

На правах рукописи

САЛЬНИКОВА Анжелика Игоревна

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ И
КОМПОЗИТОВ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Пенза – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
академик РААСН
Ерофеев Владимир Трофимович

Официальные
оппоненты: **Салихов Мухаммет Габдулхаевич**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
технологический университет», профессор
кафедры «Строительные технологии и
автомобильные дороги»

Руденский Андрей Владимирович
доктор технических наук, профессор,
ФАУ «Российский дорожный научно-
исследовательский институт» Министерства
транспорта Российской Федерации, главный
специалист

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «**Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет (МАДИ)**»

Защита состоится 9 февраля 2018 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, корп. 1, конференц-зал.

С авторефератом и диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/d-212-184-01/2-uncategorised/89-173-salnikova-anzhelika-igorevna>.

Автореферат разослан 9 декабря 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Сергей Васильевич
Бакушев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одной из приоритетных задач в Российской Федерации является развитие транспортной инфраструктуры. В соответствии с транспортной стратегией общая протяженность дорожной сети автодорог РФ должна увеличиться к 2030 году в 1,7 раза. В настоящее время в России доминирующими среди усовершенствованных типов покрытий автомобильных дорог являются асфальтобетонные.

Основным структурирующим компонентом асфальтобетонной смеси является битум нефтяной дорожный вязкий. Качество битума в значительной степени определяет срок службы дорожных асфальтобетонных покрытий, поскольку все характерные особенности свойств асфальтобетона как термопластичного материала определяются свойствами битума. Практика показывает, что выпускаемые нефтеперерабатывающими заводами РФ битумы очень часто не соответствуют требованиям ГОСТ 22245–90, что особенно относится к таким показателям, как адгезия, теплостойкость, температура хрупкости и растяжимость.

На сегодняшний день главной задачей дорожной отрасли является увеличение продолжительности службы дорожных покрытий за счет применения новых разработок, отвечающих современному уровню требований к эксплуатационной надежности. Одним из перспективных направлений повышения качества и срока службы верхних слоев асфальтобетонных покрытий является использование в их составе битумных вяжущих с добавлением специальных модификаторов, полимеров, поверхностно-активных веществ, улучшающих физико-механические свойства. Дорожное асфальтобетонное покрытие на их основе способно обеспечивать необходимую температурную трещиностойкость, высокую адгезионную стойкость, теплостойкость, сдвигоустойчивость и долговременную прочность в процессе эксплуатации и соответственно является более надежным и безопасным для движения транспорта. Так, использование полимерных добавок в дорожном строительстве снижает затраты на содержание и ремонт автомобильных дорог на 30 %.

Как и большинство строительных материалов, композиты на основе битумных вяжущих подвержены сложному и многогранному механизму биоповреждения и по этой причине нуждаются в защите от биодеградации. Кроме того, в процессе эксплуатации дорожных покрытий происходит негативное воздействие различных факторов, таких как кислород, температура воздуха, вода и солнечный свет, которое усиливается в климатических зонах морского побережья. Эти факторы увеличивают степень биокоррозии асфальтобетонов, которая усиливается в результате предварительного старения материалов. Поэтому разработка модифицированных битумных вяжущих, противостоящих биокоррозии, оставаясь при этом

стойкими в условиях воздействия различных климатических факторов, является актуальной научной и прикладной задачей.

В РФ освоение инновационных технологий строительства предусмотрено планом «О транспортной стратегии РФ на период до 2030 года» (распоряжение Правительства РФ от 11.06.2014 г. № 1032-р).

Работа выполнена в рамках гранта РААСН «Биокоррозия в почвенных условиях битумных и других органических веществ» (2011–2012 гг.), проекта «Разработка составов битумных и полимерно-битумных композитов с повышенными физико-механическими характеристиками, стойких к биологическому разрушению и воздействию различных климатических факторов» (гос. контракт с Правительством Республики Мордовия № 17-ГК/2013), гранта РААСН «Исследование механизмов деструкции и разработка способов повышения стойкости строительных композитов на основе цементных и полимерных связующих, металлических материалов в агрессивных климатических условиях» (2013–2015 гг.), гранта РФФИ № 13-08-97171 «Исследования в области создания новых полимербетонов, каркасных фибробетонов, бетонов различного фракционного состава с биоцидными добавками для организации промышленного производства строительных изделий с повышенной долговечностью, биологической и климатической стойкостью на предприятиях Республики Мордовия» (2014 г.).

Степень разработанности. Изучению структуры и свойств материалов на основе нефтяных битумов посвящены работы П. В. Сахарова, Н. Н. Иванова, И. М. Грушко, В. А. Золотарева, Б. И. Ладыгина, И. В. Королева, А. С. Колбановской, Н. В. Михайлова, А. И. Лысихиной, А. М. Богуславского, И. М. Руденской, D. Colwill, J. McQuillen и др.

Вопросам применения в дорожном строительстве полимерно-битумных вяжущих посвящены работы Л. Б. Гезенцвея, Н. В. Горелышева, Л. М. Гохмана, В. А. Золотарева, С. К. Илиополова, Ю. И. Калгина, Г. Н. Кирюхина, А. С. Колбановской, И. В. Королева, В. П. Лаврухина, В. И. Микрина, Б. Г. Печеного, С. И. Романова, И. А. Рыбьева, А. В. Руденского, В. Г. Хозина, М. Г. Салихова и др.

Особенности получения и свойства модифицирующих добавок, их влияние на свойства битумов и материалов на его основе нашли отражение в работах А. С. Колбановской, В. В. Михайлова, А. Дж. Хойберга, М. И. Кучмы, И. В. Королева, А. П. Платонова, Л. М. Гохмана и др.

