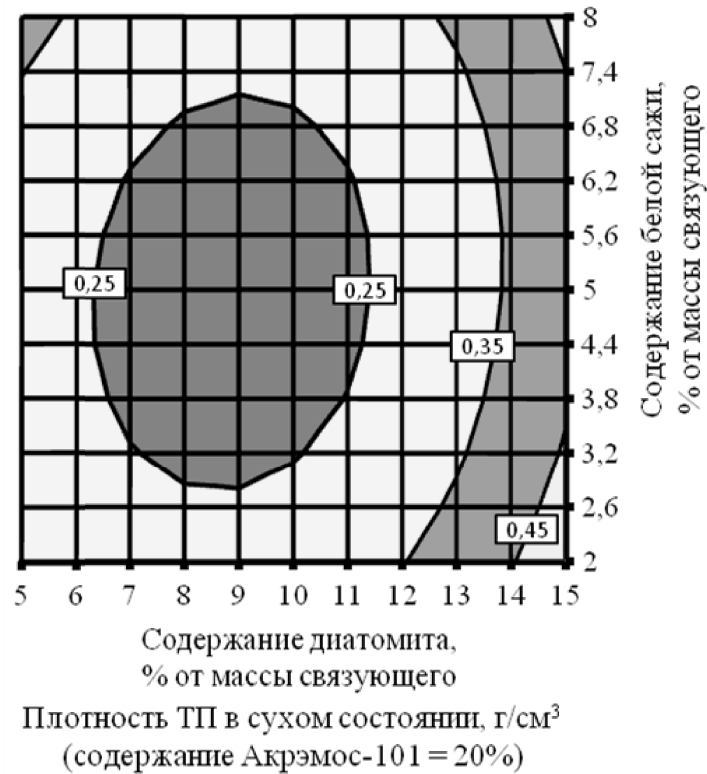


Рисунок 3.3.5 – Изолинии изменения плотности теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии в зависимости от содержания диатомита, белой сажи и акриловой дисперсии: а – 16%; б – 20%

Еще одним важным параметром данного материала, характеризующим прочность сцепления с подложкой, является адгезионная прочность. Адгезию

разработанных составов ТП к песчано-цементному образцу определяли согласно ГОСТ 28574-2014. При проведении экспериментальных исследований наблюдались адгезионный, когезионный, а также смешанные механизмы разрушения. При когезионном механизме разрушения отрыв происходит по теплозащитному покрытию, при адгезионном – по границе «бетон – покрытие».

Адгезия составов теплоизоляционных покрытий зависит от свойств и концентрации связующего. Высокая степень наполнения связующего дисперсными наполнителями негативно влияет на данный параметр, но улучшает теплоизоляционные характеристики. Поэтому задача оптимизации составов сводится к нахождению оптимальной концентрации наполнителя, при обеспечении минимальных значений теплопроводности, при достаточной адгезионной прочности.

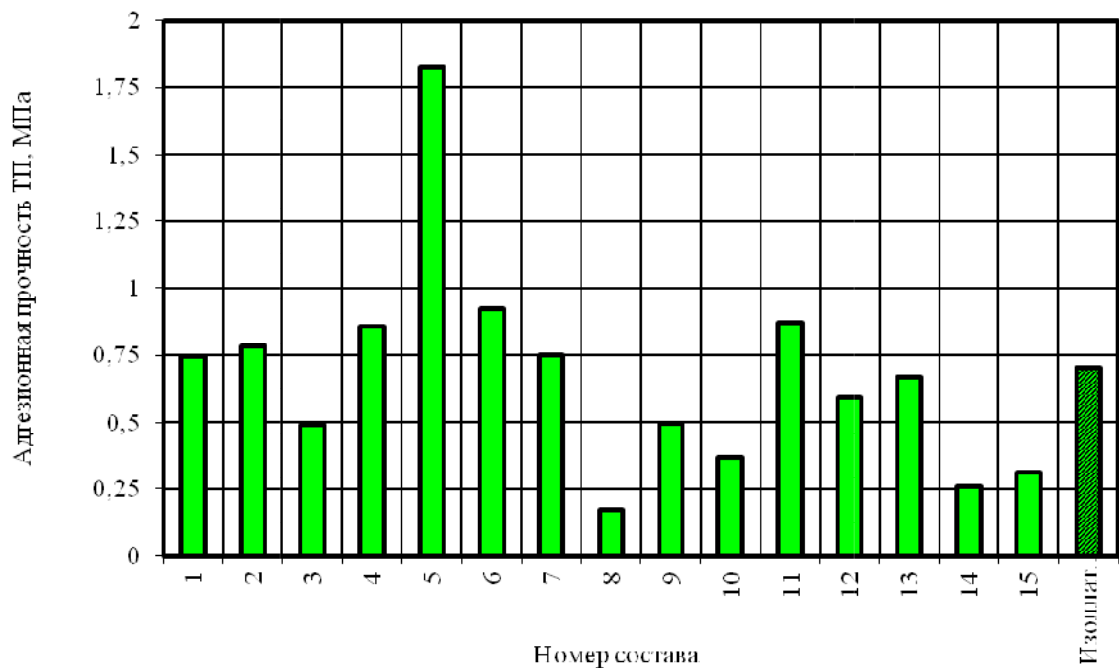


Рисунок 3.3.6 – Адгезионная прочность ТП на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей

Анализ гистограмм изменения адгезионной прочности показал (рисунок 3.3.6), что ряд разработанных составов не уступает по данной характеристике ТП «Изолат-02». Наибольшее значение данного параметра получено для 5

состава, содержащего минимальное количество дисперсных наполнителей и максимальное содержание связующего.

В результате экспериментальных исследований разработаны составы ТП на основе дисперсных наполнителей и полых микросфер. Исследовано влияние диатомита, белой сажи и микросфер на свойства покрытий. На основе оптимизации полученных полиномиальных уравнений выявлены составы теплоизоляционных покрытий, обладающих наименьшей теплопроводностью и плотностью.

3.4. Оптимизация составов теплоизоляционных покрытий с применением экспериментально-статистических моделей

Для определения оптимальных составов ТП с наилучшими характеристиками применялся метод экспериментально-статистического (ЭС) моделирования [166-168]. Экспериментально-статистическое моделирование представляет собой совокупность алгоритмов, связывающих математическое планирование эксперимента, регрессионный анализ и другие средства прикладной статистики с подробным анализом полученных моделей. Применение данного метода позволяет исследователю извлекать новую информацию из экспериментального исследования и получать результаты, количественно выражающие особенности полей свойств материалов.

Оптимизация по определению оптимальных составов теплоизоляционных покрытий производилась на полях трех свойств (теплопроводность, плотность в сухом состоянии и адгезионная прочность), описанных ЭС-моделями.

Поле свойств Y материала, описанное ЭС-моделью, отображается изоповерхностями $Y(x) = const$. Важную роль играет поверхность, соответствующая уровню, требуемому по условиям конкретной задачи $Y = Y_{\text{треб}}$ [168]. Это граница разделяет поле на две области – область допустимых решений ($Y \geq Y_{\text{треб}}$) и запрещенную область ($Y \leq Y_{\text{треб}}$). Объем допустимой области Ω ($0 \leq \Omega \leq 100\%$) является одним из основных обобщающих показателей

полей свойств материала, характеризующий устойчивость технологии. По мере приближения значений к нулю исследователю становится сложнее (дороже) осуществить выбранное в этой области эффективное решение [168].

Величину объема допустимой области Ω вычисляли по формуле:

$$\Omega = \frac{n}{N} \cdot 100\% \quad (3.4.1)$$

где n – количество значений, удовлетворяющих заданному условию; N – общее количество значений.

Расчет объема допустимой области производился с помощью программы Microsoft Excel. Для этого генерировалось более 17000 равномерно-распределенных точек (составов) в диапазоне от -1 до +1 для переменных. После чего был произведен расчет предсказанных значений критериев оптимизации, сортировка и подсчет количества величин, удовлетворяющих заданным условиям.

В данном исследовании для всех оптимизируемых параметров (теплопроводность, плотность, адгезионная прочность) в качестве $Y_{\text{треб}}$ были приняты значения, соответствующие характеристикам теплоизоляционного покрытия: $\lambda \leq 0,07$ Вт/(м×К); $\rho_{\text{сух.}} \leq 0,4$ г/м³; $\sigma_{\text{адг.}} \geq 1$ МПа.

Учитывая, что введение микроффер в состав наполненных связующих осуществлялось до достижения требуемой подвижности смеси, то для получения математической модели, учитывающей также расход микроффер, в нее был введен 4 варьируемый фактор с корректировкой плана эксперимента (см. таблицу 3.4.1). Корректировка плана экспериментального исследования осуществлялась с учетом суммарного содержания компонентов смеси (наполненное связующее + микрофферы) 100%. Содержание полых микроффер марки K15 3M™ в зависимости от состава приведено на рисунке 3.3.1. С учетом введения нового варьируемого фактора полиномиальное уравнение приняло следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4, \quad (3.4.1)$$

где x_1, x_2, x_3, x_4 – содержание, соответственно, акриловой дисперсии «Ак-рэмос-101», диатомита, белой сажи и микросфер марки К15 ЗМ™.

Таблица 3.4.1 – План экспериментального исследования составов теплоизоляционных покрытий после корректировки

Номер состава	Исследуемые факторы в кодовых величинах			
	Акриловая дисперсия (x_1)	Диатомит (x_2)	Белая сажа (x_3)	Микросферы К15 (x_4)
1	-0,467	0,561	0,844	-0,439
2	-0,073	1,000	-1,000	-0,105
3	-0,338	-1,000	1,000	-1,000
4	0,264	-0,777	-0,898	0,779
5	1,000	-0,728	0,512	0,481
7	0,870	0,316	-0,892	-0,227
10	-0,279	-0,103	0,004	0,426
11	-0,163	-0,706	0,558	0,045
12	-1,000	0,423	-0,231	0,556
13	-0,219	0,389	-0,862	-0,167
14	-0,805	-0,155	0,988	0,542
15	-0,635	0,004	0,113	1,000

Анализ изменения кривой распределения (рисунок 3.4.1, а) коэффициента теплопроводности теплоизоляционных покрытий показал, что наиболее часто встречающиеся значения данного параметра соответствуют 0,08 Вт/(м×К). При этом объем области допустимых решений для требуемых значений коэффициента теплопроводности ($\leq 0,07$ Вт/(м×К)) составляет 35,6% (рисунок 3.4.1, б).

Для определения оптимальных значений теплопроводности ТП был проведен анализ области компромиссных решений по каждому фактору в отдельности. Для этого были построены полигоны распределения данной характеристики, представленные на рисунках 3.4.2 – 3.4.5, а также кривые распределения (рисунок 3.4.6) составов ТП с коэффициентом теплопроводности $\lambda \leq 0,07$ Вт/(м×К) в зависимости от содержания варьируемых факторов.

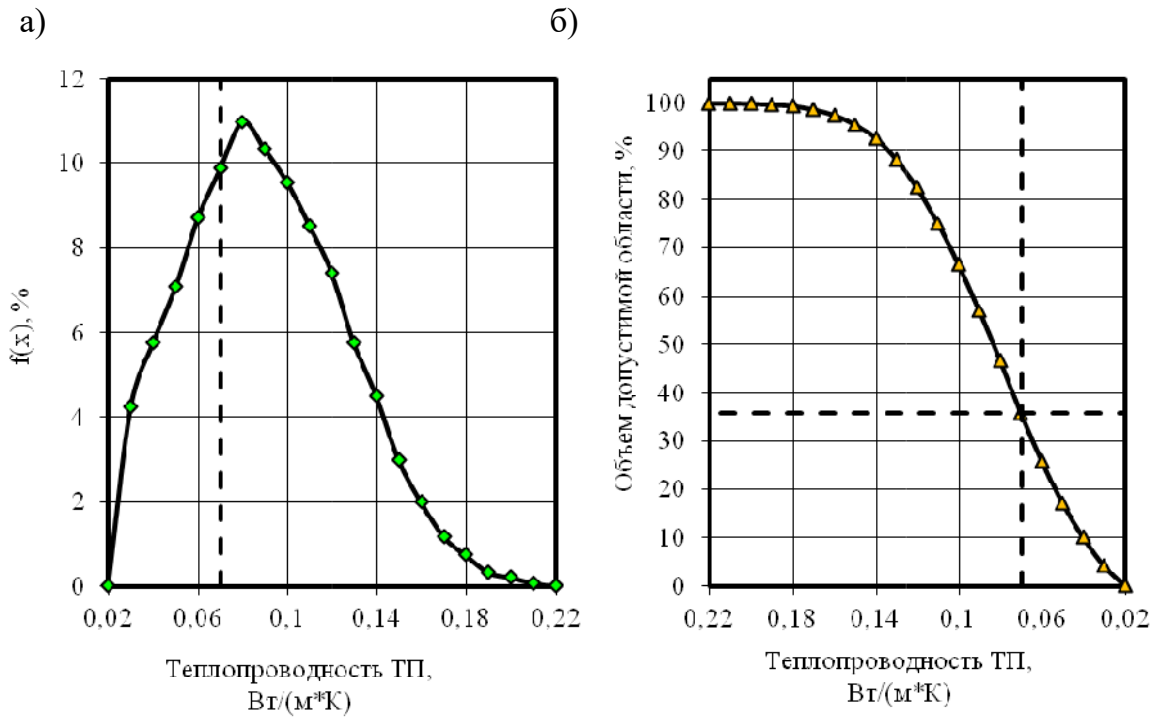


Рисунок 3.4.1 – Кривая распределения (а) и объем допустимой области (б) теплопроводности модельных составов ТП на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей

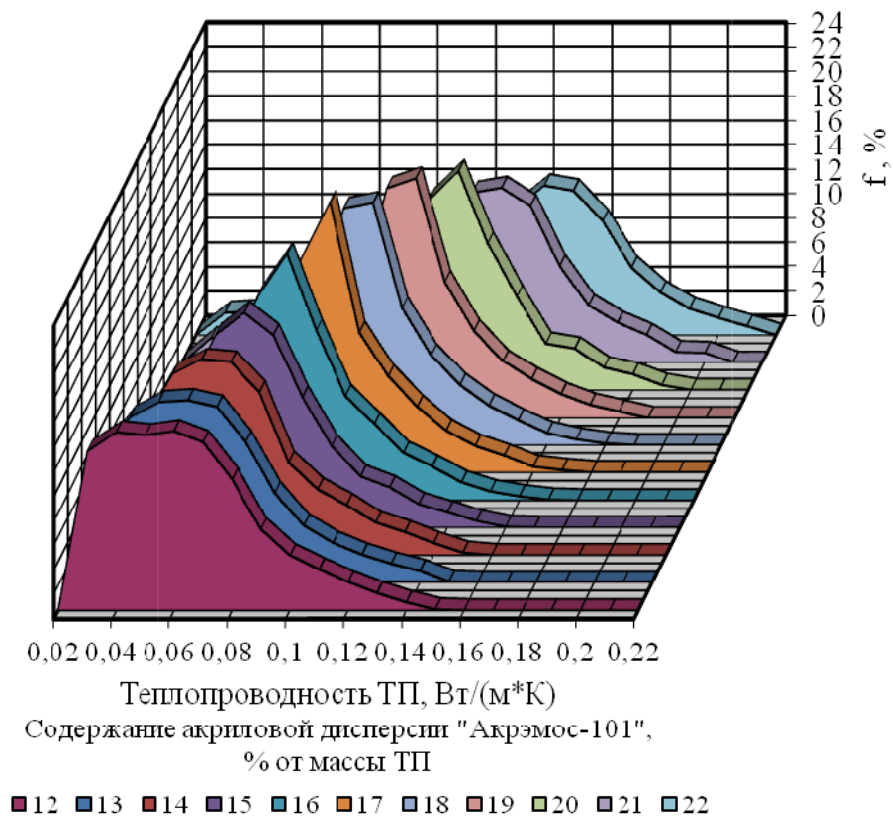


Рисунок 3.4.2 – Полигоны распределения теплопроводности ТП в зависимости от содержания акриловой дисперсии «Акрэмос-101»

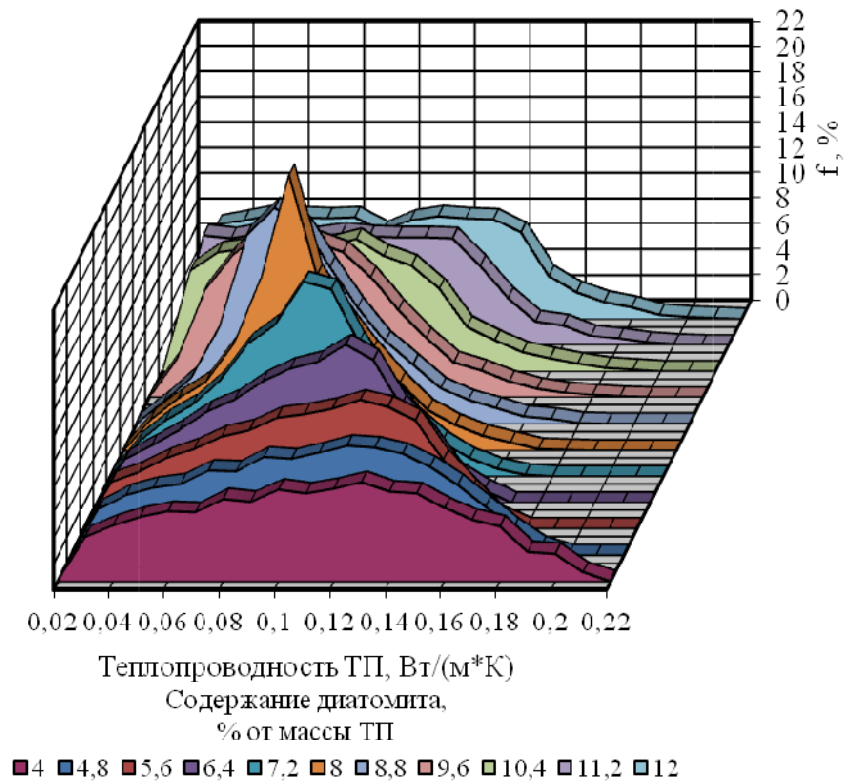


Рисунок 3.4.3 – Полигоны распределения теплопроводности ТП в зависимости от содержания диатомита

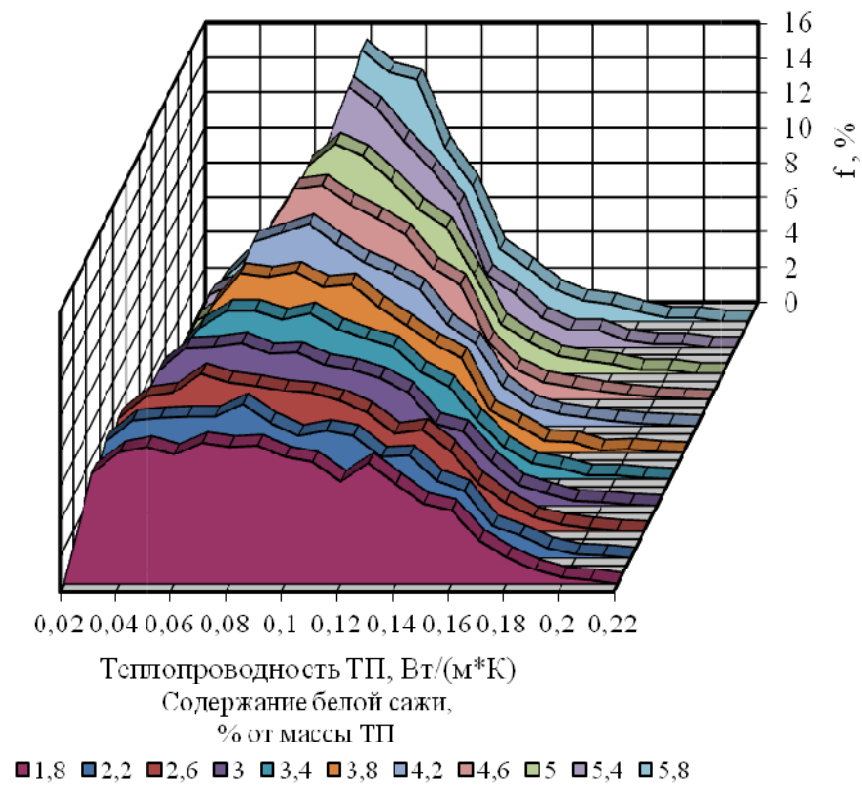


Рисунок 3.4.4 – Полигоны распределения теплопроводности ТП в зависимости от содержания белой сажи

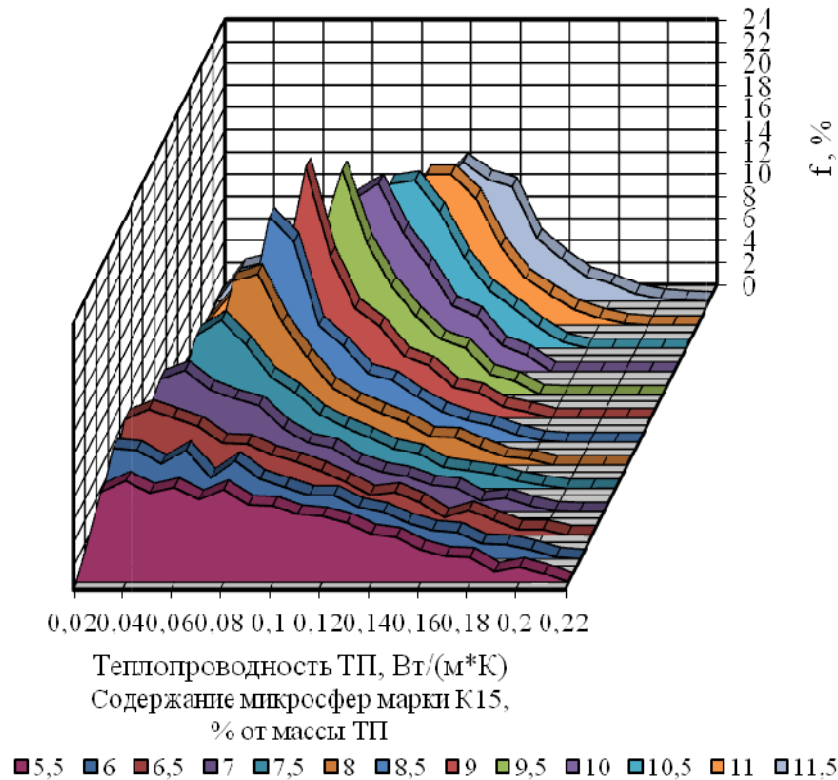


Рисунок 3.4.5 – Полигоны распределения теплопроводности ТП в зависимости от содержания микросфер марки К15 ЗМ™

По полученным результатам установлено, что по мере увеличения доли акриловой дисперсии с 12 до 22 % от массы ТП снижается число составов, отвечающих предъявляемому требованию (рисунки 3.4.2, 3.4.6 (а)). Связующее в составах ТП с точки зрения теплоизоляционных характеристик является тепловым мостиком, обладающим более высоким коэффициентом теплопроводности по сравнению с аналогичными показателями минеральных наполнителей (диатомит, белая сажа) и полых микросфер. Повышение концентрации связующего увеличивает толщину прослоек между дисперсными наполнителями, что приводит к ухудшению теплоизоляционных характеристик всей системы. Наиболее резкое снижение $f(x)$ коэффициента теплопроводности наблюдается при повышении концентрации акриловой дисперсии более 15% (рисунок 3.4.6, а).

Из анализа полигонов распределения, представленных на рисунке 3.4.3, видно, что при содержании диатомита в количестве $8 \div 8,8\%$ от массы ТП наблюдается сужение кривой распределения с увеличением доли разрабаты-

ваемых составов с теплопроводностью менее 0,07 Вт/(м×К). Наибольшая частота зафиксирована для составов с содержанием данного наполнителя в интервале 9÷11% (рисунок 3.4.6, б). Уменьшение доли диатомита приводит к снижению надежности получаемых технологических решений.

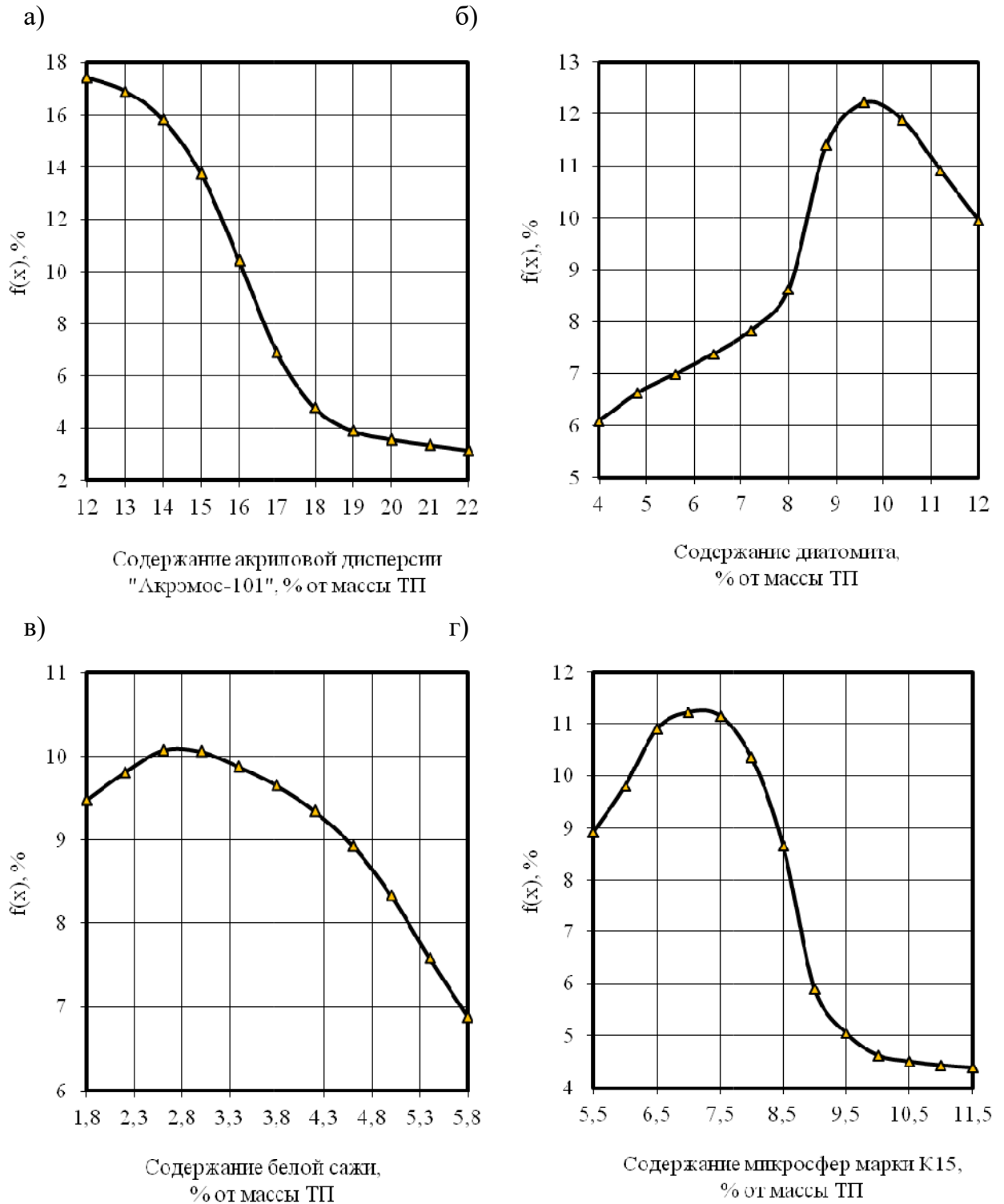


Рисунок 3.4.6 – Кривые распределения составов ТП с коэффициентом теплопроводности не более 0,07 Вт/(м×К) в зависимости от содержания варьируемых факторов

При исследовании влияния белой сажи на теплопроводность ТП установлено, что увеличение расхода данного наполнителя приводит к сужению кривой распределения (рисунок 3.4.4), однако частота появления при повышении ее концентрации в смеси более 2÷3,5% резко снижается, составляя для максимальной доли (5,8% от массы ТП) около 7% (рисунок 3.4.6, в).

Анализ влияния полых микросфер (рисунок 3.4.5) на коэффициент теплопроводности показал, что при их содержании от 6 до 8 % от массы ТП можно получить наибольшее количество составов с требуемыми значениями ($\lambda \leq 0,07$ Вт/(м×К)). При увеличении содержания микросфер более 8,5% по массе наблюдается значительное уменьшение числа компромиссных составов (рисунок 3.4.6, г). Одной из причин подобного снижения характеристик может являться разрушение части микросфер при увеличении их оптимального содержания в смеси. Высокие теплоизоляционные свойства микросфер обусловлены их высокой пористостью при малом размере частиц, при этом материал стенок микросфер имеет относительно высокую теплопроводность. Разрушаясь, частицы теряют свои теплоизоляционные характеристики, а осколки микросфер являются теплопроводными включениями, что негативно сказывается на свойствах покрытия.

Из анализа кривой распределения плотности составов теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии (рисунок 3.4.7, а) установлено, что наиболее часто встречающиеся значения данного параметра в исследуемых интервалах варьирования факторов составляют 0,3 г/см³. При этом число составов с требуемыми характеристиками составило около 62% (рисунок 3.4.7, б).

Анализ полигонов изменения плотности теплоизоляционных покрытий (см. рисунок 3.4.8) показал, что наибольшее количество составов с требуемыми показателями данного параметра лежат в области, содержащей до 16÷17% акриловой дисперсии от массы ТП. Повышение доли связующего выше этого уровня приводит к практически линейному снижению числа компромиссных составов. В зависимости от степени наполнения минеральными порошками наибольшее количество составов с требуемыми значения-

ми плотности наблюдается при содержании диатомита 5,5÷9% и белой сажи не более 4% от массы ТП (рисунки 3.4.9, 3.4.10, 3.4.12 (б, в)).

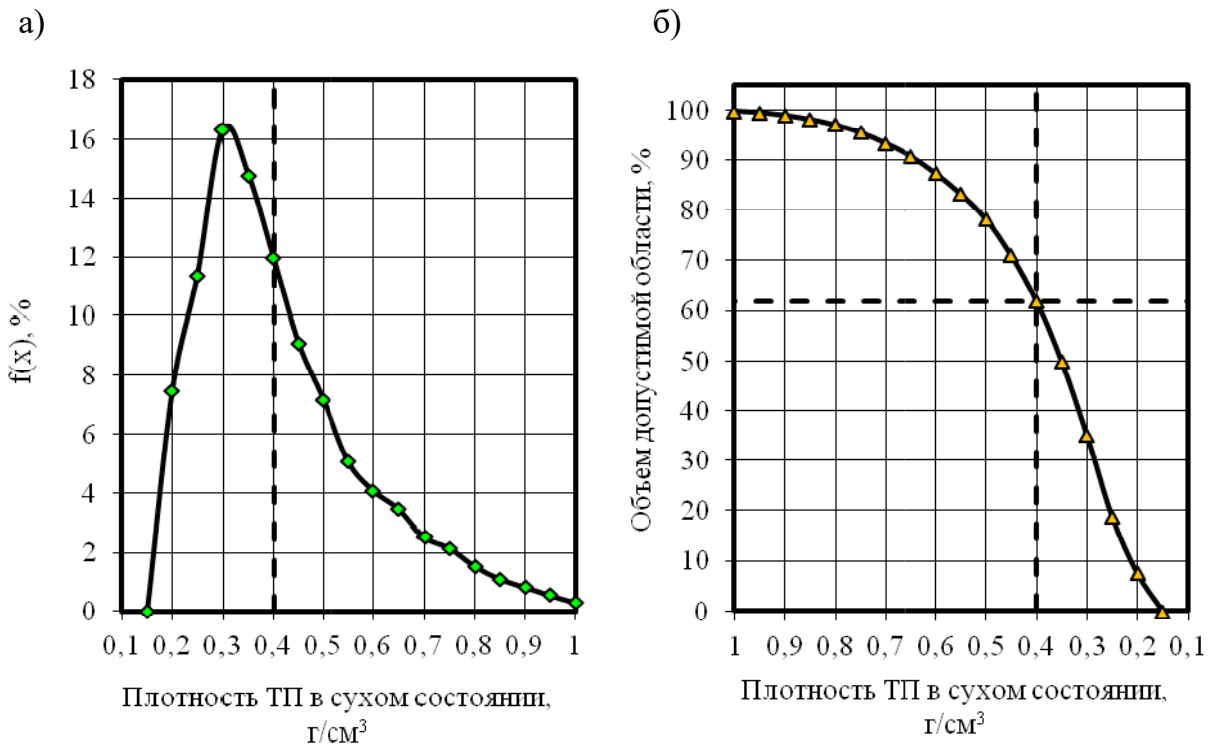


Рисунок 3.4.7 – Кривая распределения (а) и объем допустимой области (б) плотности модельных составов ТП в сухом состоянии на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей

Анализ полигонов распределения, представленных на рисунке 3.4.11, и кривых на рисунке 3.4.12 (г) показал, что максимальное число разрабатываемых теплоизоляционных составов со значением плотности не более 0,4 г/см³ зафиксировано при 9÷10,5%-ой степени заполнения полыми микросферами от массы ТП. Дальнейшее увеличение содержания микросфер приводит к снижению числа компромиссных составов.

При исследовании адгезионных характеристик теплоизоляционных покрытий (рисунок 3.4.13, а) установлено, что большинство прогнозируемых составов имеют значение адгезионной прочности около 0,55 МПа. Количество составов со значением данного параметра не менее 1 МПа составляет порядка 36,2% от общего количества (рисунок 3.4.13,б).

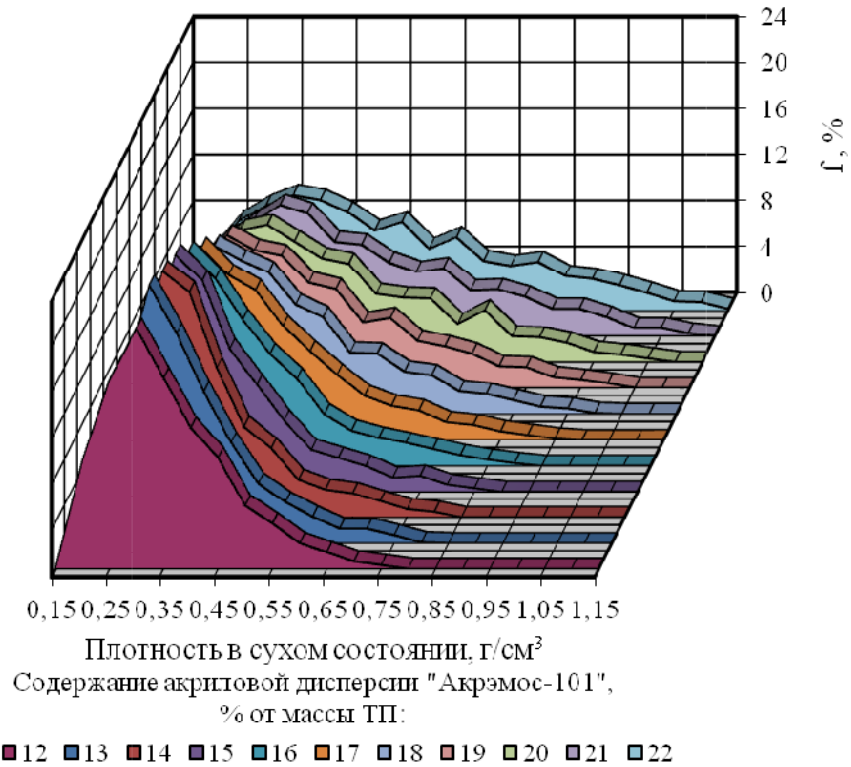


Рисунок 3.4.8 – Полигоны распределения плотности теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии в зависимости от содержания акриловой дисперсии «Акрэмос-101»

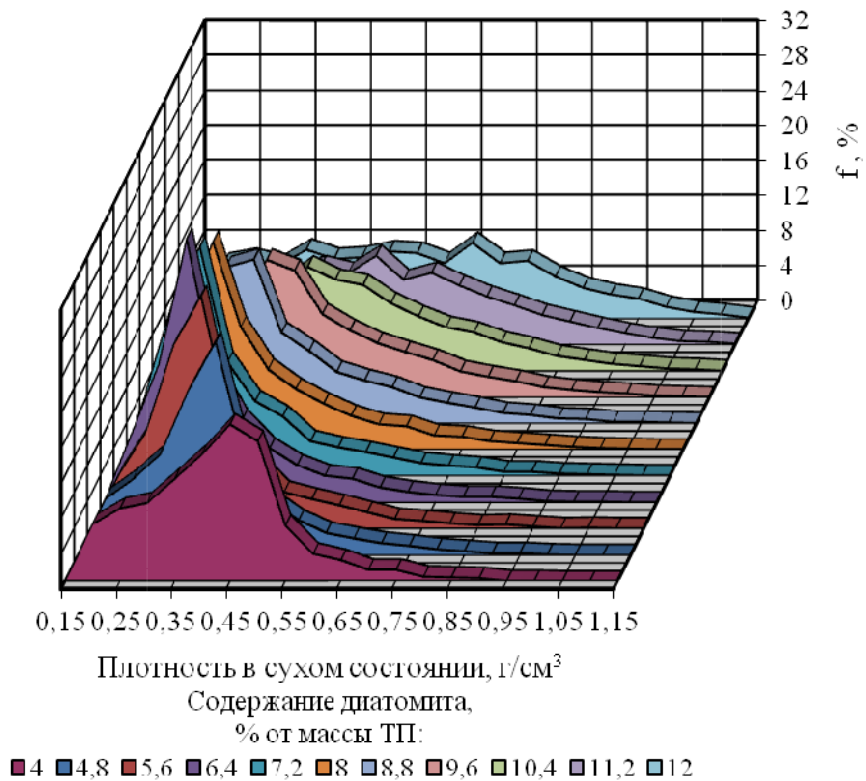


Рисунок 3.4.9 – Полигоны распределения плотности теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии в зависимости от содержания диатомита

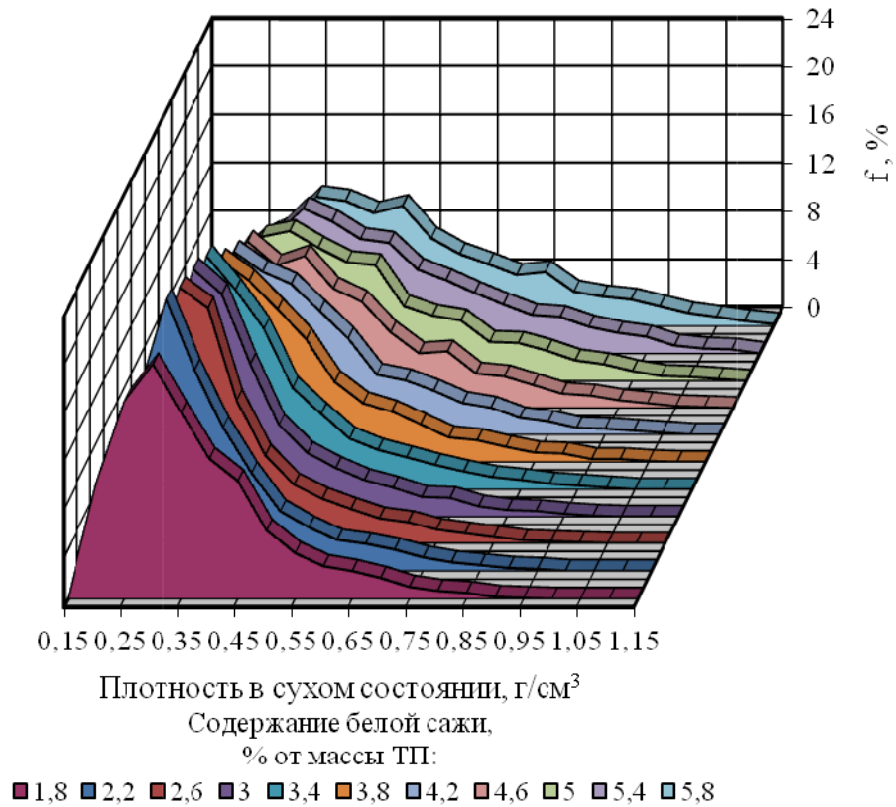


Рисунок 3.4.10 – Полигоны распределения плотности теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии в зависимости от содержания белой сажи

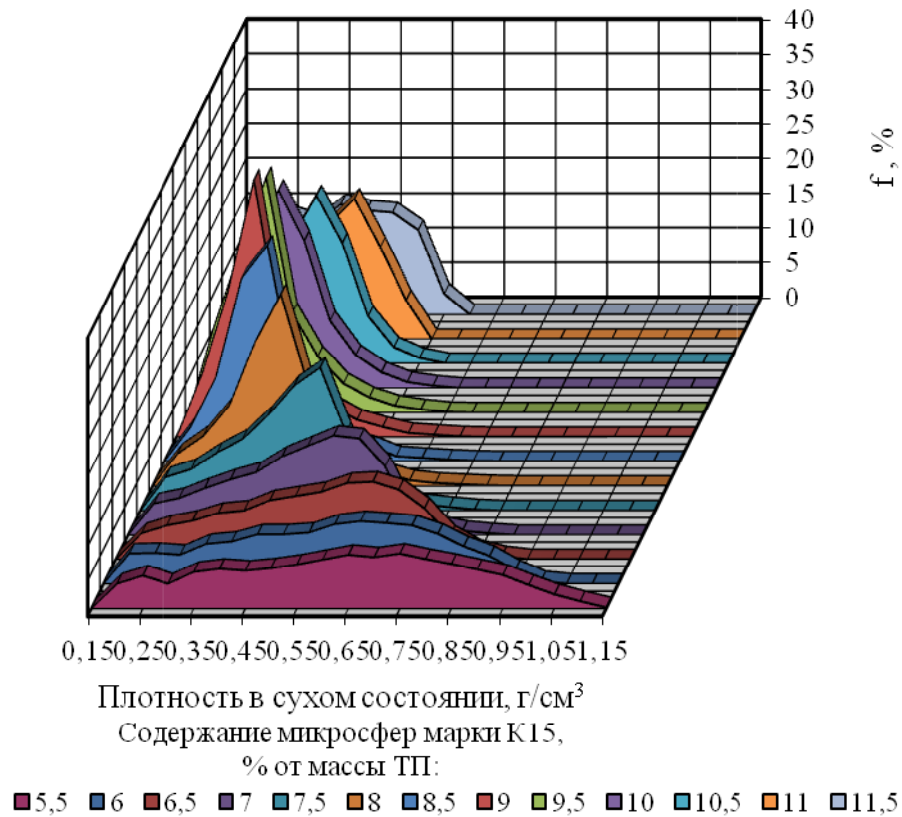


Рисунок 3.4.11 – Полигоны распределения плотности теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии в зависимости от содержания микросфер марки К15 3МTM

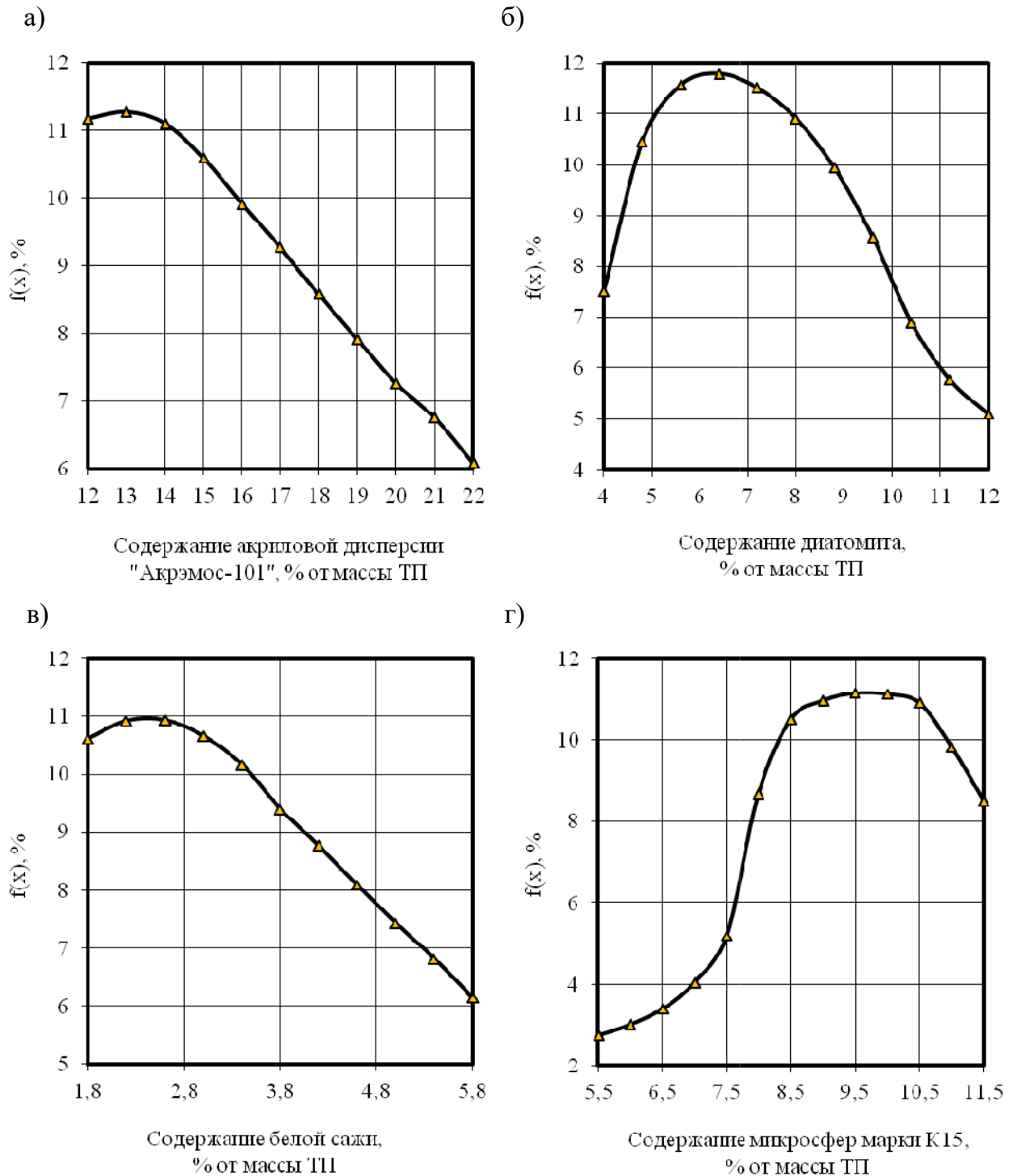


Рисунок 3.4.12 – Кривые распределения составов теплоизоляционных покрытий с плотностью в сухом состоянии не более $0,4 \text{ г/см}^3$ в зависимости от содержания варьируемых факторов

Анализ полигонов изменения адгезионной прочности теплоизоляционных покрытий в зависимости от содержания «Акрэмос-101» (рисунки 3.4.14, 3.4.18, а) показал, что повышение доли связующего вещества с 12 до 22% от массы ТП приводит к увеличению количество составов с требуемыми значениями данного параметра.

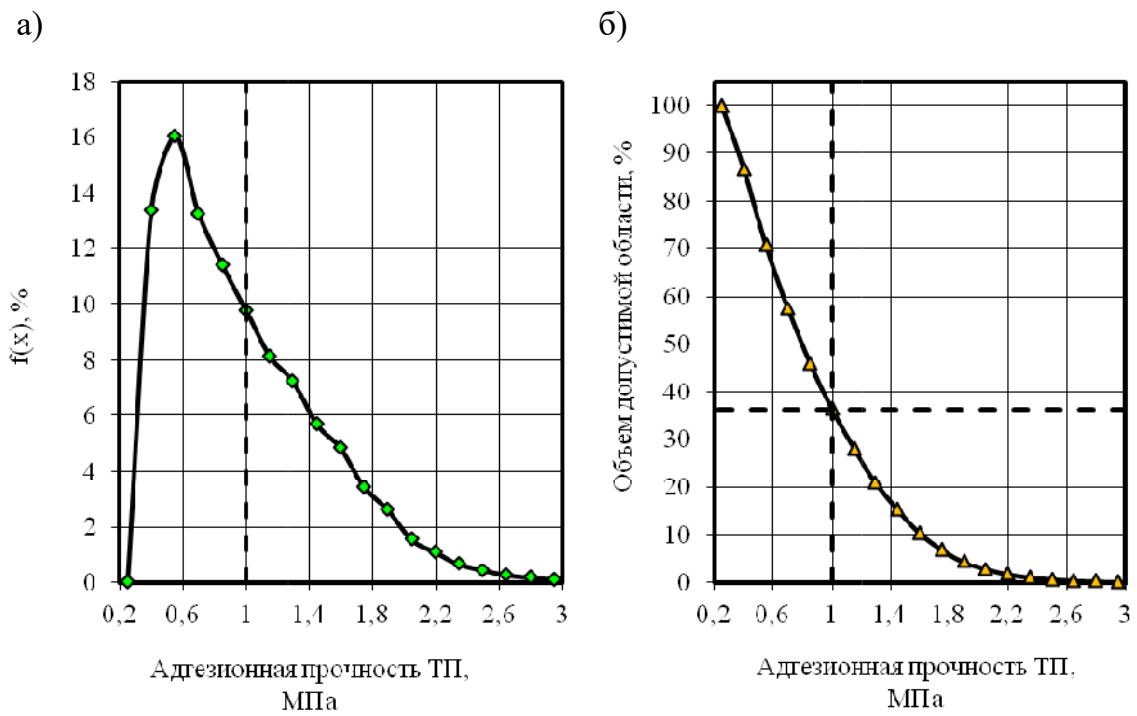


Рисунок 3.4.13 – Кривая распределения (а) и объем допустимой области (б) адгезионной прочности модельных составов ТП на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей

При исследовании влияния минеральных наполнителей на изменение адгезионной прочности составов ТП установлено, что в области от 6,5 до 10% диатомита наблюдается смещение гистограмм распределения в сторону с более низкими значениями адгезионной прочности (рисунок 3.4.15). Введение белой сажи нивелирует данное явление, приводя к росту адгезии покрытия к бетонному основанию в исследуемом интервале (рисунки 3.4.16, 3.4.18, в). Из анализа данных, представленных на рисунках 3.4.17, 3.4.18 (г), установлено, что повышение доли микросфер более 7% по массе приводит к резкому снижению объема допустимой области, что, очевидно, связано с получением более рыхлой структуры покрытия, обладающего меньшей силой сцепления с бетонным основанием.

Поиск оптимальных решений осуществлялся на основе методов скаляризации и экспериментально-статистического моделирования, опирающегося на концепцию полей свойств материалов [169]. Оптимизация составов ТП осуществлялась с целью достижения минимальных характеристик по теплопроводности, плотности в сухом состоянии при обеспечении достаточных адгезионных характеристик.

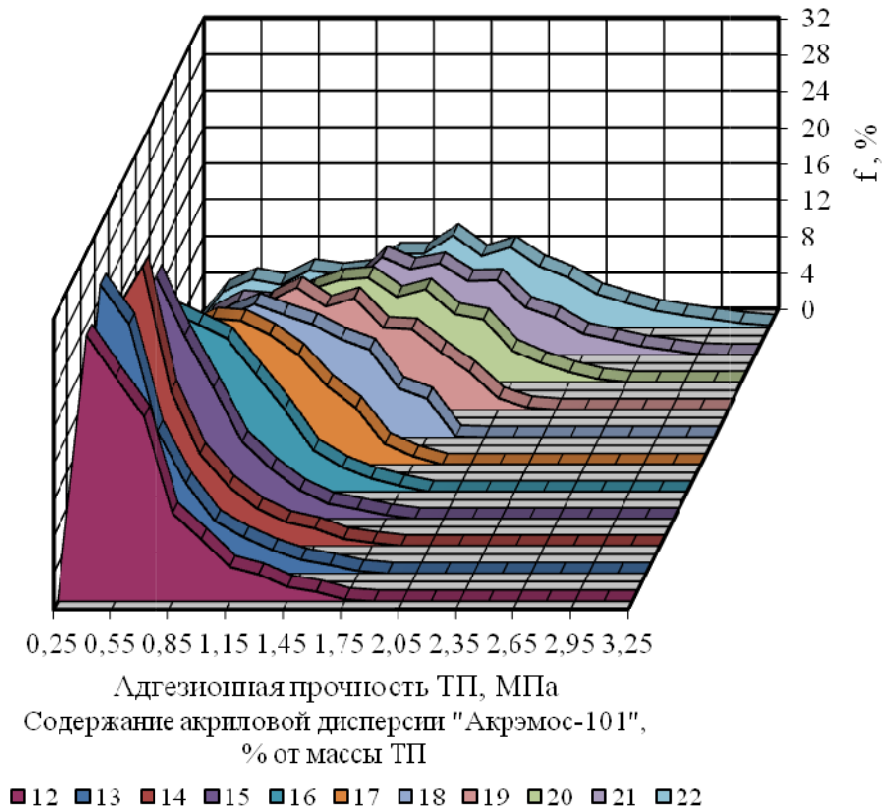


Рисунок 3.4.14 – Полигоны распределения адгезионной прочности теплоизоляционных покрытий в зависимости от содержания акриловой дисперсии «Акрэмос-101»

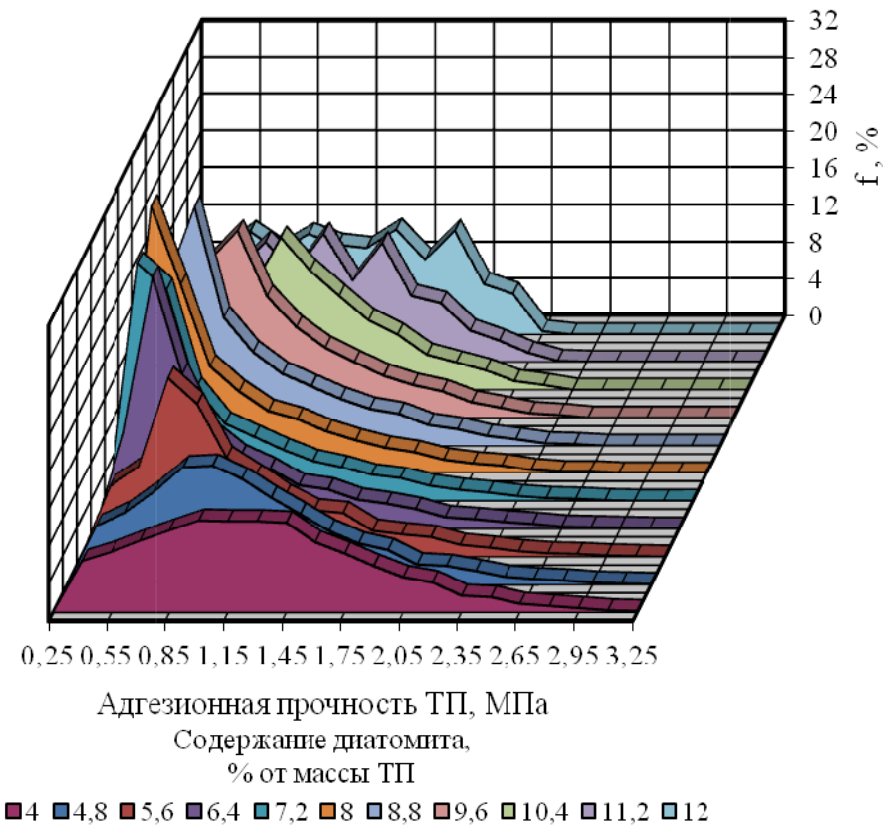


Рисунок 3.4.15 – Полигоны распределения адгезионной прочности теплоизоляционных покрытий в зависимости от содержания диатомита

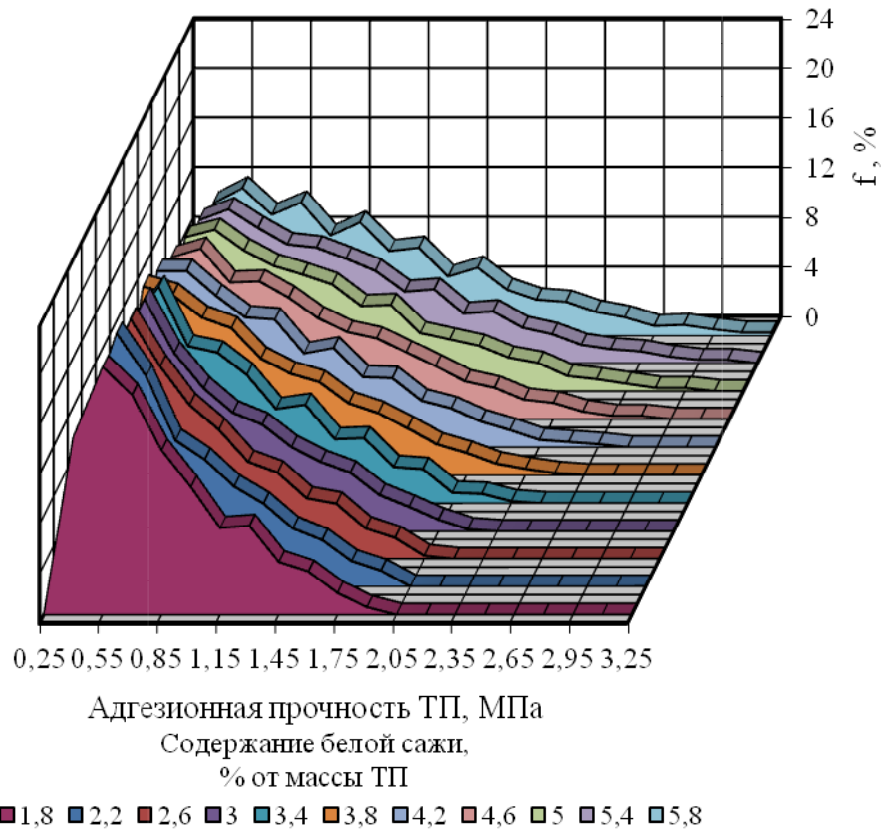


Рисунок 3.4.16 – Полигоны распределения адгезионной прочности теплоизоляционных покрытий в зависимости от содержания белой сажи

те-

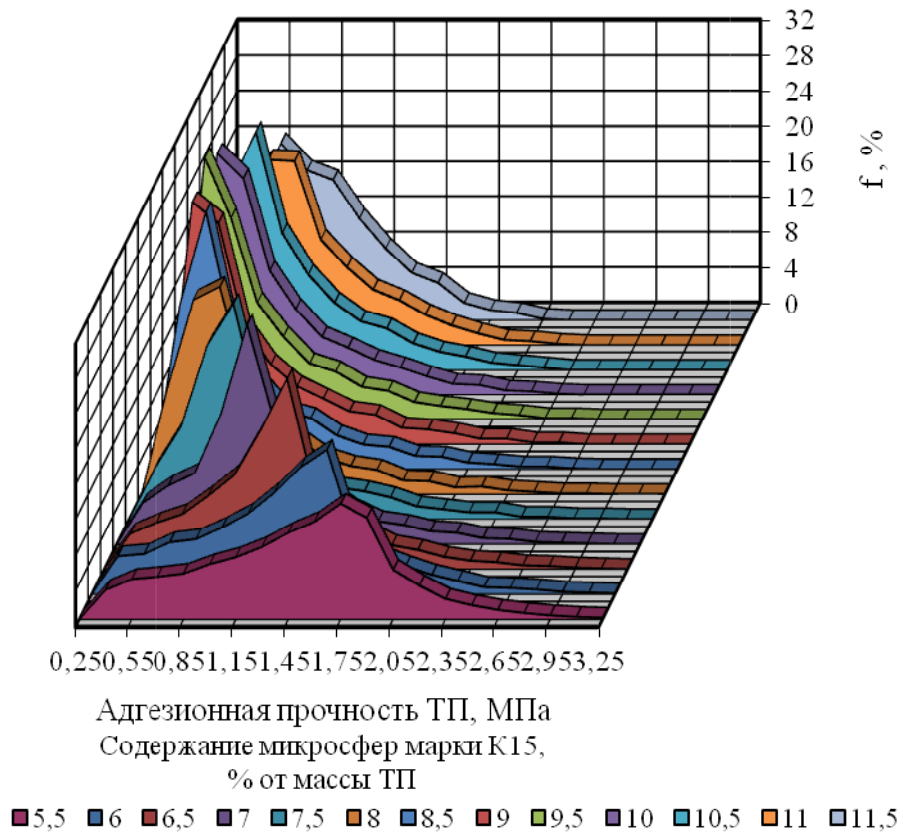


Рисунок 3.4.17 – Полигоны распределения адгезионной прочности теплоизоляционных покрытий в зависимости от содержания микросфер марки К15 3М™

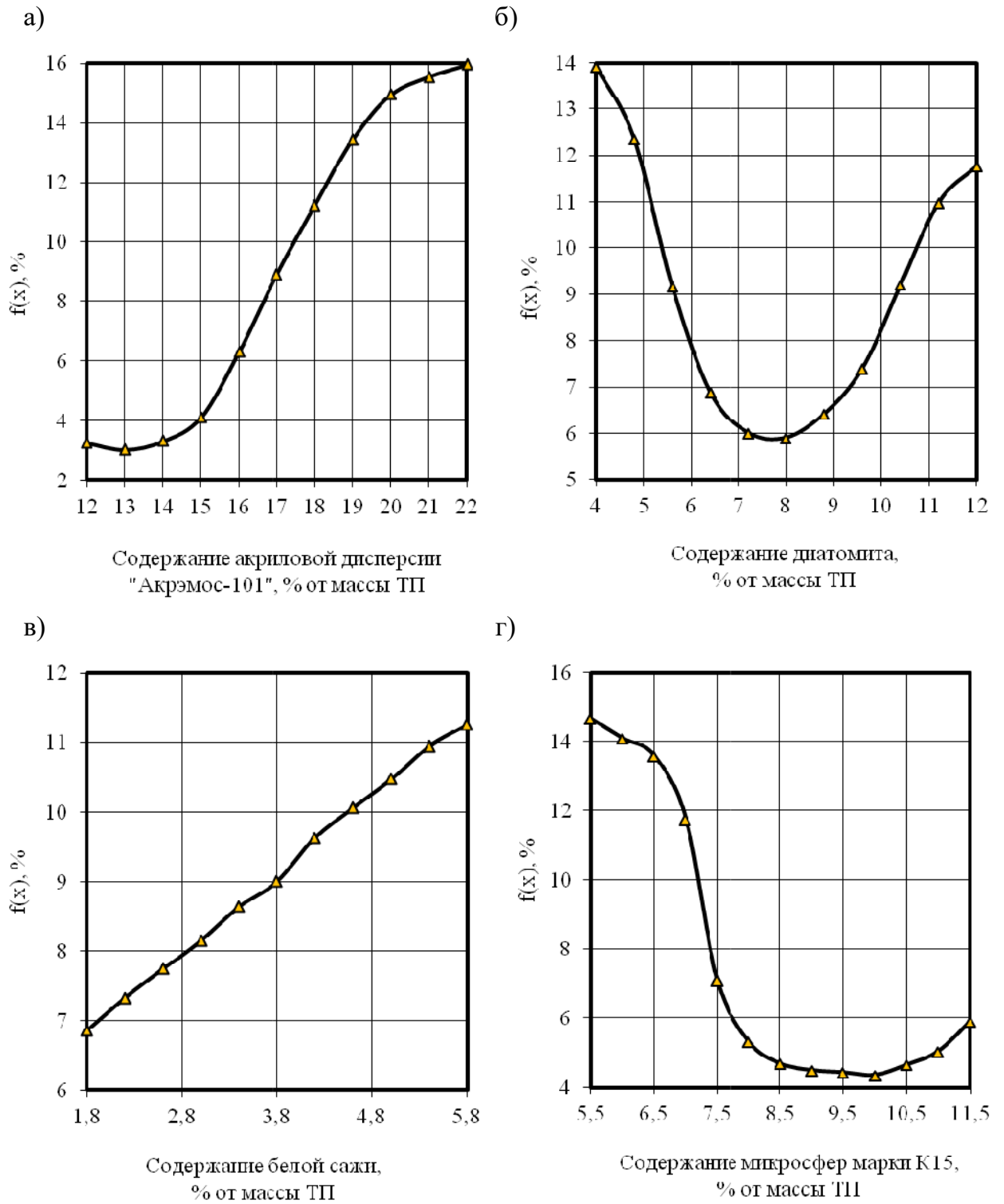


Рисунок 3.4.18 – Кривые распределения составов теплоизоляционных покрытий с адгезионной прочностью не менее 1 МПа в зависимости от содержания варьируемых факторов

Максимум целевой функции определялся по формуле:

$$q(y_1, y_2, y_3) = \min \left\{ \frac{\lambda_{\text{треб}}}{\lambda}, \frac{p_{\text{сух. треб}}}{p_{\text{сух}}}, \frac{\sigma_{\text{адг.}}}{\sigma_{\text{адг. треб}}} \right\}. \quad (3.4.1)$$

Условие $q(y_1, y_2, y_3) \rightarrow \max$ означает выбор такой системы параметров (y_1, y_2, y_3) , которая максимизирует отношение i -го реально достигнутого критерия к его контрольному значению.

Результаты многокритериальной оптимизации приведены в таблице 3.4.2. На основе полученных данных установлено, что оптимизация составов ТП позволяет снизить теплопроводность до 0,045 Вт/(м×К), что на 37% ниже, чем для «Изоллат-02» (0,0713 Вт/(м×К)), а также улучшить требуемые показатели по плотности и адгезионной прочности, соответственно, на 9 и 15%.

Таблица 3.4.2 – Характеристики компромиссных составов ТП

Уровни частных критериев качества	Критерии качества			Варьируемые факторы, % от массы ТП			
	λ , Вт/(м×К)	ρ , г/см ³	$\sigma_{\text{адг.}}$ МПа	Акриловая дисперсия (x_1)	Диатомит (x_2)	Белая сажа (x_3)	Микросферы К15 (x_4)
λ_{\min} , Вт/(м×К)	<u>0,045</u>	0,385	1,007	16	4,8	5,0	11,5
ρ_{\min} , г/см ³	0,067	<u>0,364</u>	1,024	18	4,0	2,6	10,5
$\sigma_{\text{адг. max}}$, МПа	0,069	0,383	<u>1,153</u>	17	4,8	5,8	11
<u>Требуемые показатели</u>	<u>0,07</u>	<u>0,4</u>	<u>1,0</u>				

Кривые распределения компромиссных составов в зависимости от содержания варьируемых факторов приведены на рисунке 3.4.19. Выявлено, что наиболее оптимальное содержание акриловой дисперсии «Акрэмос-101» составляет от 16 до 18%, диатомита – 4÷5% от массы ТП.

Введение белой сажи дает возможность получить компромиссные составы на всем исследуемом интервале, однако наиболее высокая вероятность их появления зафиксирована при концентрации от 4,5 до 5,8%; полых микросфер марки К15 – 10÷11,5% от массы ТП.

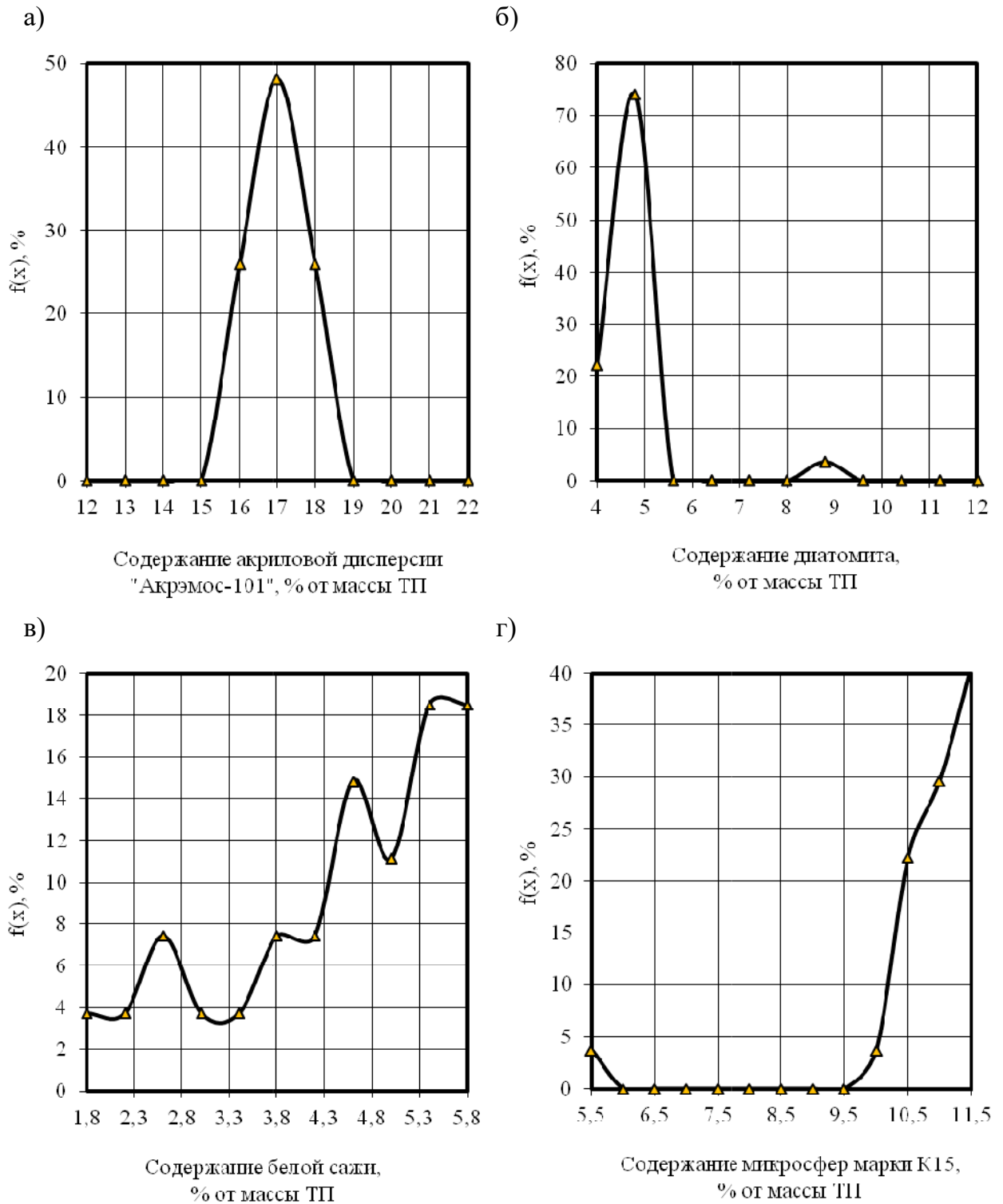


Рисунок 3.4.19 – Кривые распределения компромиссных составов ТП в зависимости от содержания варьируемых факторов

В результате сокращения объема факторной области в 640 раз удалось найти ряд составов ТП на основе наполненных тонкодисперсными минеральными наполнителями (диатомит и белая сажа) связующих, не уступающих по своим характеристикам промышленно-выпускаемым композитам.

Разработаны составы теплоизоляционных покрытий, обладающие низкими значениями плотности и теплопроводности, при обеспечении высоких адгезионных характеристик. Полученные значения данных параметров не уступают соответствующим показателям промышленного выпускаемого теплоизоляционного покрытия «Изоллат-2», принятого при проведении сравнительных испытаний за эталон, и позволяют отнести данный материал к группе теплоизоляционных материалов с низкой теплопроводностью (не более $0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$).

На основе проведенных исследований и многокритериальной оптимизации доказано, что минеральные наполнители на основе диоксида кремния являются перспективными компонентами теплоизоляционных покрытий.

3.5. Выводы по главе 3

1. Изучено влияние количества слоев и толщины покрытия на теплоизоляционные характеристики ТП. Получены математические зависимости, описывающие изменение коэффициента теплопроводности и термического сопротивления теплоизоляционных покрытий в зависимости от количества толщины покрытия. Показаны преимущества используемого метода оценки теплоизоляционных показателей ТП.

2. Проведено теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение целесообразности применения тонкодисперсных минеральных наполнителей при разработке составов теплоизоляционных покрытий. Выявлены оптимальные степени наполнения связующих минеральными порошками, позволяющие получать составы с наименьшими значениями по плотности и теплопроводности.

3. Экспериментально подтверждена возможность получения составов ТП на основе наполненных белой сажей и диатомитом акриловых связующих со следующими характеристиками: коэффициент теплопроводности $0,05\div 0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$, плотность в сухом состоянии – $0,2\div 0,4 \text{ г}/\text{см}^3$, адгезионная прочность – $0,7\div 1,8 \text{ МПа}$.

4. Разработаны экспериментально-статистические модели эксплуатационных характеристик теплоизоляционных покрытий и проведен их анализ, позволивший установить характер изменения кривых распределения и объемов допустимых решений в зависимости от содержания варьируемых факторов (акриловой дисперсии «Акрэмос-101», диатомита, белой сажи и микросфер марки К15 ЗМ™). Установлено, что 35,6% модельных составов имеют коэффициент теплопроводности менее 0,07 Вт/(м×К); количество составов со значением плотности в сухом состоянии не более 0,4 г/см³ и адгезионной прочностью не менее 1 МПа составляет, соответственно, около 69 и 36,2% от общего количества.

5. Выявлены оптимальные значения варьируемых факторов для достижения требуемых значений по трем показателям – теплопроводности, плотности в сухом состоянии и адгезионной прочности ТП. Наиболее оптимальное содержание акриловой дисперсии составляет от 16 до 18%, диатомита – 4÷5% и 8,8%, белой сажи – от 4,5 до 5,8%; полых микросфер марки К15 ЗМ™ – 5,5% и 10÷11,5% от массы ТП.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОБОЖЖЕННОГО ДИАТОМИТА НА СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

4.1. Исследование влияния обожженного диатомита на коэффициент теплопроводности теплоизоляционных покрытий

Природная влажность диатомитов может достигать 60%, а его водопоглощение доходит до 140%. Как известно, влажные материалы проводят тепло лучше, чем сухие, так как теплопроводность воды примерно в 25 раз выше теплопроводности воздуха. Поэтому, с целью снижения коэффициента теплопроводности ТП было предложено использовать при его производстве обожженный диатомит. Для этого поступивший с карьера диатомит измельчали, а затем производили его обжиг в печи при температуре 550 °С в течение 5 часов. Предварительная сушка диатомита освобождает адсорбционное пространство от воды, а воздействие высоких температур (500–700°С) позволяет удалить структурную воду. При этом снижаются адсорбционные свойства диатомита в связи со снижением степени гидратации его поверхности [116].

При проведении экспериментальных исследований по разработке эффективных составов ТП использовались методы математического планирования. В качестве варьируемых факторов были выбраны: диатомиты необожженный (X_1) и обожженный (X_2); белая сажа (X_3), вид (марка) акриловой дисперсии (X_4) и доля микросфер (X_5). В качестве связующих использовались акриловые дисперсии Акрэмос-101 и Эколат-2014. Содержание специализированных видов добавок (для всех исследуемых составов) и загустителя Акрэмос-401 (для составов с акриловой дисперсией Акрэмос-101) принималось постоянным по отношению к массе связующего. Уровни варьирования переменных факторов приведены в таблице 4.1.1.

В предыдущих экспериментальных исследованиях диссертационной работы были использованы микросферы марки К15 производства компании 3M Glass Bubbles. Однако, учитывая, что микросферы данной марки обладают

относительно невысокой устойчивостью к раздавливанию (21 бар), что может привести в случае даже небольшого отклонения от технологических режимов перемешивания к их разрушению и, как следствие, снижению теплоизоляционных характеристик покрытий, было решено заменить их на микросферы K20 той же компании. Стекланные микросферы марки K20 обладают более высокой устойчивостью к раздавливанию – 34 бар и коэффициентом теплопроводности – 0,065 Вт/(м×К).

Таблица 4.1.1 – Уровни варьирования переменных факторов

Исследуемые факторы			Уровни варьирования		
Обозначение	Наименование	Единицы измерения	-1	0	+1
x_1	Диатомит необожженный	% от массы ТП	0	5	10
x_2	Диатомит обожженный	% от массы ТП	0	5	10
x_3	Белая сажа	% от массы ТП	0	2,5	5
x_4	Вид акриловой дисперсии	-	Акрэмос-101	-	Эколат-2014
x_5	Стеглосферы K20	% от массы ТП	12,5	15	17,5

Расход стекланных микросфер марки K20 в зависимости от состава варьировался в достаточно широком интервале – от 2,5 до 20% по массе (рисунок 4.1.1). Дальнейшее повышение доли микросфер приводило к существенному загущению систем, что не позволяло получить составы требуемой вязкости.

По результатам проведенного исследования проведен статистический и регрессионный анализ. Влияние варьироваемых параметров на теплопроводность разработанных составов аппроксимируется следующим уравнением:

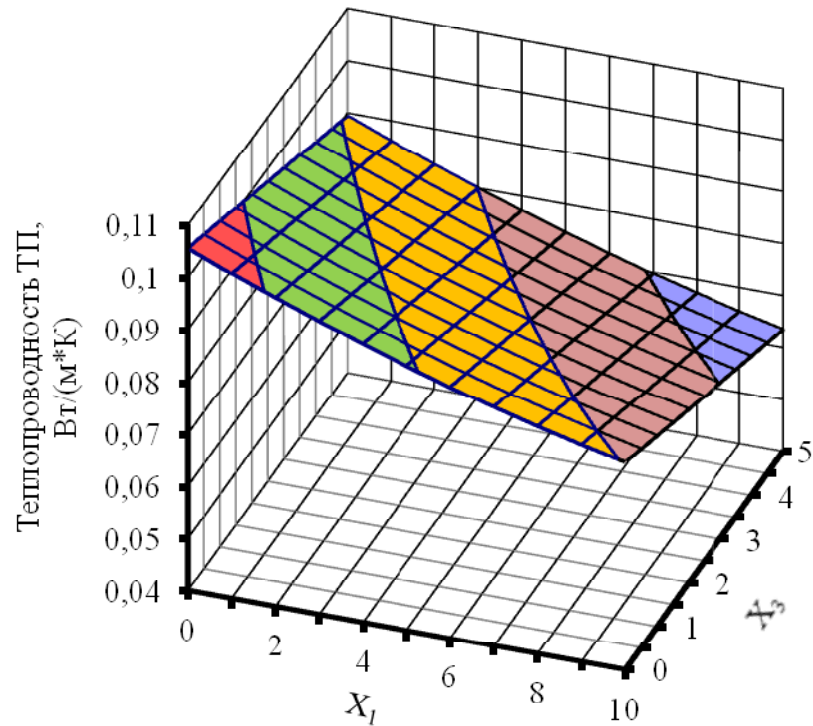
$$\lambda = 0.06583 - 0.01297x_1 - 0.00684x_2 - 0.00813x_3 + 0.00197x_4 - 0.01033x_5 + 0,00198x_1^2 + 0.0336x_2^2 - 0.03601x_5^2 \quad (4.1.1)$$



Рисунок 4.1.1 – Гистограммы изменения содержания стеклосфер марки К20 3М™ в составах от массы ТП

Графические зависимости, показывающие изменение теплопроводности ТП в зависимости от содержания диатомита (а – необожженного; б – обожженного) и белой сажи при фиксированном уровне акриловой дисперсии Ак-рэмос-101 и содержании стеклосфер 12,5 и 17,5% от массы ТП приведены, соответственно, на рисунках 4.1.2 и 4.1.3. Установлено, что при использовании в составах теплоизоляционных покрытий обожженного диатомита наилучшими теплоизоляционными характеристиками обладают композиты с содержанием: 5% белой сажи и 4,5÷6,5% диатомита. В случае использования необожженного диатомита наиболее оптимальные значения по теплопроводности (ниже 0,07 Вт/(м×К)) зафиксированы для составов, содержащих 7÷10% диатомита и 3÷5% белой сажи (рисунок 4.1.2, а). Со снижением в составе ТП минеральных добавок наблюдается повышение коэффициента теплопроводности; в случае отсутствия в составе теплоизоляционных покрытий диатомита и белой сажи (рисунки 4.1.2, 4.1.3) значения достигают 0,1 Вт/(м×К)) [170, 171].

а)



б)

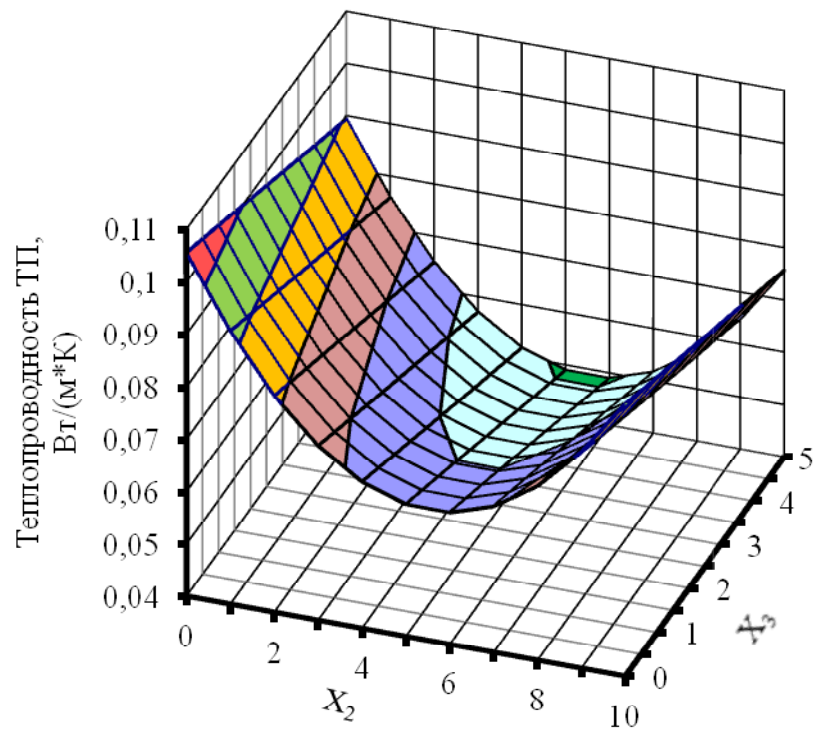
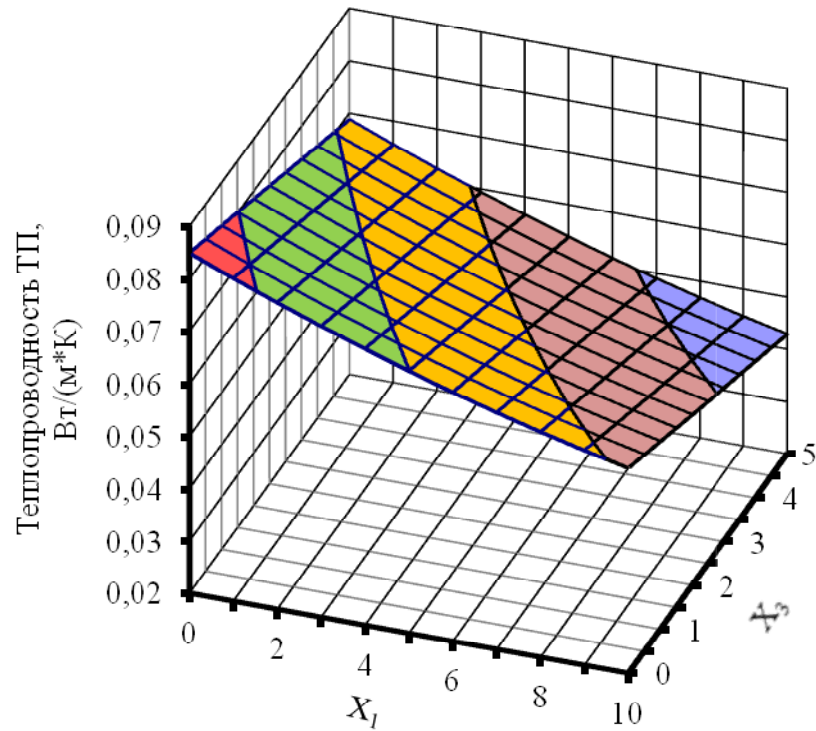


Рисунок 4.1.2 – Изменение теплопроводности ТП в зависимости от вида (а – необожженный (x_1); б – обожженный (x_2)) и содержания (в % от массы ТП) диатомита и белой сажи (x_3); (вид акрилового связующего – Акрэмос-101; содержание стеклосфер К20 3М™ – 12,5% от массы ТП)

а)



б)

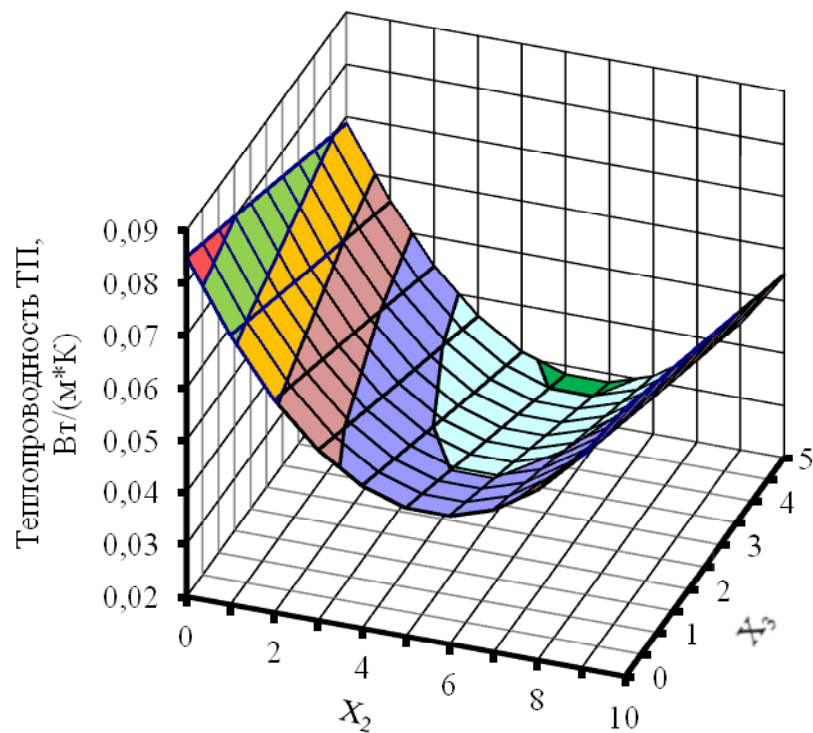


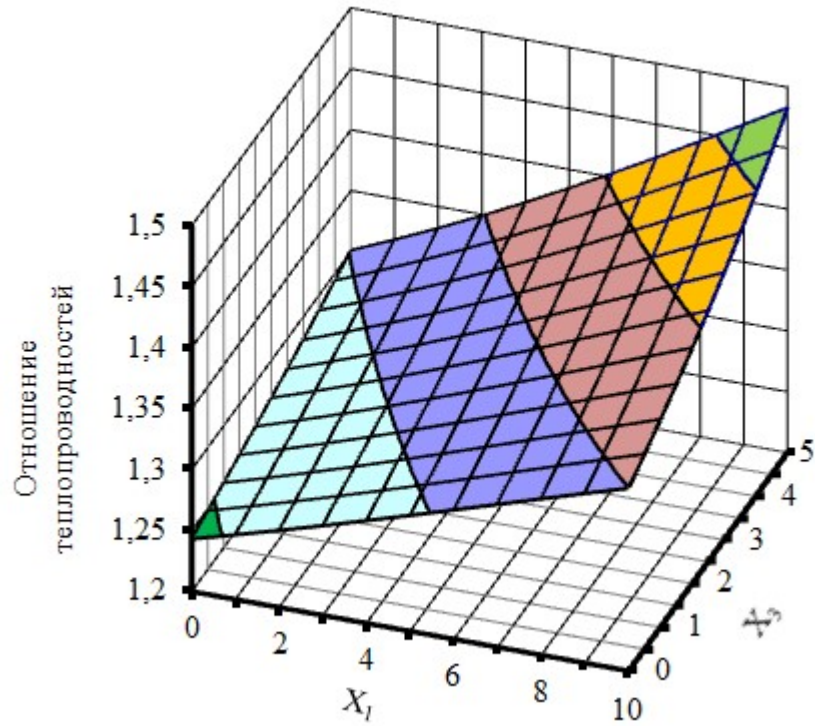
Рисунок 4.1.3 – Изменение теплопроводности ТП в зависимости от вида (а – необожженный (x_1); б – обожженный (x_2)) и содержания (в % от массы ТП) диатомита и белой сажи (x_3) (вид акрилового связующего – Акрэмос-101; содержание стеклосфер К20 3МTM – 17,5% от массы ТП)

Увеличение доли стеклосфер с 12,5 до 17,5 % не приводит к изменению вида трехмерных поверхностей, однако по абсолютным значениям теплопроводности наблюдается значительное снижение данного показателя (рисунки 4.1.2, 4.1.3). Наименьшие значения теплопроводности для составов с 17,5% содержанием стеклосфер на основе необожженного и обожженного диатомитов составляют, соответственно, 0,043 и 0,028 Вт/(м×К) по сравнению с аналогичными показателями для покрытий с 12,5% содержанием микросфер – 0,063 и 0,049 Вт/(м×К).

Для более наглядного представления влияния доли стеклосфер на теплопроводность ТП были построены графические зависимости, представленные на рисунке 4.1.4. Из анализа полученных данных следует, что повышение содержания микросфер К20 с 12,5 до 17,5% приводит к снижению теплопроводности, соответственно, для необожженного и обожженного диатомита в $1,24 \div 1,48$ и $1,24 \div 1,73$ раз. Наибольший эффект для необожженного диатомита проявляется при максимальных исследуемых концентрациях минеральных добавок; в случае замены диатомита на обожженный область максимального снижения теплопроводности зафиксирована при содержании диатомита $4,5 \div 6,5\%$ и белой сажи – $4,5 \div 5\%$.

В ходе исследования для увеличения эластичности покрытия помимо акриловой дисперсии Акрэмос-101 была использована также высокоэластичная дисперсия Эколат-2014. Для составов ТП на основе акриловой дисперсии Эколат-2014 были получены значения теплопроводности, близкие к значениям для составов с Акрэмос-101 как для необожженного, так и для обожженного диатомита (рисунки 4.1.5 – 4.1.7), что свидетельствует о незначительном влиянии вида акриловой дисперсии на теплоизоляционные свойства покрытий при прочих равных составляющих смесей [170, 171].

а)



б)

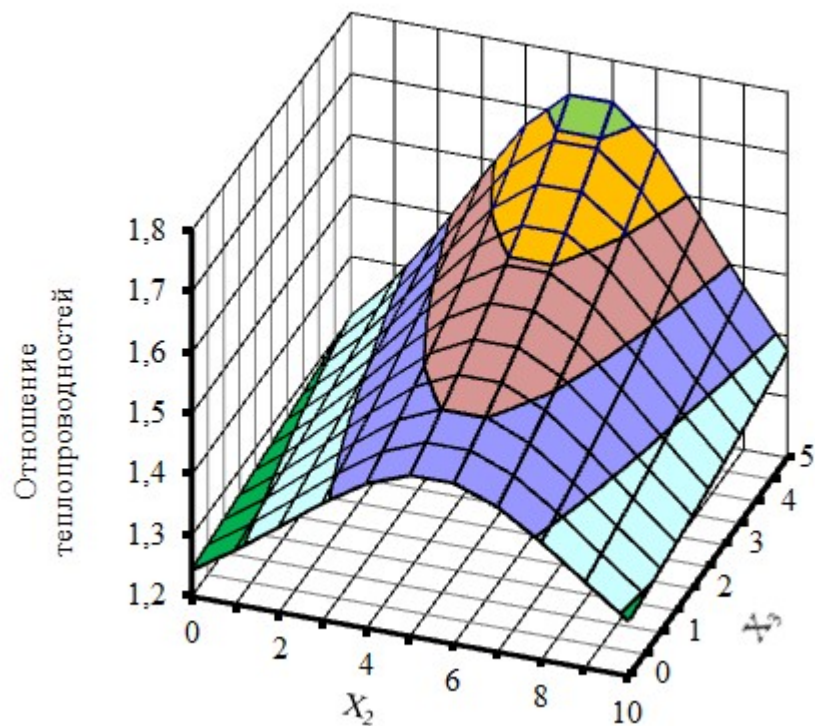
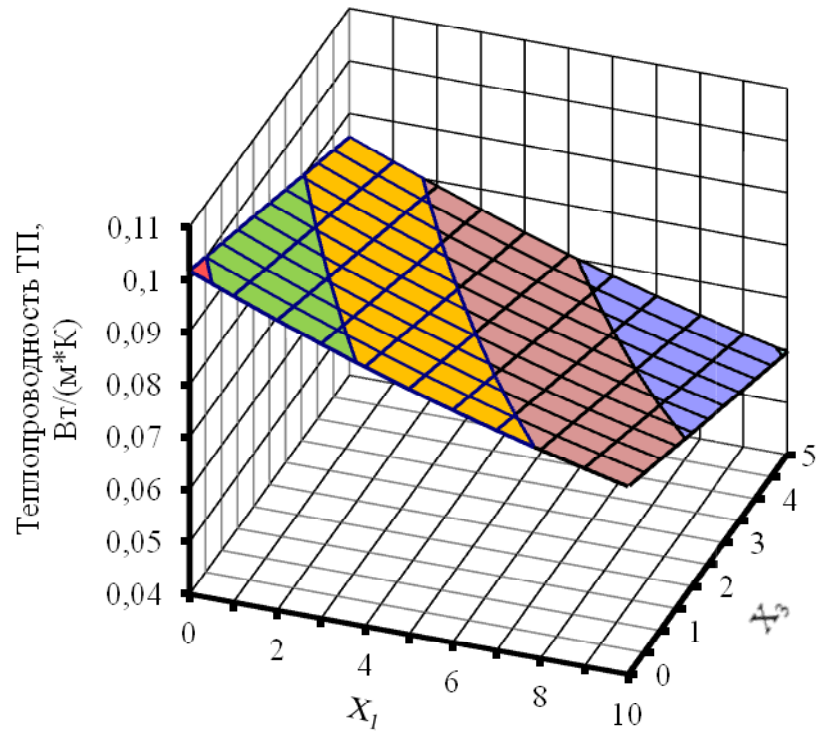


Рисунок 4.1.4 – Изменение отношения теплопроводностей ТП с содержанием стеклосфер К20 3М™ 12,5% к 17,5% в зависимости от вида (а – необоженный (x_1); б – обоженный (x_2)) и содержания (в % от массы ТП) диатомита и белой сажи (x_3) (вид акрилового связующего – Акрэмос-101)

а)



б)

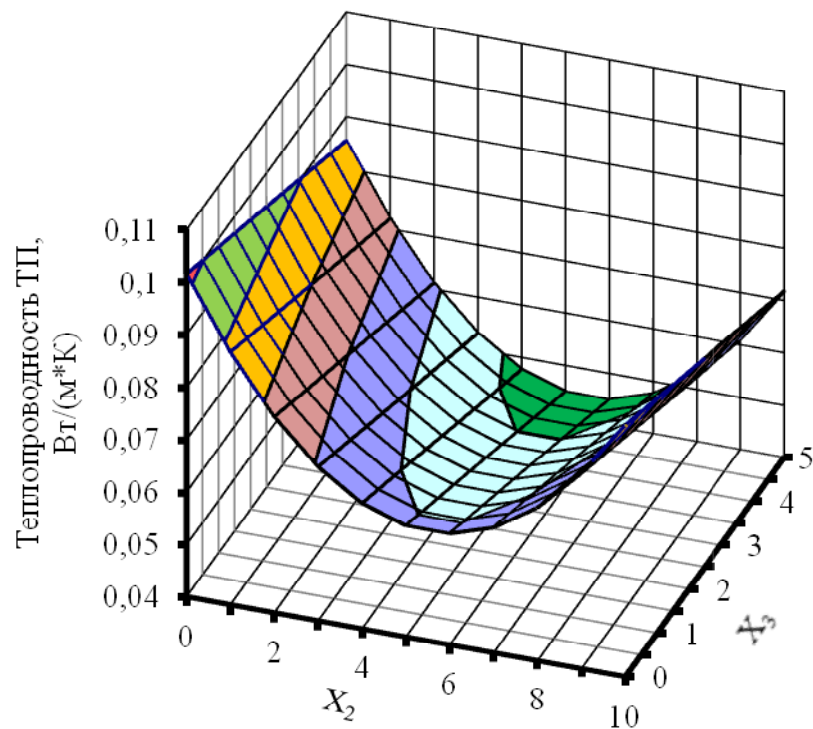
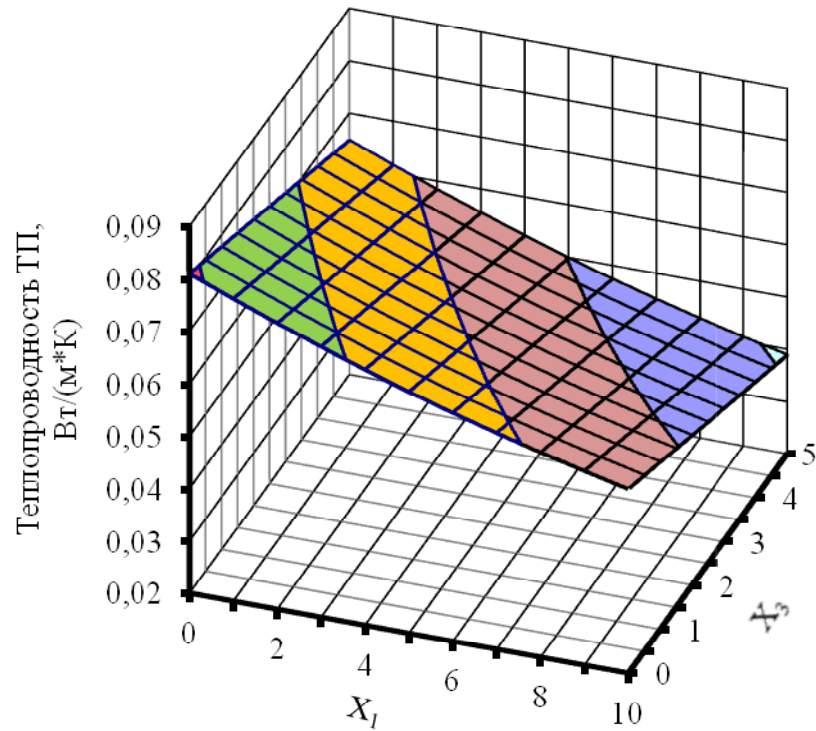


Рисунок 4.1.5 – Изменение теплопроводности ТП в зависимости от вида (а – необожженный (x_1); б – обожженный (x_2)) и содержания (в % от массы ТП) диатомита и белой сажи (x_3) (вид акрилового связующего – Эколат-2014; содержание стеклосфер К20 3М™ – 12,5% от массы ТП)

а)



б)

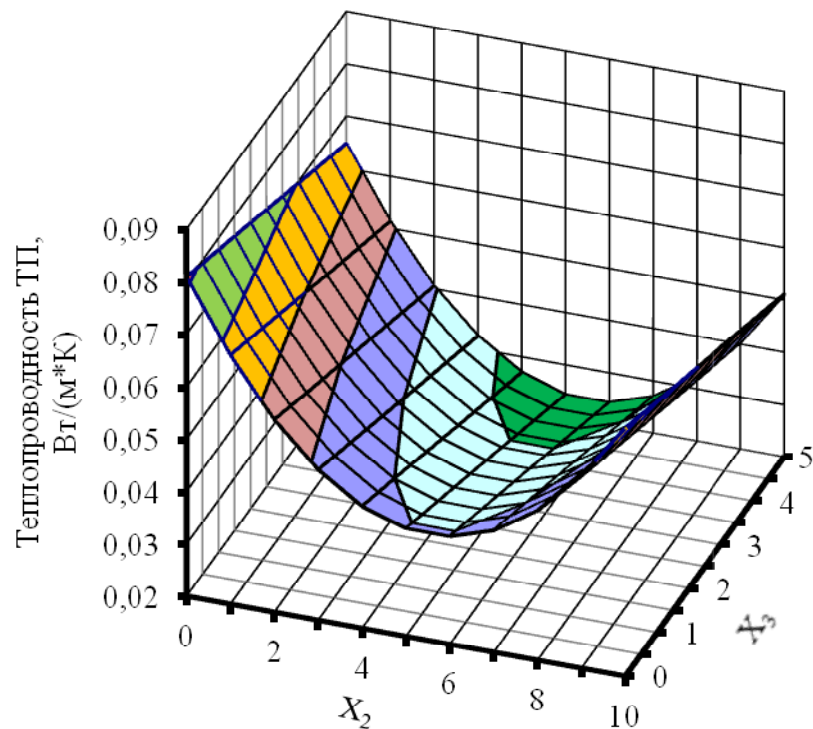
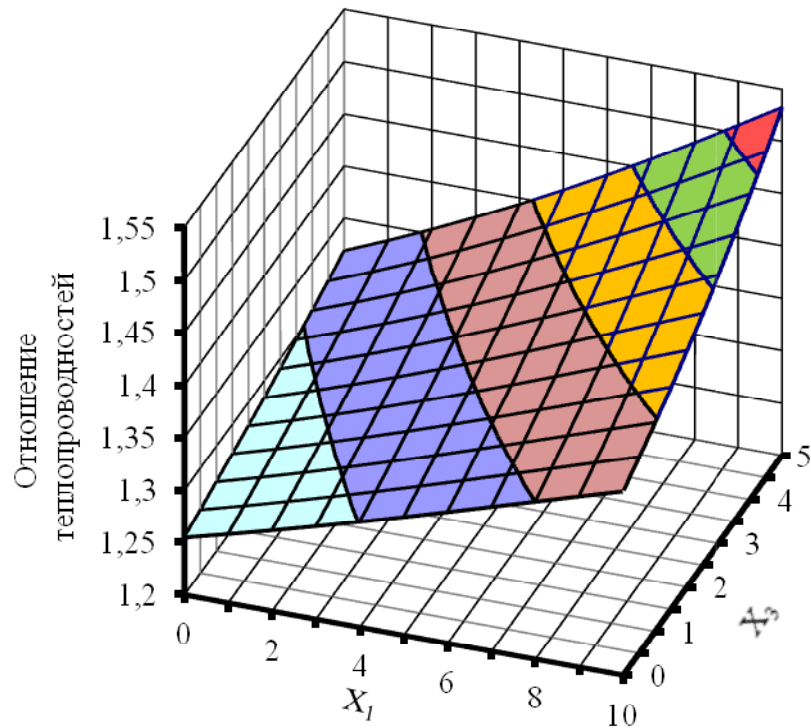


Рисунок 4.1.6 – Изменение теплопроводности ТП в зависимости от вида (а – необожженный (x_1); б – обожженный (x_2)) и содержания (в % от массы ТП) диатомита и белой сажи (x_3) (вид акрилового связующего – Эколат-2014; содержание стеклосфер К20 3М™ – 17,5% от массы ТП)

а)



б)

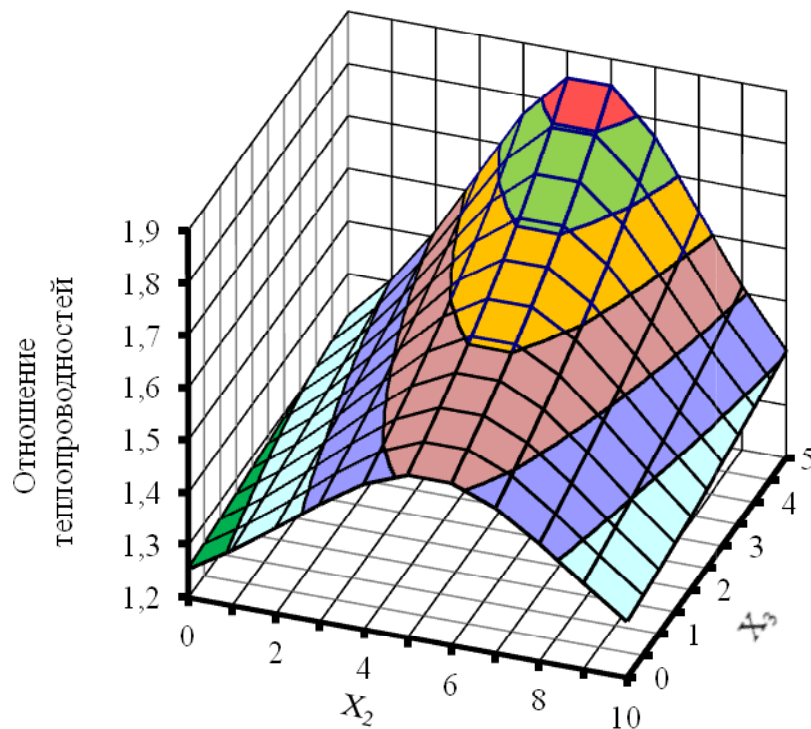


Рисунок 4.1.7 – Изменение отношения теплопроводностей ТП с содержанием стеклосфер К20 3М™ 12,5% к 17,5% в зависимости от вида (а – необожженный (x_1); б – обожженный (x_2)) и содержания (в % от массы ТП) диатомита и белой сажи (x_3) (вид акрилового связующего – Эколат-2014)

4.2. Анализ эффективности предварительного высокотемпературного обжига диатомита на теплозащитные характеристики теплоизоляционных покрытий

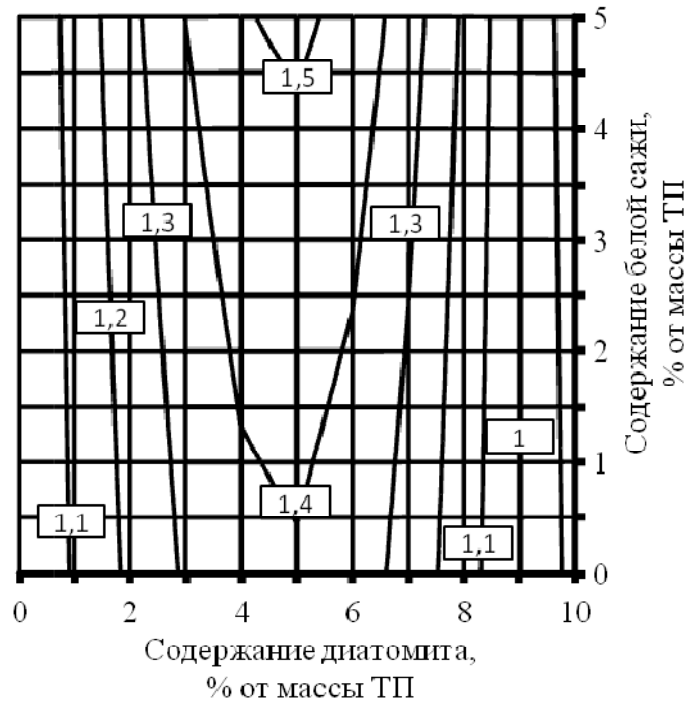
Для изучения эффективности применения в составах теплоизоляционных покрытий обожженного диатомита были построены графические зависимости, показывающие изменение относительной теплопроводности ТП (необожженный диатомит к обожженному) в зависимости от содержания в составе диатомита, белой сажи, стеклянных микросфер и вида акриловой дисперсии (рисунки 4.2.1 – 4.2.2). Установлено, что для составов ТП, изготовленных на основе акриловой дисперсии «Акрэмос-101», наибольший эффект от обжига диатомита, составляющий 50÷52%, зафиксирован при содержании диатомита от 4,5 до 5,5% и белой сажи 4,4 ÷5% (рисунок 4.2.1, а). Замена акриловой дисперсии «Акрэмос-101» на «Эколат-2014» (рисунок 4.2.1, б) позволила расширить область оптимальных значений до 3,8÷6% диатомита и 3,3÷5% белой сажи. Максимальное снижение коэффициента теплопроводности в данном случае составило 57%.

Увеличение доли стеклосфер с 12,5 до 17,5% (рисунок 4.2.2) позволяет получить максимальный эффект от обжига диатомита. Так составы с обожженным диатомитом на основе акриловой дисперсии «Акрэмос-101» при прочих равных условиях обладают в 1,9 раз меньшей теплопроводностью, чем составы с обычным диатомитом; составы на основе «Эколат-2014» – в 2 раза. Количество диатомита и белой сажи при этом составляет, соответственно, 4÷6% и 4÷5% для составов с «Акрэмос-101», и 3,5÷6,5% диатомита и 2,8÷5% белой сажи для составов с «Эколат-2014».

Из анализа полученных результатов следует, что предварительная высокотемпературная обработка порошка природного диатомита позволяет улучшить теплофизические характеристики теплоизоляционных покрытий. Замена обычного диатомита обожженным позволяет получать составы с более низким коэффициентом теплопроводности, что является одним из основных показателей теплоизоляционных покрытий. За счет использования в со-

ставах ТП обожженного диатомита появляется возможность применения более устойчивых к раздавливанию микросфер марки K20 (3M Glass Bubbles), повысив тем самым технологичность при изготовлении составов и нанесении теплоизоляционных покрытий.

а)



б)

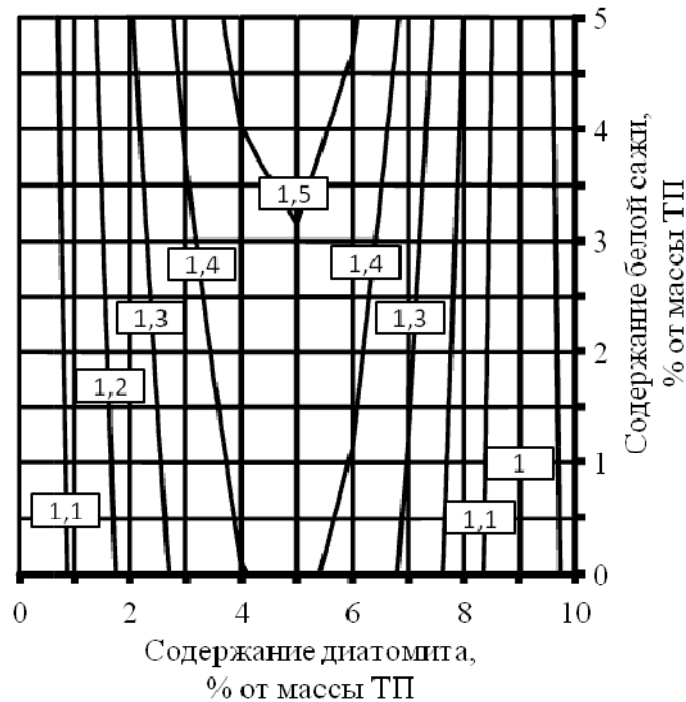
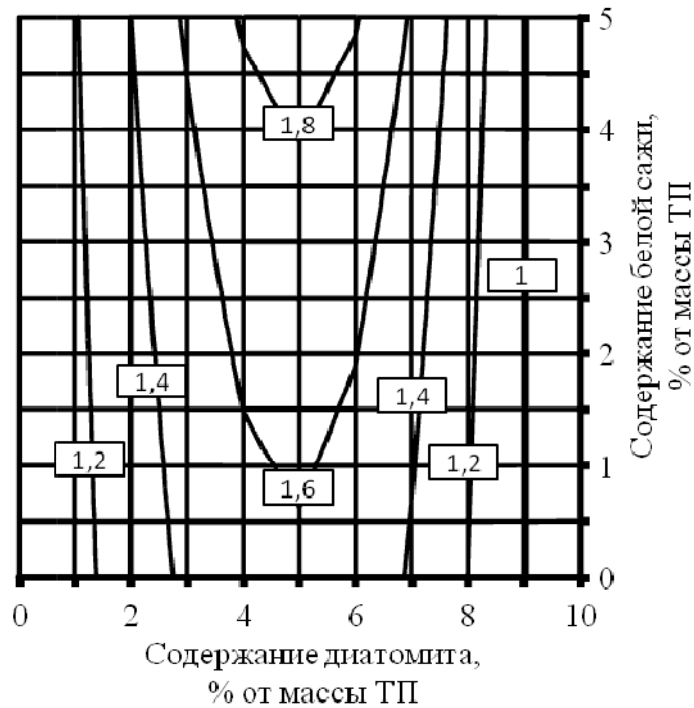


Рисунок 4.2.1 – Изменение относительной теплопроводности (необожженный диатомит к обожженному) ТП в зависимости от соотношения минеральных добавок и вида акрилового связующего (а – «Акрэмос-101»; б – «Эколат-2014») при содержании микросфер марки K20 3M™ 12,5% от массы ТП

а)



б)

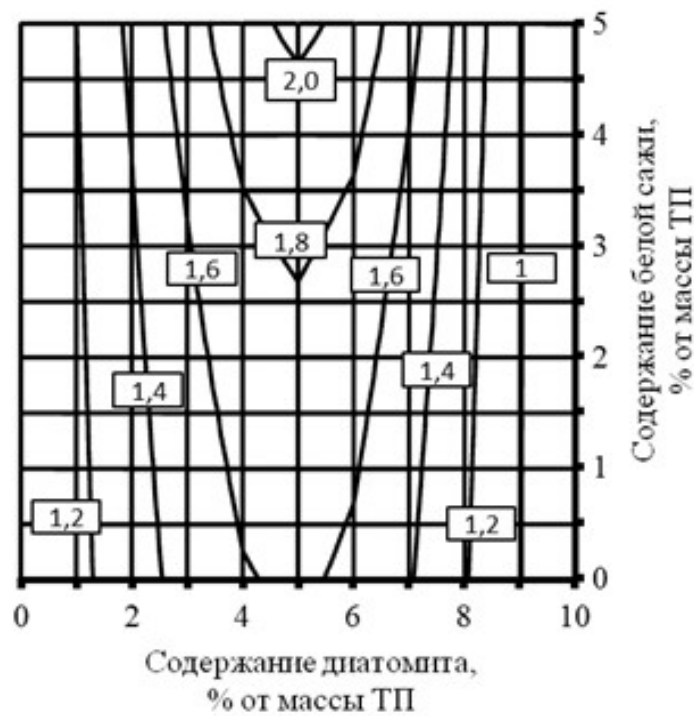


Рисунок 4.2.2 – Изменение относительной теплопроводности (необожженный диатомит к обожженному) ТП в зависимости от соотношения минеральных добавок и вида акрилового связующего (а – «Акрэмос-101»; б – «Эколат-2014») при содержании microspheres марки K20 3M™ 17,5% от массы ТП

Учитывая, что связующее вещество не оказывает значительного влияния на коэффициент теплопроводности разрабатываемых составов, а также от-

сутствие существенных различий в эластичности покрытий на основе «Акрэмос-101» и «Эколат-2014», что в первую очередь связано с высокой степенью наполнения композитов минеральными порошками и микросферами, в дальнейшей работе использовалась более дешевая акриловая дисперсия «Акрэмос-101».

4.3. Выводы по главе 4

1. Разработана экспериментально-статистическая модель, описывающая изменение теплоизоляционных характеристик ТП в зависимости от содержания диатомита (обожженного и необожженного), белой сажи, микросфер марки К20 3М™ и вида акриловой дисперсии. Выявлена возможность получения теплоизоляционных покрытий с коэффициентом теплопроводности менее 0,05 Вт/(м×К).

2. Установлено влияние предварительной высокотемпературной обработки порошка диатомита на коэффициент теплопроводности разрабатываемых составов ТП. Выявлено, что за счет замены необожженного диатомита на обожженный возможно существенное повышение теплозащитных характеристик, составляющее для оптимальных областей 90 и 104% при использовании, соответственно, акриловых дисперсий «Акрэмос-101» и «Эколат-2014».

3. Показано, что увеличение содержания стеклосфер марки К20 3М™ с 12,5 до 17,5 % от массы ТП позволяет снизить теплопроводность, соответственно, для необожженного и обожженного диатомита в 1,24÷1,48 раз и 1,24÷1,73.

4. Экспериментально доказано, что использование в составах ТП обожженного диатомита позволяет применять более устойчивые к раздавливанию микросферы марки К20 (3M Glass Bubbles), что повышает технологичность при изготовлении составов и нанесении теплоизоляционных покрытий.

ГЛАВА 5. ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ АПРОБИРОВАНИЕ

5.1. Разработка технологической схемы процесса производства составов теплоизоляционных покрытий

На основании результатов исследований была разработана технологическая схема изготовления составов теплоизоляционных покрытий. Технологию производства составов теплоизоляционных покрытий можно разделить на 4 основных операции: приготовление полуфабриката (водного раствора вспомогательных добавок и пигментов); диспергирование в полуфабрикате минеральных наполнителей; смешение пигментной пасты с пленкообразующей дисперсией и ввод микросфер.

Технологическая схема производства составов теплоизоляционных покрытий представлена на рисунке 5.1.1.

В диспергирующий реактор (1) загружают рецептурное количество воды и при нагревании до 40–60 °С добавляют полифосфат натрия и перемешивают мешалкой до полного его растворения. Затем при малых оборотах (60–120 об/мин) вводят последовательно коалесцирующую, биоцидную добавки, пигмент и другие виды целевых добавок (при необходимости) и производят гомогенизацию смеси. Далее с помощью вакуумного насоса (4) полуфабрикат подается в диссольтвер (7), в который из бункера (6), снабженного весовыми дозаторами, загружают минеральные наполнители. Диатомит, поступающий с карьера, перед введением в полуфабрикат предварительно дробят и удаляют каменистые включения; затем высушивают до влажности 5–10% (карьерная влажность диатомита может достигать 60% и более), измельчают и, при необходимости, обжигают при температуре 550 °С в течение 5 часов. Перемешивание минеральных наполнителей в полуфабрикате производят до получения однородной массы.

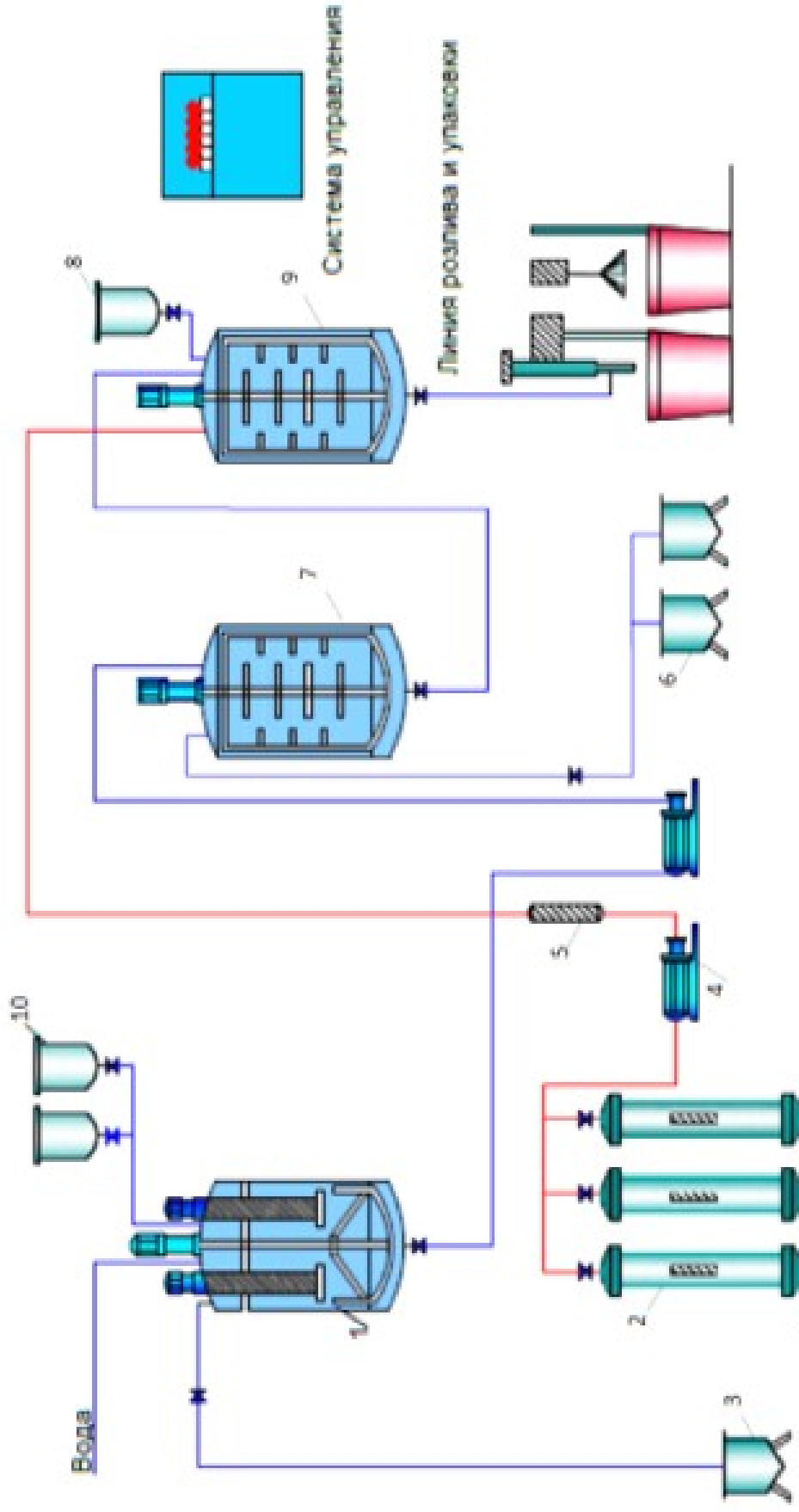


Рисунок 5.1.1 – Технологическая схема производства составов теплоизоляционных покрытий: 1 – диспергирующий реактор; 2 – эмульсионные баки; 3 – бункер для пигментов; 4 – вакуумный насос; 5 – сетчатый фильтр; 6 – бункер для минеральных наполнителей; 7 – диссоolver; 8 – бункер для микросфер; 9 – низкоскоростной диссоolver; 10 – бункеры для целевых добавок

Далее полученная водная пигментная паста подается в диссольвер (9) для смешивания с акриловой дисперсией и загустителем (при необходимости), которые подаются из эмульсионных баков (2) насосом через сетчатый фильтр (5). Затем в низкоскоростной диссольвер вводят микросферы из бункера (8) и перемешивают до получения однородной массы. Готовое покрытие, соответствующее требованиям стандарта, из смесительного модуля, направляют в модуль упаковки и выдачи, где предусматривается его дозирование и разлив в тару.

Фасовка составов жидкой теплоизоляции предусмотрена в герметично закрытые пластиковые ведра емкостью 5 и 20 л. Упакованная продукция отправляется на склад готовой продукции.

Хранение и транспортирование составов ТП допускается при температурах не ниже + 5 °С. Перевозку можно осуществлять любыми видами транспорта в крытых транспортных средствах с учетом правил перевозки грузов, действующих на соответствующем виде транспорта.

5.2. Технология нанесения составов теплоизоляционных покрытий

Перед использованием теплоизоляционных покрытий требуется подготовка поверхности. Основание должно быть сухим, очищенным от пыли, непрочной шелушащейся краски, высолов, старых известковых покрытий и не иметь признаков биоповреждений. Рыхлые и непрочные участки следует отремонтировать цементно-штукатурными составами.

Металлические поверхности перед нанесением составов теплоизоляционных покрытий должны быть очищены от загрязнений и продуктов, способствующих протеканию коррозионных процессов, и обезжирены. Для придания поверхности дополнительной коррозионной стойкости может применяться химическая подготовка поверхности (фосфатирование, пассивирование, хроматирование).

Покрытие наносится слоями с межслойной сушкой при помощи кисти из смешанной щетины или безвоздушного распылителя. Толщина одного слоя

покрытия должна быть не более 1 мм. Время полного высыхания каждого нанесённого слоя составляет 24 часа при комнатной температуре.

Перед применением жидкой теплоизоляции требуется тщательно перемешать состав на малых оборотах (с целью избежания разрушения стеклосфер) до получения однородной массы. При загустевании состава допускается его разбавление чистой водой, но не более 7% от общего объёма. После этого состав можно наносить на подготовленное основание.

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО «ИКК». Разработанные теплоизоляционные покрытия были применены для теплоизоляции стен производственного цеха (70м²) и части трубопровода тепловой сети. Акт опытно-производственного апробирования теплоизоляционных покрытий приведен в приложении 1.

5.3. Техничко-экономические показатели производства теплоизоляционных покрытий

В ходе выполнения диссертационной работы была подтверждена возможность создания теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных наполнителей – диатомита (обожженного и необожженного) и белой сажи. Выбор в пользу данных минеральных наполнителей был обусловлен их высокими теплоизоляционными характеристиками, а также наличием месторождений диатомита во многих регионах России, в частности на территории республики Мордовия.

Основные физико-механические характеристики теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей приведены в таблице 5.3.1. В качестве прототипа был выбран состав промышленно выпускаемого ТП «Изоллат-02», применяемый для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений. Из результатов проведенных исследований следует (таблица 5.3.2), что разработанные составы теплоизоляционных покрытий обладают высокими эксплуатационными характери-

ками, не уступающими составу, принятому при проведении сравнительных испытаний за эталон.

В таблице 5.3.2 представлена калькуляция себестоимости изготовления разработанных составов. Стоимость материалов, используемых при производстве, принята по реальным ценам 2016-го года. Согласно выполненным расчетам заводская себестоимость предлагаемых смесей варьируется от 83,51 до 173,09 рублей за 1 кг и от 32,4 до 51,41 рублей за литр. Даже при необходимости дополнительного введения в состав теплоизоляционных покрытий целевых добавок, а также с учетом дополнительных торговых наценок, стоимость теплоизоляционных составов на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей будет значительно ниже стоимости промышленно-выпускаемых теплоизоляционных покрытий (Изоллат, Корунд, RE-THERM и т.д.), варьирующейся на 1 июня 2016 года в зависимости от производителя и объема упаковки от 350 до 600 рублей за литр.

Таблица 5.3.1 – Основные показатели составов теплоизоляционных покрытий

Параметр	№ состава				Прототип (Изоллат-02)
	1н	2н	3о	4о	
Способ нанесения	Краскопультом, кистью	Краскопультом, кистью	Краскопультом, кистью	Краскопультом, кистью	Краскопультом, кистью
Время высыхания 1 слоя, час, не более	24	24	24	24	24
Внешний вид	Покрытие белого цвета				
Вязкость, сек. (шариковый вискозиметр)	31 – 33				-
Нижний температурный порог при нанесении, °С	5	5	5	5	5
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	0,049	0,048	0,038	0,051	0,0713
Плотность в сухом состоянии, кг/м ³	388	379	294	297	311
Адгезия к бетонным поверхностям, МПа	1,012	1,036	1,215	1,108	0,702
Укрывистость, г/м ² (однослойное нанесение)	~370	~380	~350	~400	-
Паропроницаемость, мг/(м×ч×Па)	0,031	0,032	0,039	0,029	0,023
Адгезия к стали (метод решетчатых надре- зов), балл	1	1	1	1	1
Финишный защитный слой	Возможен (при необходимости)	Возможен (при не- обходимости)	Возможен (при не- обходимости)	Возможен (при не- обходимости)	Возможен (при не- обходимости)

Таблица 5.3.2 – Калькуляция себестоимости разработанных составов теплоизоляционных покрытий

№ п/п	Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения, руб	Составы на основе необожженного диатомита				Составы на основе обожженного диатомита			
				Состав 1н		Состав 2н		Состав 3о		Состав 4о	
				Норма расхода на калькуляционную единицу	Загрaгaты на калькуляционную единицу, руб	Норма расхода на калькуляционную единицу	Загрaгaты на калькуляционную единицу, руб	Норма расхода на калькуляционную единицу	Загрaгaты на калькуляционную единицу, руб	Норма расхода на калькуляционную единицу	Загрaгaты на калькуляционную единицу, руб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Акрэмос-101	т	97750	0,170	16617,50	0,160	15640,00	0,219	21368,15	0,203	19862,80
	Акрэмос-401	т	69000	0,063	4372,53	0,057	3927,48	0,055	3767,40	0,051	3525,90
	Полифосфат натрия	т	109500	0,057	6245,88	0,051	5609,69	0,049	5387,40	0,046	5037,00
	Диэтиленгликоль	т	48500	0,152	7376,85	0,137	6626,07	0,131	6363,20	0,123	5950,95
	Уайт-спирит	т	47300	0,038	1798,54	0,034	1615,51	0,033	1551,44	0,031	1452,11
	Диатомит	т	13000	0,088	1144,00	0,048	624,00	–	–	–	–
	Диатомит обожженный	т	19000	–	–	–	–	0,055	1037,40	0,101	1911,40
	Белая сажа	т	70000	0,018	1260,00	0,054	3780,00	0,022	1533,00	0,051	3535,00
	Микросферы К15	т	729000	0,055	40095,00	0,115	83835,00	–	–	–	–
	Микросферы К20	т	729000	–	–	–	–	0,175	127429,20	0,175	127429,20
	Вода	т	1500	0,358	537,71	0,344	516,11	0,262	393,45	0,220	330,60
Итого:					<u>79448,00</u>		<u>122173,85</u>		<u>168830,64</u>		<u>169034,96</u>
2	Вспомогательные материалы	руб			534,81		534,81		534,81		534,81
3	Амортизация основного оборудования	руб			976,54		976,54		976,54		976,54
4	Аренда помещения	руб/м ² ч	485,78	1,7ч	825,83	1,7ч	825,83	1,7ч	825,83	1,7ч	825,83

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	Электроэнергия на технологические цели	кВт/ч	3,12	11,46	35,76	11,46	35,76	11,46	35,76	11,46	35,76
6	Основная заработная плата производственных рабочих	руб/ч	610,91	1,7ч	1038,55	1,7ч	1038,55	1,7ч	1038,55	1,7ч	1038,55
7	Дополнительная заработная плата производственных рабочих	руб/ч	183,27	1,7ч	311,56	1,7ч	311,56	1,7ч	311,56	1,7ч	311,56
8	Отчисления на социальное страхование	руб/ч	195,49	1,7ч	332,33	1,7ч	332,33	1,7ч	332,33	1,7ч	332,33
9	Заводская себестоимость 1т	руб.			83 509,37		126 229,22		172 886,01		173 090,33
10	Заводская себестоимость 1кг	руб.			83,51		126,23		172,89		173,09
11	Заводская себестоимость 1 л	руб.			32,40		47,84		50,83		51,41

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования тонкодисперсных минеральных наполнителей (диатомита и белой сажи) в составах наполненных связующих теплоизоляционных покрытий и получения на их основе покрытий с комплексом требуемых характеристик (коэффициент теплопроводности не более $0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$; плотность в сухом состоянии не более $0,4 \text{ г}/\text{см}^3$; адгезионная прочность к бетонным основаниям не менее 1 МПа , к стали – 1-2 балла).

2. Разработаны составы теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей, содержащие, в мас. ч.: $0,16\div 0,219$ акриловой дисперсии «Акрэмос-101»; $0,051\div 0,063$ загустителя «Акрэмос-401»; $0,048\div 0,088$ необожженного или $0,055\div 0,101$ обожженного диатомита; $0,018\div 0,054$ белой сажи; $0,055\div 0,115$ микросфер марки K15 3M™ или $0,175$ марки K20 3M™ Glass Bubbles; $0,046\div 0,057$ полифосфата натрия; $0,123\div 0,152$ диэтиленгликоля; $0,031\div 0,038$ уайт-спирита; $0,22\div 0,358$ воды. Покрытия на основе предлагаемых составов характеризуются следующими показателями: коэффициент теплопроводности $0,038\div 0,051 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$, плотность в сухом состоянии $294\div 388 \text{ кг}/\text{м}^3$, адгезионная прочность к бетонным основаниям $1,012\div 1,215 \text{ МПа}$, к стали – 1 балл, паропроницаемость $0,029\div 0,039 \text{ мг}/(\text{м}\times\text{ч}\times\text{Па})$, укрывистость (при однослойном нанесении) $350\div 400 \text{ г}/\text{м}^2$.

3. Разработаны экспериментально-статистические модели эксплуатационных характеристик теплоизоляционных покрытий и проведен их анализ, позволивший установить характер изменения кривых распределения и объемов допустимых решений исследуемой области в зависимости от содержания варьируемых факторов (акриловой дисперсии «Акрэмос-101», диатомита, белой сажи и микросфер марки K15 3M™). Выявлены оптимальные значения варьируемых факторов для достижения требуемых значений по трем показа-

телям – теплопроводности, плотности в сухом состоянии и адгезионной прочности покрытий.

4. Разработана экспериментально-статистическая модель, описывающая изменение теплоизоляционных характеристик ТП в зависимости от содержания диатомита (обожженного и необожженного), белой сажи, микросфер марки K20 3M™ и вида акриловой дисперсии. Выявлена возможность получения теплоизоляционных покрытий с коэффициентом теплопроводности менее 0,05 Вт/(м×К).

5. Установлено влияние предварительной высокотемпературной обработки порошка диатомита на коэффициент теплопроводности разрабатываемых составов ТП. Выявлено, что за счет замены необожженного диатомита на обожженный возможно существенное повышение теплозащитных характеристик, составляющее для оптимальных областей 90 и 104 % при использовании, соответственно, акриловых дисперсий «Акрэмос-101» и «Эколат-2014».

6. Экспериментально доказано, что использование в составах теплоизоляционных покрытий обожженного диатомита позволяет применять более устойчивые к раздавливанию микросферы марки K20 (3M Glass Bubbles), что повышает технологичность при изготовлении составов и нанесении теплоизоляционных покрытий.

7. Разработаны технологическая схема производства составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей и определены их технико-экономические показатели. Разработан проект стандарта организации «Теплоизоляционные покрытия. Технические условия» и проведено опытно-промышленное внедрение разработанных составов теплоизоляционных покрытий.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Разработанные рецептуры составов теплоизоляционных покрытий, технологию их производства, а также проект стандарта организации СТО «Теплоизоляционные покрытия. Технические условия» рекомендуется внедрить

на существующих и вновь создаваемых предприятиях по производству лакокрасочных и шпаклевочных составов. Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований рекомендуются для использования в учебном процессе (приложение 2).

Разработанные составы теплоизоляционных покрытий рекомендуется использовать для сокращения потерь тепла на поверхностях ограждающих конструкций зданий и сооружений различной конфигурации, а также трубопроводов тепловых сетей и запорной арматуры.

Экспериментально-статистические модели и алгоритмы оптимизации составов теплоизоляционных покрытий рекомендуется использовать при проведении дальнейших исследований по определению их характеристик и разработке номенклатуры добавок в базовые составы для повышения адгезионной прочности, коррозионной стойкости и стойкости к действию повышенных температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыженков, В. А. О влиянии структурированного тонкопленочного теплоизоляционного покрытия на термическое сопротивление теплопроводов / В. А. Рыженков, А. Ф. Прищепов, Н. А. Логинова, А.П. Кондратьева // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – №5. – С. 58-59.
2. Кудяков, А. И. Технология гранулированного стеклокристаллического материала для теплоизоляции ограждающих конструкций чердачного перекрытия / А.И. Кудяков, А.С. Апкарьян // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 1 (48). – С. 132-139.
3. Домокеев, А. Г. Строительные материалы / А. Г. Домокеев. – М. : Высшая школа, 1989. – 495 с.
4. Бобров, Ю. Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции: Учебник для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю. Л. Бобров, Е. Г. Овчаренко, Б. М. Шойхет, Е. Ю. Петухова. – М. : ИНФА-М, 2003. – 268 с.
5. Зарубина, Л. П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии / Л. П. Зарубина. – 2-е изд. – СПб.: БХВ - Петербург, 2012. – 416 с.
6. Попова, В. В. Материалы для теплоизоляционных и гидроизоляционных работ / В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 1988. – 151 с.
7. Копко, В. М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей: учебно-методическое пособие / В. М. Копко. – Минск : Технопринт, 2002. – 160 с.
8. Строительные материалы. Материаловедение. Строительные материалы / В. Г. Микульский, В. Н. Куприянов, Г. П. Сахаров [и др.] – М. : АСВ, 2004. – 536 с.
9. Шойхет, Б. М. Эффективные утеплители в ограждающих конструкциях зданий / Б. М. Шойхет, Л. В. Ставрицкая // Энергосбережение. – 2000. – № 3. – С. 39.

10. Логинова, Н. А. Определение эффективности тонкопленочных теплоизоляционных покрытий применительно к системам теплоснабжения: дис. ... канд. тех. наук: 05.14.04 / Наталья Арамовна Логинова. – Москва, 2010. – 133 с.

11. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Взамен СНиП 2.04.14-88*; введ. 2003-11-01. – М.: Государственный комитет российской федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2004.

12. Панасюк, М. В. Кровельные материалы. Практическое руководство / М.В. Панасюк. – Ростов н/Д : Феникс, 2005. – 450 с.

13. Современные строительные материалы. Справочник. М., Спб.: «Росстройкомплект», 1998. – 228 с.

14. Пащенко, Е. И. Анализ причин снижения ресурса тепловых сетей / Е. И. Пащенко // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 12. – С. 33-35.

15. Гафаров, А. Х. Анализ эффективной и надежной работы системы теплоснабжения / А. Х. Гафаров // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 5. – С. 25–30.

16. Строительные материалы: справочник / А. С. Болдырев, П. П. Золотов, А. Н. Люсов [и др.]; под ред. А. С. Болдырева, П. П. Золотова. – М.: Стройиздат, 1989. – 567 с.

17. Майзель, И. Л. Еще раз об экономической и технической целесообразности применения трубопроводов с индустриальной пенополиуретановой изоляцией для теплоснабжения / И. Л. Майзель, В. Г. Петров-Денисов // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 3. – С. 18-20.

18. Умеркин, Г. Х. Исследование прочностных характеристик теплоизоляционной конструкции в пенополимерминеральной изоляции [Электронный ресурс] / Г. Х. Умеркин, С. А. Дроздов, В. А. Копцов // Информационная система по теплоснабжению «РосТепло.ру». Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=613

19. Кудяков, А.И. Исследование процессов получения зернистого теплоизоляционного материала на основе высокомодульной жидкостекольной композиции из микрокремнезема / А.И. Кудяков, Н.А. Свергунова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 1. – С. 130-137.

20. Кузякина, М. Г. Российский рынок теплоизоляции / М. Г. Кузякина // Стройпрофиль. 2008. – № 6. – С. 112–114.

21. Береговой, А. М. Энергосбережение в жилых зданиях с альтернативными источниками энергии / А. М. Береговой, О. Л. Викторова, В. А. Береговой // Жилищное строительство. – 2008. – № 5. – С. 36-37.

22. Баталин, Б. С. Пенополистирол: низвержение мифа / Б. С. Баталин, Л. Д. Евсеев // Материалы и технологии. – 2010. – № 9. – С. 13-15

23. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал / Н.И. Минько, О. В. Пучка, Е.И. Евтушенко [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6. – С. 849-854.

24. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – Взамен СНиП II-3-79*; введ. 2003–10–01. – М.: Государственный комитет российской федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2003.

25. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – Взамен СП 23-101-2000; введ. 2004–06–01. – М.: Государственный комитет российской федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2004.

26. Гагарин, В. Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов // Жилищное строительство. – 2008. – № 8. – С. 2-6.

27. Рынок теплоизоляции: точка зрения ведущих компаний [Электронный ресурс] / Кровля. Фасады. Изоляция. – 2007. – № 4. – С. 56-61.

Режим доступа: http://www.teplex.ru/about/press/kfi/056-061_Teplo_Rynok.pdf.

28. Кудяков, А.И. Конструкционно-теплоизоляционные пенобетоны с термомодифицированной торфяной добавкой / А.И. Кудяков, Н.О. Копаница, И.А. Прищепа, С.Н. Шаньгин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 1 (38). – С. 172-177.

29. Шиян, Е. И Состояние и тенденции рынка теплоизоляционных материалов [Электронный ресурс] / Е. И. Шиян, К. К. Торопова // Экономика и социум. – 2015. – № 1. Режим доступа: [http://iupr.ru/domains_data/files/sborniki_jurnal/Zhurnal%20_1\(14\)%202015%204.pdf](http://iupr.ru/domains_data/files/sborniki_jurnal/Zhurnal%20_1(14)%202015%204.pdf)

30. Ярцев, В. П. Влияние силовых и атмосферных воздействий на теплофизические характеристики минераловатных плит / В. П. Ярцев, А. М. Дорофеев // Кровельные и изоляционные материалы. – 2010. – № 4. – С. 14-15.

31. Гусев, Б. В. Потеря массы минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б. В. Гусев, В. А. Езерский, П.В. Монастырёв // Кровельные и изоляционные материалы. – 2005. – № 2. – С.48-49.

32. Пак, А. А. Эффективная теплоизоляция труб скорлупами из газозлобетона / А. А. Пак, О. Н. Крашенинников, Р. Н. Сухорукова // Строительные материалы. – 2004. – N 3. – С. 21-23.

33. Скороходова, Н. Ю. Рынок теплоизоляционных материалов России [Электронный ресурс] / Н. Ю. Скороходова. – Режим доступа: http://www.bestresearch.ru/article/insulation_2014.pdf

34. Кербер, М. Л. Пенополистирол: научный взгляд / М. Л. Кербер, В. Г. Хозин // Стройпрофи. – 2012. – № 1. – С. 49-52.

35. Попова, Т. А. Экструдированный пенополистирол отечественного производства / Т. А. Попова // Строительные материалы. – 1999. – № 2. – С. 29.

36. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. А. Соколов. – учебник для вузов. - 6-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 472 с.

37. Король, Е. А. Актуальные вопросы энергоэффективности зданий и сооружений, пути их решения / Е. А. Король // Вестник МГСУ. – 2009. – Спецвыпуск №3. – С. 5-9.

38. Хабибуллин, Ю. Х. Энергосберегающие покрытия на основе минеральных микросфер / Ю. Х. Хабибуллин, О. Б. Барышева // Известия КГА-СУ. – 2014. – №28. – С. 144-147.

39. Результаты применения жидкой тепловой изоляции на участке магистрального трубопровода системы централизованного теплоснабжения / М. В. Павлов, Д.Ф. Карпов, М.С. Юрчик [и др.] // Вестник МГСУ. – 2013. – № 10. – С. 147-155.

40. Гарипов, Р. М. Энергосберегающее покрытие на основе акриловых дисперсий и полых стеклянных микросфер / Р.М. Гарипов, Н.Н. Жданов, Р.Х. Фатхутдинов, В.В. Уваев // Вестник казанского технологического университета. – 2014. – № 6. – С. 45-47.

41. Бирюзова, Е. И. Повышение энергоэффективности тепловых сетей за счет применения современных теплоизоляционных материалов / Е. И. Бирюзова // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 62-66.

42. Панченко, Ю. Ф. Теплоизолирующее покрытие на основе жидкой фольги и полых микросфер / Ю. Ф. Панченко, Г.А. Зимакова, О.А. Степанов, Д.А. Панченко // Строительные материалы. – 2012. – № 8. – С. 83-85.

43. Ширинян, В. Т. Поход жидко-керамического «супертеплоизоляционного» покрытия по тепловым сетям России / В. Т. Ширинян // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 9. – С. 46-51.

44. Пат. 2527997 Российская федерация, С09D5/18 С09D5/02 Состав для теплозащитных покрытий / О. Н. Емельянова (RU), Е. П. Кудрявцева (RU), А.Н. Большакова (RU), О. А. Савватеева (RU) [и др.] патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный орден трудового красного знамени научно-исследовательский институт химических реактивов и особо чистых химических веществ», министерство обра-

зования и науки Российской федерации (RU). Заявка от 30.08.2012. Оpubл. 10.09.2014.

45. Пат. 2342415 Российская федерация, C09D 183/00 C09D 5/02 Покры- тие жидкокерамическое изоляционное / Н. В. Мотрикалэ (RU) патентообла- датель Мотрикалэ Николай Владимирович (RU). Заявка от 10.07.2007 Оpubл. 27.12.2008.

46. Пат. 2310670 Российская федерация, C04B C08K C09D Краска- покрытие тепловлагозащитная / Б. Б. Васильевич (RU) патентообладатель Боднарчук Богдан Васильевич (RU). Заявка от 31.07.2006 Оpubл. 20.11.2007.

47. Пат. 2551363 Российская федерация, C09D5/18 C09D113/02 C09D133/00 C09D127/22 C08K7/20 Энергосберегающее антикоррозионное покрытие с пониженной пожарной опасностью и способ его получения / А. А. Гайдук (RU), Д. В. Десятков (RU) патентообладатели Гайдук Антон Анд- реевич (RU), Десятков Денис Вячеславович (RU). Заявка от 23.08.2013. Оpubл. 20.05.2015.

48. Пат. 2451871 Российская федерация, F16L59/08 Способ теплоизоля- ции трубопроводов и оборудования / В. А. Рыженков (RU), А. П. Кондратьев (RU), А. Ф. Прищепов (RU), Н. А. Логинова (RU) патентообладатель Феде- ральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский универ- ситет "МЭИ" (RU). Заявка от 30.11.2010. Оpubл. 27.05.2012.

49. Пат. 2482146 Российская федерация, C09D5/00 C09D1/00 Высоко- температурное теплозащитное покрытие / Ю. А. Григорьев патентооблада- тель Общество с ограниченной ответственностью «ОВК-Россия» (RU). Заяв- ка от 31.08.2011. Оpubл. 20.05.2013.

50. Броня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nano34.ru/> Загл. с экрана.

51. Теплоизоляционные покрытия RE-THERM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://re-therm.ru/> Загл. с экрана.

52. Жидкая теплоизоляция Изоллат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isollat.ru/> Загл. с экрана.

53. Жидкая теплоизоляция Астратек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.astratek.ru/manual/rekomendatsii_astratek_fasad/ Загл. с экрана.

54. Жидкая сверхтонкая теплоизоляция АЛЬФАТЕК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alfatec.ru/> Загл. с экрана.

55. Покрытие "Термо-Шилд" – технологии энергосбережения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mosarchinform.ru/archiv/p2_articleid/12476 Загл. с экрана.

56. Ялховских, Д. С. К вопросу повышения энергоэффективности производства стеклянных микросфер / Д. С. Ялховских, В. А. Горбунов // Вестник ИГЭУ. – 2012 – № 1. – С. 1-3.

57. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые составы, наполненные стеклянными микросферами / В. И. Логанина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – №4. – С. 47-52.

58. Асланова, М. С. Полые неорганические микросферы / М. С. Асланова, В. Я. Стеценко, А. Ф. Шустров // Химическая промышленность за рубежом. – 1981. – №9. – С. 33-51.

59. 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.

60. Пашкевич, А. А. Эффективные цементные штукатурные растворы с полыми стеклянными микросферами: дис. ... канд .тех .наук: 05.23.05 / Анастасия Александровна Пашкевич. – Москва, 2009. – 141 с.

61. Дрожжин, В. С. Процессы образования, ресурсы и основные свойства полых микросфер в золах-уноса тепловых электростанций: дис. ... канд. тех. наук: 05.17.07 / Валерий Станиславович Дрожжин. – Саров, 2007. – 198 с.

62. Пат. 2036856 Российская федерация, C03B8/02 Раствор для изготовления полых стеклянных микросфер / Е. Ф. Медведев (RU), Б. Н. Илюшечкин (RU) патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт экспериментальной физики. Заявка от 03.07.1992. Оpubл. 09.06.1995.

63. Способ получения полых стеклянных микросфер: Авт. свид. на изобретение. АС SU 1451105. 1989.

64. Орешкин, Д. В. Полые микросферы – эффективный наполнитель для строительных и тампонажных растворов / Д. В. Орешкин, К. В. Беляев, В. С. Семенов // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 9. – С. 50-51.

65. Микросферы стеклянные полые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nzsv.ru/katalog/mikrosfery-steklyannye-polye.html>. Загл. с экрана.

66. Katz, H. S., Milewski J.V. Handbook of fillers and reinforcements for plastics. New York: Van Nostrand Reinhold Co. – 1978. – 652 с.

67. Орешкин, Д. В. Теплофизические свойства, пористость и паропроницаемость облегчённых цементных растворов / Д. В. Орешкин, К. В. Беляев, В. С. Семенов // Строительные материалы. – 2010. – № 8. – С. 51-54.

68. Орешкин, Д. В. Полые стеклянные микросферы и прочность цементного камня строительства / Д. В. Орешкин, К. В. Беляев, В. С. Семенов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – №11. – С. 45-47.

69. Ехаб Мохамед Хосни Рагаб. Жаростойкие легкие бетоны на композиционных вяжущих с полыми зольными микросферами: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2005. – 119 с.

70. Drozhzhin, V. S. Microspheres of natural silicates as fillers of composite materials / V.S. Drozhzhin, I.V. Piculin, R.E. Alexandrovich et. al. // J. Moscow Phys. Soc. – 1999. – №9. – P. 209-214.

71. Winnery, L. L. et. al. Expansel ® Foams: fabrication and Charakteriration of a New Reduced Density Cellular Material for Structural

Applications / Sandria Report, SAND 2000-8217 // Unlimited Release printed august 2000. – P. 31.

72. Tarun, R. N., Rudolph N. K., and Rafat S. Controlled Low Strength Materials Containing Mixtures of Coal Ash and New Pozzolanic Material, ACI Materials Journal. – 2003. – Vol. 100. – № 3. – May-June. – PP. 208-215.

73. Будов, В. В. Полые стеклянные микросферы. Применение, свойства, технология // Стекло и керамика. – 1994. – № 7–8. – С. 7–11.

74. Данилин, Л. Д. Полые микросферы из зол уноса электростанций / Л.Д. Данилин, В. С. Дрожжин, М. Д. Куваев, // Труды II Международной научно-практ. конф. «Экология в энергетике –2005». – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – С.196-202.

75. Красулин, Ю. Л. Пористая конструкционная керамика / Ю. Л. Красулин, А. Н. Асонов, С. М. Баринов. – М.: Металлургия, 1980. – 100 с.

76. 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 КузГТУ. – 2013. – №5. – С.86-90.

77. Розовская, Т. А. Облегченные сухие строительные смеси для кладочных работ с полыми керамическими микросферами: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Розовская Тамара Алексеевна. – Москва. – 2015. – 219 с.

78. Кизильштейн, Л. Я. Следы угольной энергетики / Л. Я. Кизильштейн //Наука и Жизнь. – 2008 – № 5.– С. 42-45.

79. Полые микросферы из зол-уноса – многофункциональный наполнитель композиционных материалов / Л. Д. Данилин, В. С. Дрожжин, М. Д. Куваев [и др.] // Цемент и его применение. – 2012. – № 4. – С. 100-105.

80. Самороков, В. Э. Использование микросфер в композиционных материалах / В. Э. Самороков, Е. В. Зелинская // Вестник ИрГТУ. – 2012. – Т. 68. – №9. – С. 201-205.

81. Влияние алюмосиликатных микросфер на физико-механические и реологические свойства жёстких пенополиуретанов / Л.П. Варламова, А.С.

Аверченко, Ю.Д. Семчиков [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2008. – Т. 81. – №3. – С. 502-504.

82. Композиционные материалы на основе алюмосиликатных микро-сфер в машиностроении / В.Э. Самороков, Е.В. Зелинская, Н.А. Толмачева [и др.] // Справочник. Инженерный журнал. – 2015. – №1. – С. 3-6.

83. Newell, H. E., Sinnatt F.S. The carbonization of coal in the form of fine particles. I the production of cenospheres // *Jornal Fuel in Science and Practice*. 1924. – №3. – P. 424-34.

84. Newell, H. E., Sinnatt F.S. The combustion of particles of coal in air. II The study of cenospheres // *Jornal Science and Practice*. – 1926. – №5. – P. 335-339.

85. Raask, E. Cenospheres in pulverized fuel ash // *Jornal of the Institute of fuel*. 1968. – V 43. – № 332. – Sept. – P. 339-344.

86. Rose, N. L. Inorganic flu-ash spheres as pollution tracers / N.L. Rose // *Environ. Pollut.* 1996. – V. 91(2). – P. 245-252.

87. Pandey, G.S., Gain V.K. Cenosphere-load in coal ash discharge of thermal power plant / *Res. Ind.* 1993. № 38 (2). – P. 99-100.

88. Сапелин, А. Н. Теплоизоляционно-конструкционные композиты с применением алюмосиликатных микро-сфер: дис. ... канд .тех .наук: 05.23.05 / Андрей Николаевич Сапелин. – Белгород, 2014. – 219 с.

89. Drozhzhin, V.S. Natural silicate microspheres. Properties and production methods / V.S. Drozhzhin, I.V. Pikulin, M.D. Kuvaev et.al. // *Moscow Phys.* 1999. – Soc. 9. – P. 215-222.

90. Drozhzhin, V. S. Technical monitoring of microspheres from fly ashes of electric power stations in Russian Federation / V.S Drozhzhin, I.V. Pikulin, M.D. Kuvaev et.al. // 2005 World of Coal Ash Conf. Lexington. Kentucky. USA. April 11-15, 2005. – P. 114.

91. Саградян, А. А. Исследование пуццоланической активности зольных микро-сфер / А. А. Саградян, Г. А. Зимакова // *Известия вузов. Строительство*. – 2012. – № 2. – С. 43–47.

92. Логанина, В. И. Перспективы развития производства полистирольной краски с органоминеральной добавкой / В. И. Логанина, Н.А. Петухова, Т.Н. Дмитриева, Т.С. Хананина // Труды международного симпозиума надежность и качество. 2009. – С. 209.

93. Логанина, В. И. Методика оценки качества защитно-декоративных покрытий цементных бетонов / В. И. Логанина, С.Н. Кислицына, Н.А. Петухова, М.А. Рябов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – С. 354.

94. Верхованцев, В. В. Водные краски на основе синтетических полимеров / В.В. Верхованцев. – М.: Изд. Химия, 1968. – 200 с.

95. Елисеева, Л. А. Критерии выбора лакокрасочных материалов для отделки фасадов / Л.А. Елисеева // Строительные материалы. – 2000. – № 10. – С. 8–10.

96. Ломакин, А.Д. Натурные климатические испытания защитных покрытий на древесине / А.Д. Ломакин // Жилищное строительство. – 2013. – № 9. – С. 41-46.

97. Казакова, Е. Е. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения / Е. Е. Казакова, О. Н. Скороходова – М.: Пэйнт-медиа. 2003. – 136 с.

98. Низина, Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т.А. Низина // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.

99. Логанина, В. И. Лакокрасочные материалы для строительных конструкций / В. И. Логанина, Л.П. Орендлихер // Российский Химический Журнал. Том XLVII (2003). – №4. – С. 63-73.

100. Ламбурн, Р. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика / Под ред. Р. Ламбурна ; Пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского, А.М. Фроста. СПб: Химия. С.-Петербург. отд-ние, 1991. – 509 с.

101. Крутько, Э. Т. Химия и технология лакокрасочных материалов и покрытий / Э. Т. Крутько, Н. Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2004. – 318 с.
102. Елисеева, Л. А. Акриловые строительные краски / Л.А. Елисеева // Строительные материалы. – 1999. – № 1. – С. 22-23.
103. Логанина, В. И. Известковые составы для реставрации и отделки зданий и сооружений / В. И. Логанина, О. А. Давыдова, О. В. Карпова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 4. – С. 280-283.
104. Завьялова, Н. Б. Исследование влияния природы наполнителей на прочностные свойства гетерофазных полимерных составов / Н. Б. Завьялова, В.Ф. Строганов, И.В. Строганов, А.С. Ахметшин // Известия КГАСУ. – 2007. – № 1. – С. 63-66.
105. Акулова М.В. Разработка штукатурных составов повышенной теплостойкости / М.В. Акулова, А.Н. Коллеров, О.В. Потемкина // Вестник МГСУ. – 2013. – №2. – С. 88-93.
106. Исаченко, В. П. Теплопередача: учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 485 с.
107. Малявина, Е. Г. Строительная теплофизика: учебное пособие / Е. Г. Малявина. – М.: МГСУ, 2011. – 152 с.
108. Чудновский А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 456 с.
109. Селяев, В. П. Фрактальность наноразмерной структуры природных диатомитов / В. П. Селяев, В. А. Неверов, Л. И. Куприяшкина // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 5. – С. 16–22.
110. Дульнев, Г. Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: Справочная книга / Г. Н. Дульнев, Ю. П. Заричняк – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

111. Жуков, А. Д. Технология теплоизоляционных материалов / А. Д. Жуков. – в 2 ч. М.: МГСУ, 2011. Ч. 1 – 395 с.

112. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита: монография / В.П. Селяев, В. А. Осипов, Л. И. Куприяшкина [и др.] – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – 220 с.

113. Дульнев, Г. Н. Процессы переноса в неоднородных средах / Г. Н. Дульнев, В.В. Новиков. – Л: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-е, 1991. – 248 с.

114. Корнеев, А. Д. Теплоизоляционные бетоны на основе лёгких заполнителей из кремнистых горных пород / А. Д. Корнеев, К. В. Проняев // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 11. – С. 98–99.

115. Дистанов, У. Г. Кремнистые породы СССР / У. Г. Дистанов – Казань: Татарское книжное издательство, 1976. – 412 с.

116. Демидов, И. Н. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования) / И. Н. Демидов, Т. С. Шелехова. – Карел. науч. центр Рос. акад. наук, Ин-т геологии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. – 87 с.

117. Пустовгар, А. П. Эффективность применения активированных диатомитов в сухих строительных смесях / А. П. Пустовгар // Строительные материалы. – 2006. – №10. – С. 62-64.

118. Логанина, В. И. Теплоизоляционные сухие строительные смеси с применением диатомита / В. И. Логанина, Е. Е. Симонов // Пенза : изд-во ПГУАС, 2013. – 127 с.

119. Логанина, В. И. Теплоизоляционные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №10 – С. 90-93.

120. Баранова, М. Н. История освоения кремнистых пород / М. Н. Баранова, С.Ф. Коренькова, Н.Г. Чумаченко // Строительные материалы. – 2011. – №8. – С. 4-6.

121. Логанина, В. И. Теплоизоляционные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита / В. И. Логанина, Р.В. Тарасов, Е.Е. Симонов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 75-79.

122. Жданов, С. П. Химия цеолитов / С. П. Жданов, Е. Н. Егорова. – Л.: Наука, 1968. – 158 с.

123. Синцов, А. В. Возможности цеолитовых технологий в утилизации и захоронении отходов [Электронный ресурс] / А. В. Синцов, С. Н. Коваленко // Сборник научных трудов кафедры географии Восточно-Сибирской государственной академии образования.- 2004. Режим доступа: <http://kafgeo.igpu.ru/web-text-books/geology/sintsov04.html>

124. Энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона [Электронный ресурс] Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz_efron/111875/Цеолиты.

125. Свиридов, В. П. Природные цеолиты минеральное сырье для строительных материалов / В. П. Свиридов, Г. И. Овчаренко // Строительные материалы. – 1999. – № 9. – С. 9-11.

126. Энциклопедия Кольера [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.slovopedia.com/14/214/1020814.html>.

127. Селяев, В. П. Использование цеолитосодержащих пород республики Мордовия в строительной индустрии [Электронный ресурс] / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, Г. Р. Нугаева // Строительство, архитектура, дизайн. 2009. Вып. 1(5). № 0421000075/022.

128. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордоия в 2013 году / Министерство лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовия; редкол. : В. Т. Шумкин, В. М. Максимкин, А. Н. Макейчев [и др.] – Саранск. – 2014. – 160 с.

129. Барановский, В. И. Полезные ископаемые Мордовии / В.И. Барановский. – Саранск: Мордгиз, 1935. – 75 с.

130. Жильцов, А. Г. Энциклопедия Мордовия [Электронный ресурс] / А. Г. Жильцов. – Режим доступа: http://www.mordovia.info/wiki/Атемарское_место-рождение_диатомита.

131. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Мордовия в 2003 году. – Саранск: Изд-во Морд, ун-та, 2005. – 220 с.

132. Ануфриев, А. Н. Полезные ископаемые Мордовской АССР / А. Н. Ануфриев. – Саранск: Мордов. кн. изд-во, 1985. – 59 с.

133. Акрэмос-101 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecochemical.biz/catalog/acrylic-dispersions/dispersii-dlya-lkm/59-production/137-acremos-101>. Загл. с экрана.

134. Пат. 2342415 Российская федерация, С09В5/02 С09D133/02 водно-дисперсионная краска / Т.А. Низина (RU), В.П. Селяев (RU), Н.О. Зубанкова (RU) патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" (RU). Заявка от 2007-11-12 Оpubл. 10.03.2009.

135. ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 11 с.

136. Гексаметафосфат натрия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://himoptovik.ru/geksametafosfat-natriya>. Загл. с экрана.

137. ТУ 2499-259-05757593-00 Биоцид Гидол.

138. Казакова, Е. Е. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения / Е. Е. Казакова, О. Н. Скороходова – М.: Пэйнт-медиа, 2003. – 136 с.

139. Диоксид титана для производства ЛКМ и пластмасс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bpc-chem.ru/products/pigments/917/1079/>. Загл. с экрана.

140. Дринберг, С. А. Растворители для лакокрасочных материалов: справочное пособие / С. А. Дринберг, Э. Ф. Ицко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1986. – 208 с.

141. Паспорт диэтиленгликоля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tk-april.ru/passdiethylene>. Загл. с экрана.

142. Уайт-спирит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lkm.su/node/122>. Загл. с экрана.

143. Орешкин, Д. В. Экструдированные облегчённые кладочные растворы / Д.В. Орешкин, В.С. Семёнов, П.В. Капцов // Вестник ТГАСУ. – 2012. – № 3. – С. 159–163.

144. 3M™ Glass Bubbles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://igc-market.ru/image/import_files/ae/K37%20микросферы_1.pdf. Загл. с экрана.

145. Селяев, В. П. Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в вакуумных теплоизоляционных панелях / В. П. Селяев, В. А. Неверов, О.Г. Маштаев // Magazine of Civil Engineering. – 2013. – № 7. – С. 15–25.

146. Наполнители активные (сажи белые). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tdbkh.ru/upload/iblock/800/%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%8B%D0%B5%20%D1%81%D0%B0%D0%B6%D0%B8.pdf>.

Загл. с экрана.

147. ИТС-1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.interpribor.ru/measuring-the-thermal-conductivity-its-1>. Загл. с экрана.

148. Хамханов, К. М. Основы планирования эксперимента / К.М. Хамханов / Методическое пособие для студентов специальностей 190800 «Метрология и метрологическое обеспечение» и 072000 «Стандартизация и сертификация (по отраслям пищевой промышленности)». – Улан-Уде: Изд-во ВСГТУ, 2001. – 50 с.

149. Селяев, В. П. Статистические методы планирования и анализа эксперимента в строительстве : учеб. пособие / В. П. Селяев, Т. А. Низина, А. Л. Лазарев. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – 140 с.

150. Анисимов, М. В. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих

покрытий / М.В. Анисимов, В.С. Рекунов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – № 9. – С. 15–22.

151. Манешев, И. О. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности и эффективности сверхтонких теплоизоляционных покрытий / И.О. Манешев, Ю.И. Правник, Р.А. Садыков, И.А. Сафин // Известия КГАСУ. –2013. – №1. – С. 135–142.

152. Определение коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции в лабораторных условиях / М.В. Павлов, Д.Ф. Карпов, А.А. Синицын [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2014. – №37. – С. 79-86.

153. Низина, Т. А. Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности жидкой теплоизоляции с учетом количества слоев и толщины покрытий / Т.А. Низина, В.П. Селяев, А.Е. Инин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016 – №7. – С. 6–11.

154. Панова, Л. Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие. Саратов. гос. техн.ун-т, 2002. – 72 с.

155. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: уч. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб: Профессия, 2008 – 560 с.

156. Инин, А. Е. Разработка эффективных составов наполненных полимерных связующих для жидких теплоизоляционных покрытий / А.Е. Инин, Т.А. Низина, В.А. Неверов // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та. – 2013. – С. 158–162.

157. Низина, Т. А. Разработка жидких энергосберегающих покрытий на основе местных минеральных наполнителей / Т.А. Низина, А.Е. Инин // Дол-

говечность строительных материалов, изделий и конструкций факторов : материалы Всеросс. науч.-техн. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та. – 2014. – С. 89–94.

158. Микроструктура перспективных теплоизоляционных материалов на основе диатомитов Среднего Поволжья / В.П. Селяев, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1(15). – С. 12–18.

159. Селяев, В. П. Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в производстве вакуумных теплоизоляционных панелей / В.П. Селяев, В.А. Неверов, О.Г. Маштаев, А.В. Колотушкин // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7 (42) – С 15-25 .

160. Полиструктурная модель теплоизоляционного материала на основе дисперсного микрокремнезема / В.П. Селяев, А.К. Осипов, В.А. Неверов [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №2(13). – С. 5–11.

161. Обзор связующих веществ в синтактных пенах для теплоизоляционных конструкций объектов энергетики /А.В., Рыженков, Н.А. Логинова, Е.В. Беляева [и др.] // Энергетическая безопасность Союзного государства : сборник материалов секции, 6 – 11 октября 2014 года / Белорусский национальный технический университет, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». – Минск : БНТУ, 2014. – С. 133–145.

162. Селяев, В. П. Климатические испытания фасадных красок на акриловой основе / В.П. Селяев, Т.А. Низина, Н.О. Зубанкова // Долговечность строительных материалов и конструкций / Материалы науч.-практ. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та. – 2005. – С. 36–41.

163. Низина, Т.А. Энергоэффективные жидкие теплоизоляционные покрытия на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей / Т.А. Низина, А.Е. Инин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №4. – С. 33-42.

164. Li B. Effect of microstructure and physical parameters of hollow glass microsphere on insulation performance / Li B. et al. // *Material Letters*. – 2011. – V. 65, no. 12, – pp. 1992–1994.

165. Низина, Т.А. Разработка жидких теплоизоляционных покрытий на основе местных минеральных наполнителей / Т.А. Низина, А.Е. Инин, В.М. Михайлова // *Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Ресурсо- и энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона»*. Саратов. – 2014. – С. 67-71.

166. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будивэльник, 1989. – 240 с.

167. Ляшенко, Т. В. Поля свойств строительных материалов (концепция, анализ, оптимизация) // *Прогнозирование в материаловедении: Мат-лы 41 междунар. сем.* – Одесса. – 2002. – С. 9-14.

168. Ляшенко, Т. В. Статистические испытания на полях свойств строительных материалов / Т.В. Ляшенко // *Зб. наук. пр. Луганського національного аграрного ун-ту.* – Луганск: Видавництво ЛНАУ. – 2004. – № 40(52). – С. 249-256.

169. Математические методы в строительном материаловедении / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.П. Прошин и др. Под ред. В.И. Соломатова. Саратов: Изд-во Саратов. Ун-та, 2001. – 188 с.

170. Низина, Т. А. Влияние обжига диатомита на теплофизические характеристики жидких теплоизоляционных покрытий / Т.А. Низина, А.Е. Инин, В.А. Неверов // *Известия ВУЗов. Строительство.* – 2016. – №1. – С. 24–30.

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



Общество с ограниченной ответственностью
Инжиниринговая конструкторская компания

430000, Республика Мордовия, г.Саранск, ул. Пролетарская, д.90а, тел./факс 834(2) 23-16-57 ИНН 1326203079,
 КПП 132601001, р/с 40702810623000410472 в Поволжском филиале ЗАО «Райффайзенбанк»
 г. Нижний Новгород, к/с 30101810300000000847, БИК 042202847

20.04.2016 г.

АКТ

опытно-производственного апробирования теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных наполнителей

Мы, нижеподписавшиеся, заместитель генерального директора ООО «ИКК» Седин С.Б., руководитель производственного участка ООО «ИКК» Бирюков О.В., профессор МГУ им. Н.П. Огарёва Низина Т.А., аспирант МГУ им. Н.П. Огарёва Инин А.Е., составили настоящий акт о том, что нами было произведено опытно-производственное апробирование теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей, разработанных на кафедре «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» Низиной Т.А., Ининым А.Е.. Состав теплоизоляционного покрытия содержит: стирол-акриловое связующее «Акрэмос-101» производства ООО ПКФ «ЭкоКемикал», водный раствор акрилового сополимера «Акрэмос-401» производства «ЭкоКемикал», диатомит (с. Атемар, Лямбирский район Республики Мордовия), белая сажа БС-100, стеклянные микросферы 3М Glass Bubbles, комплексные добавки.

Изготовленные теплоизоляционные покрытия были использованы для теплоизоляции стен производственного цеха (70 м^2) и части трубопровода тепловой сети. Составы теплоизоляционных покрытий обладают комплексом следующих физико-механических характеристик: теплопроводность – $0,045-0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\times\text{К})$; средняя плотность в сухом состоянии $320-380 \text{ кг}/\text{м}^3$; средняя плотность в жидком состоянии $490-570 \text{ кг}/\text{м}^3$; адгезионная прочность $0,9-1,2 \text{ МПа}$. Составы теплоизоляционных покрытий наносились ручным способом. Общее количество отделанной поверхности составило около 180 м^2 .

Зам. генерального директора
 ООО «ИКК»

Руководитель производственного
 участка ООО «ИКК»

Профессор кафедры «Строительные
 конструкции» МГУ им. Н.П. Огарёва

Аспирант кафедры «Строительные
 конструкции» МГУ им. Н.П. Огарёва



С.Б. Седин

О.В. Бирюков

Т.А. Низина

А.Е. Инин



Общество с ограниченной ответственностью
Инжиниринговая конструкторская компания

УТВЕРЖДАЮ

Зам. генерального директора

ООО «ИКК»

С.Б. Седин

« 20 » апреля 2016 г.



ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Технические условия

Саранск 2016

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ**Технические условия**

Введён

впервые

Дата введения 20.04.2016 г.**1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает организацию, порядок и контроль производства теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей, предназначенных для теплоизоляции зданий и сооружений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом регламенте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

- ГОСТ 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования.
- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-технические требования к воздуху рабочей зоны;
- ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия.
- ГОСТ 31913-2011 Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения;
- ГОСТ 31992.1-2012 Материалы лакокрасочные. Метод определения плотности;
- ГОСТ 7076-99 Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме;
- ГОСТ Р 52020-2003 Материалы лакокрасочные водно-дисперсионные. Общие технические условия;
- ГОСТ 28574-2014 Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий;

- ГОСТ 18307-78 Сажа белая. Технические условия;
- ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы;
- ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы;
- ТР 149/1-05 Технические рекомендации по технологии применения комплекса отделочных материалов при реконструкции и капитальном ремонте внутренних поверхностей зданий.

3 Технические требования

3.1 Теплоизоляционные покрытия должны соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

3.2 Требования к материалам

3.2.1 Для приготовления составов следует применять материалы:

- стирол-акриловое связующее Акрэмос-101 производства «ЭкоКемикал»;
- водный раствор акрилового сополимера «Акрэмос-401 производства «ЭкоКемикал»;
- диэтиленгликоль по ГОСТ 10136-77;
- полифосфат натрия по ГОСТ 20291-80;
- уайт-спирит по ГОСТ 3134-78;
- диатомит ТУ 5761-001-59266087-2005;
- белая сажа по ГОСТ 18307-78;
- микросферы производства 3М Glass Bubbles.

3.3 Характеристики

3.3.2 Основные показатели теплоизоляционных покрытий должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

3.3.3 При необходимости могут быть установлены дополнительные показатели по условиям контракта.

Таблица 1

Нормы и требования, предъявляемые к теплоизоляционным составам

№ п/п	Наименование показателей	Норма	Нормативный документ
1	Теплопроводность ТП, Вт/(м×К)	Не более 0,07	ГОСТ 7076-99
2	Время высыхания до степени 3 при температуре (20 ± 2) С, ч	Не более 1	ГОСТ 19007
3	Плотность ТП, кг/м ³	Не более 400	ГОСТ 16381-77
4	Массовая доля нелетучих веществ, %	Не менее 50	ГОСТ 17537
5	Эластичность при изгибе, мм	Не менее 1	ГОСТ 6806-73
6	Стойкость к статическому воздействию воды при температуре (20 ± 2) °С, ч	Не менее 12	ГОСТ 9.403
7	Адгезия покрытия к: бетонной поверхности, МПа металлической поверхности, бал	Не менее 0,7 Не менее 1	ГОСТ 28574-2014 ГОСТ 15140-78

4 Технология изготовления теплоизоляционных покрытий

4.1 Рецепттура составов теплоизоляционных покрытий (мас. %) приведена в таблице 2.

4.2 Технология изготовления ТП.

4.2.1 Компоненты составов поступают в цех со склада.

4.2.2 Дозировка добавок производится по весу.

Таблица 2

Рецептура составов теплоизоляционных покрытий

Наименование компонентов	Содержание, %
Водная эмульсия сополимера стирола и акриловых мономеров «Акрэмос-101»	17,5-22,46
Водный раствор акрилового сополимера «Акрэмос-401»	4,28-5,46
Диэтиленгликоль	10,27-13,10
Полифосфат натрия	3,85-4,91
Уайт-спирит	2,57-3,27
Диатомит	6,06-13,63
Белая сажа	3,06-5,12

4.2.3 Технологию производства ТП можно разделить на 4 основных операции: приготовление полуфабриката (водного раствора вспомогательных добавок и пигментов); диспергирование в полуфабрикate минеральных наполнителей; сме-

шение пигментной пасты с пленкообразующей дисперсией; ввод микросфер и розлив в тару.

4.2.4 При несоответствии отдельных показателей теплоизоляционных покрытий требованиям стандарта ООО «ИКК» производится постановка материала на коррекцию состава.

4.2.5 Из смесительного модуля готовый состав ТП, соответствующий требованиям стандарта ООО «ИКК», направляют в модуль упаковки и выдачи, где предусматривается его дозирование и расфасовка.

4.2.6 Фасовка ТП предусмотрена в герметично закрывающиеся пластиковые ведра емкостью 10 и 20 л. Упакованная продукция отправляется на склад готовой продукции.

5 Технология нанесения теплоизоляционного покрытия

5.1 Подготовка бетонных поверхностей

5.1.1 При подготовке поверхностей к отделке выполняют следующие технологические операции:

- очистка поверхности;
- упрочнение слабых осыпающихся оснований и огрунтовка очищенной поверхности;
- обработка специальными материалами мест примыканий разнородных материалов в углах, потолков и стен и т.д.;
- восстановление поврежденных участков, заполнение трещин и раковин;
- выравнивание стен;
- очистка и обеспыливание.

5.1.2 Поверхности, подлежащие отделке, должны быть очищены от пыли, грязи, брызг, потеков раствора, жировых пятен и высолов.

5.1.3 Поврежденные места (сколы, раковины диаметром более 3 мм, трещины) огрунтовывают и затирают полимерцементным раствором из сухой смеси марки не ниже 100 - 150 или специальным раствором на основе сухих смесей.

5.1.4 Для выравнивания поверхностей конструкций и заделки раковин, трещин, неровностей глубиной до 2 мм применяются шпатлевочные составы на основе сухих специализированных смесей.

5.1.5 При 90 % разрушения покрытий (наличие потерявших сцепление и вяжущие свойства штукатурок, присутствие продуктов разрушения кирпича, сетки трещин и отслоения лакокрасочных материалов, пыли, грязи и т.д.):

- удалить все отделочные слои механическим или химическим (с применением смывок) способом, которые наносятся кистью или щеткой. После разрыхления или вспучивания старого покрытия его удаляют щеткой или шпателем;

- раковины, сколы, неровности обработать грунтовкой и отремонтировать раствором на основе штукатурной полимерцементной смеси.

5.1.6 При 10 %-ном разрушении покрытия (фрагментарное наличие трещин, отслоений):

- трещины расшить металлическим шпателем, обеспылить и загрунтовать;

- произвести частичную затирку трещин, раковин, сколов полимерцементным раствором или специальными шпатлевочными составами (ровнителями на основе сухих смесей);

- отремонтированные места отшлифовать шкуркой, обработать струей сжатого воздуха.

5.1.7 Если старое лакокрасочное покрытие обладает хорошей адгезией к основанию и практически не имеет дефектов, то необходимо проверить совместимость нового покрытия с краской, сделав опытную выкраску фрагмента поверхности.

5.1.8 За время межоперационных технологических перерывов необходимо исключить попадание загрязнений, осадков и других агрессивных компонентов на подготовленную поверхность.

5.2 Подготовка металлических поверхностей

5.2.1 Основной целью подготовки поверхности является удаление с нее веществ, препятствующих окрашиванию и ускоряющих коррозионные процессы, а также получение поверхности, обеспечивающей требуемую адгезию с металлической подложкой лакокрасочного покрытия.

5.2.2 Подготовка поверхности состоит из ряда операций, первой из которых является очистка от загрязнений. Очистку допускается проводить механическими и химическими (при помощи питьевой воды и растворителей) методами.

5.2.3 Механическую очистку поверхности изделий проводят при помощи ручного и механизированного инструментов, специального оборудования, а также методом струйной абразивной обработки.

5.2.4 Ручную очистку проводят с использованием проволочных щеток, шпателей, скребков, абразивных шкурок, молотков для скалывания ржавчины.

5.2.5 Механизированную очистку проводят с использованием вращающихся проволочных щеток, различного типа шлифовальных приспособлений, отбойных молотков, игольчатых пистолетов.

5.2.6 Участки поверхности, не доступные для обработки механизированным инструментом, подготавливают вручную. Очистку проводят так, чтобы отсутствовали какие-либо повреждения или дефекты поверхности (риски, вмятины и т.п.).

5.2.7 Абразивная струйная очистка сжатым воздухом осуществляется путем подачи абразива в поток воздуха, подаваемого с высокой скоростью из сопла на очищаемую поверхность. Абразив может быть впрыснут в воздушный поток из сосуда, находящегося под давлением, или увлечен воздушным потоком в процессе засасывания из сосуда, не находящегося под давлением. В воздушно-абразивный поток допускается добавлять небольшое количество воды для устранения пыли в диапазоне размера взвешенных частиц менее 50 мкм. Расход воды составляет 15-25 дм³/ч.

5.2.8 В качестве растворителей для обезжиривания поверхности используют трихлорэтилен стабилизированный, тетрахлорэтилен (перхлорэтилен), уайт-спирит (нефрас-С4-155/200), нефрас-С 50/170.

5.2.9 Для придания поверхности дополнительной коррозионной стойкости после очистки проводят специальную химическую подготовку поверхности: фосфатирование, хроматирование, пассивирование. В результате химической подготовки поверхности формируются неорганические неметаллические покрытия, повышающие адгезию и срок службы последующего покрытия.

5.2.10 Не допускается попадание на подготовленную поверхность изделия воды, коррозионно-активных жидкостей и их паров. После подготовки поверхности изделия незамедлительно окрашивают. При необходимости хранение изделий

после подготовки поверхности проводят при условиях, исключающих загрязнение поверхности и коррозию.

5.2.11 На поверхностях изделий, подлежащих подготовке к окрашиванию, не допускаются заусенцы, острые кромки радиусом менее 2,0 мм, сварочные брызги, наплывы пайки, прижоги, остатки флюса.

5.3 Нанесение теплоизоляционного покрытия

5.3.1 Приготовление рабочего состава теплоизоляционного покрытия заключается в тщательном его перемешивании в заводской упаковке в течение не менее 3-5 минут электро- или пневмомиксером (допустимая скорость вращения насадки не более 50 об/мин) до однородной консистенции непосредственно перед применением. Допускается добавление дистиллированной воды не более 5% от объема.

5.3.2 ТП наносят на высушенные поверхности кистью или краскораспылителем равномерно без пропусков. Краскораспылитель следует держать перпендикулярно поверхности на расстоянии 0,4 - 0,6 м в зависимости от формы факела и вязкости распыляемого материала. Количество слоев ТП определяется теплотехническим расчетом или рекомендациями изготовителя.

5.3.4 Нанесение второго и последующих слоев теплоизоляционного покрытия производится после высыхания предыдущего слоя (не менее 12 часов).

5.3.5 По окончании окраски всю аппаратуру и оборудование для приготовления и нанесения ТП необходимо незамедлительно промыть водой.

6 Упаковка и маркировка

6.1 Составы теплоизоляционных покрытий, предназначенные для розничной торговли, должны быть упакованы в потребительскую тару, при этом вместимость полиэтиленовых банок должна быть от 10 до 20 л.

6.2 Маркировку следует наносить на каждую упаковочную единицу. Маркировка должна быть четкой и нанесена несмываемой краской.

6.3 Маркировка на каждой упаковочной единице должна содержать следующую информацию:

- наименование и/или товарный знак и адрес предприятия-изготовителя;
- дату изготовления (месяц, год);
- наименование страны-изготовителя;

- обозначение нормативного документа (НД) или технического документа (ТД) на материал;
- номер партии;
- правила и условия безопасного хранения, транспортирования, использования и утилизации материала;
- меры предосторожности при обращении с материалом;
- основные потребительские свойства или характеристики материала;
- назначение и способ применения;
- срок хранения, мес;

7 Требования безопасности и охраны окружающей среды

7.1 Исходные материалы для изготовления ТП используют только при наличии санитарно-эпидемиологических заключений.

7.2 Безопасность работ, связанных с производством, испытанием и применением материалов - по ГОСТ 12.3.002-2014 и ГОСТ 12.3.005-75.

7.3 Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны осуществляют по ГОСТ 12.1.005-88.

7.4 Определение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны проводят по ГОСТ 12.1.005-88 и ГОСТ 12.1.016-79.

7.5 Все работы, связанные с изготовлением и нанесением ТП в помещениях, должны проводиться при работающих общеобменной приточно-вытяжной и местной вентиляциях по ГОСТ 12.4.021-75.

7.6 С целью охраны атмосферного воздуха от загрязнения выбросами вредных веществ предприятий должен быть организован контроль за соблюдением нормативов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, установленных в соответствии с требованиями в области охраны атмосферного воздуха.

7.7 С целью охраны окружающей среды от загрязнения сточными водами должен быть организован производственный экологический контроль за соблюдением установленных нормативов предельно допустимого сброса загрязняющих веществ в сточные воды.

7.8 Все жидкие отходы, образующиеся при фильтровании ТП, промывании оборудования и коммуникаций, в виде загрязненных сточных вод возвращают в

производство, обезвреживают или собирают в специальный контейнер и отправляют на утилизацию.

7.9 Размещение, хранение и обезвреживание отходов, образующихся при очистке оборудования и тары, осуществляют в порядке, установленном нормативными правовыми актами в области обращения с отходами производства и потребления.

8 Правила приемки

8.1 Приемка теплоизоляционных покрытий проводится партиями. За партию принимают количество однородного по качеству и цвету теплоизоляционного материала, полученного за один технологический цикл и сопровождаемого одним документом о качестве.

8.2 Документ о качестве должен содержать следующие данные:

- наименование предприятия-изготовителя и его товарный знак или только его товарный знак;
- наименование, марку и цвет материала, сорт;
- массу нетто;
- номер партии;
- дату изготовления;
- результаты проведенных испытаний или подтверждение о соответствии материалов требованиям нормативно-технической документации;
- вид тары и количество единиц упаковки в партии;
- обозначение нормативно-технического документа.

8.3 Для проверки состояния упаковки, правильности маркировки, проверки массы нетто, качества продукции от партии теплоизоляционного материала отбирают случайную выборку.

Отбор проб осуществляют по ГОСТ 9980.2-86.

9 Методы испытаний

9.1 Отбор проб осуществляется по ГОСТ 9980.2-86.

9.2 Образцы для испытаний подготавливают по ГОСТ 8832-76.

9.3 Эластичность плёнки при изгибе определяют по ГОСТ 6806-73.

9.4 Адгезию покрытия к бетонной поверхности определяют по ГОСТ 28574-2014.

9.5 Стойкость покрытия к статическому воздействию воды при 20 °С за 24 часа определяют по ГОСТ 9.403-80.

9.6 Адгезию покрытия к металлическим поверхностям определяют по ГОСТ 15140-78.

9.7 Теплопроводность теплоизоляционных покрытий определяют по ГОСТ 7076-99.

9.8 Плотность теплоизоляционных покрытий в сухом состоянии определяют по ГОСТ 15139-69.

9.9 Плотность теплоизоляционных покрытий в жидком состоянии определяют по ГОСТ 31992.1-2012.

9.10 Массовую долю нелетучих веществ определяют по ГОСТ 31939-2012.

9.11 Определение предполагаемого срока службы покрытия проводят по ГОСТ 9.401-91.

9.12 Паропроницаемость определяют по ГОСТ 28575-90.

9.13 Водопоглощение теплоизоляционных составов определяют по ГОСТ 25898-2012.

10 Транспортирование и хранение

10.1 Транспортирование

10.1.1 Составы ТП в транспортной таре или в специализированных контейнерах транспортируют всеми видами транспорта (железнодорожный, автомобильный, водный, воздушный) в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на данном виде транспорта.

10.1.2 Применяемые способы транспортирования покрытий должны исключать возможность попадания в них атмосферных осадков, а также обеспечивать сохранность упаковки от механического повреждения и нарушения целостности. ТП транспортируют при температуре выше 5 °С.

10.2 Хранение

10.2.1 Теплоизоляционные покрытия следует хранить в хорошо вентилируемом сухом помещении при температуре от +5°С до +40°С в нераспечатанной за-

водской таре. Не допускаются механические повреждения тары и воздействие прямых солнечных лучей.

10.2.2 Гарантийный срок хранения упакованных смесей при хранении в соответствии с 10.2.1 – 6 мес. со дня изготовления.

По истечении срока хранения покрытие должно быть проверено на соответствие требованиям настоящего стандарта и/или нормативных или технических документов на смеси конкретных видов. В случае соответствия требованиям настоящего стандарта теплоизоляционное покрытие может быть использовано по назначению.

11 Гарантии изготовителя

11.1 Изготовитель гарантирует соответствие теплоизоляционных покрытий требованиям настоящего стандарта при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения и применения.

11.2 По истечению гарантийного срока хранения теплоизоляционное покрытие должно быть проверено на соответствие требованиям настоящего стандарта. В случае соответствия требованиям стандарта теплоизоляционное покрытие может быть использовано по назначению.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»

Доктор филологических наук, доцент

А.Ю. Маслова

2016 г.



СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационной работы Инина А.Е.
«Разработка составов теплоизоляционных покрытий на основе
тонкодисперсных минеральных наполнителей»**

Результаты диссертационной работы Инина Андрея Евгеньевича на тему «Разработка составов теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей» используются в учебном процессе на архитектурно-строительном факультете Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство» (профили «Промышленное и гражданское строительство», «Городское строительство и хозяйство»).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований теплоизоляционных покрытий на основе тонкодисперсных минеральных наполнителей используются в программах преподавания лекционных, практических и лабораторных занятий по курсам: «Долговечность строительных конструкций, зданий и сооружений», Проектирование многослойных ограждающих конструкций».

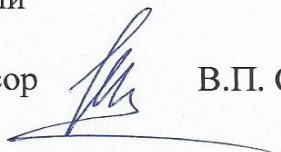
Полученные результаты в диссертационной работе Инина А.Е. включены в программы магистратуры по направлению подготовки 080401 «Строительство» (профиль «Фундаментальные основы прогнозирования и повышения надежности, долговечности строительных материалов, конструкций зданий и сооружений») для следующих дисциплин: «Долговечность строительных материалов и конструкций», «Фундаментальные основы сопротивления материалов химическим и физическим воздействиям», «Расчет железобетонных конструкций

на климатические воздействия». Алгоритмы и методы оптимизации композиционных строительных материалов используются в курсе «Теория эксперимента» при подготовке магистров по специальности «Строительство».

Заведующий кафедрой «Строительные конструкции»

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва»

академик РААСН, д-р техн. наук, профессор




В.П. Селяев

Председатель научно-методического совета
архитектурно-строительного факультета

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва»

канд. техн. наук, доцент



В.В. Ерастов