В последние годы над вопросами повышения долговечности модифицированных битумов, биостойкости и климатической стойкости работают следующие отечественные исследователи: В. Т. Ерофеев, Ю. И. Калгин, В. Ф. Смирнов, А. И. Ликомаскин, Д. А. Петрунин, С. П. Пронькин, В. Г. Хозин, В. В. Ядыкина и др.

Несмотря на большое количество исследований, на сегодняшний день проблема разработки битумных вяжущих, обеспечивающих долговечность асфальтобетонных покрытий, до сих пор остается открытой в дорожной отрасли. В частности, недостаточно изученными остаются проблемы воздействия мицелиальных грибов и климатических факторов на битумные вяжущие и композиты, в том числе модифицированные.

Цель и задачи. Целью диссертационной работы является разработка научных основ формирования структуры, состава и свойств модифицированных битумных вяжущих и композитов, стойких к биологическому разрушению, воздействию морской воды и климатических условий Черноморского побережья.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Сделать обзор отечественной и зарубежной литературы по исследованиям в области технологии получения модифицированных битумных композитов, долговечности в условиях воздействия биологических агрессивных сред, морской воды и различных климатических факторов морского побережья. Провести анализ методов модифицирования битумных вяжущих, применяемых в России и за рубежом, и на его основе выбрать модификаторы, полимерные соединения и поверхностно-активные добавки для улучшения физико-механических свойств, био- и климатической стойкости.

2. Выявить механизм взаимодействия битумного вяжущего с модификаторами различной природы и модифицированных вяжущих с минеральными наполнителями.

3. Получить количественные зависимости технологических и физико-механических свойств модифицированных битумных вяжущих и композитов на их основе от рецептурных факторов и рациональные составы материалов, пригодных для изготовления качественных композитов для дорожных покрытий.

4. Определить стойкость модифицированных битумных композитов в условиях воздействия мицелиальных грибов и продуктов метаболизма грибов и бактерий.

5. Получить рациональные составы битумных композитов, стойких к биологическому разрушению и воздействию климатических факторов.

6. Исследовать процессы старения битумных композитов в различных эксплуатационных средах.

7. Установить видовой состав микрофлоры, выделенной с асфальтовых вяжущих на основе модифицированных битумов, экспонированных в условиях влажного морского климата Черноморского побережья, а также после старения в морской воде.

8. Внедрить результаты, полученные в ходе выполнения работы, для гидроизоляции фундаментов зданий, а также при устройстве верхних слоев асфальтобетонного покрытия.

Научная новизна работы.

1. Научно обоснованы и экспериментально подтверждены выбор модификаторов и полимеров для получения составов модифицированных битумных вяжущих, стойких к биологическому разрушению и воздействию климатических факторов.

2. Установлены зависимости влияния условий экспозиции и составов модифицированных битумных вяжущих на разнообразие видового состава мицелиальных грибов, заселяющихся на поверхности образцов материалов.

3. Установлены зависимости изменения физико-механических и реологических свойств модифицированных битумных вяжущих от вида и содержания модификатора.

4. Выявлено влияние вида и количества вводимых модифицирующих добавок, природы и содержания минеральных наполнителей на биостойкость битумных композитов.

5. Установлены количественные зависимости изменения физико-механических свойств битумных композитов при экспозиции в условиях воздействия биологических агрессивных сред и продуктов их метаболизма.

6. Установлены количественные зависимости изменения свойств битумных композитов при экспонировании в морской воде, в условиях ультрафиолетового облучения, солевого тумана, повышенной и переменной влажности.

7. Экспериментально подтверждено влияние вида и содержания добавок на процессы структурообразования битумных композитов с помощью метода инфракрасной спектроскопии, а также на стойкость в условиях воздействия агрессивных климатических факторов морского побережья

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Расширение номенклатуры модифицирующих компонентов, используемых для повышения качества битумов, за счет применения продуктов конденсации олеиновой кислоты с этиленовыми полиаминами марки «Олазол», с диэтаноламином и борной кислотой марки «Телаз» и др.

2. Подобраны и оптимизированы эффективные составы модифицированных битумных композитов, обладающих биологической и климатической стойкостью.

3. Получены асфальтовые мастичные и мелкозернистые композиты на основе модифицированных битумных связующих. Поданы в ФГБУ

«Федеральный институт промышленной собственности» заявки на получение патентов на изобретения РФ № 2017119760 от 30.03.2017 г. «Модифицированный битум» и № 2017119551 от 05.06.2017 г. «Асфальтобетонная смесь (варианты)».

4. Разработана форма для изготовления образцов из асфальтобетонной смеси и асфальтового вяжущего. Получен патент на изобретение РФ № 2593065 «Форма для изготовления асфальтобетонных образцов».

5. Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», в лекционных курсах, на лабораторных и практических занятиях по дисциплинам «Строительные материалы», «Технология строительных процессов», «Технология и организация строительства автомобильных дорог» для подготовки бакалавров по направлению 08.03.01 – «Строительство», магистров по направлению 08.04.01 – «Строительство», специалистов по направлению 08.05.01 – «Строительство уникальных зданий и сооружений».

6. Результаты исследований долговечности материалов на основе модифицированных битумных вяжущих могут быть использованы для применения в условиях воздействия биологически агрессивных сред и климатических факторов.

Методология и методы исследования.

Методология исследования диссертационной работы включает системный подход с учетом основной цели и всех аспектов поставленных задач исследований с учетом выделения главного и существенного с перспективой дальнейшего развития научных основ формирования структуры, состава и свойств модифицированных битумных вяжущих и композитов, стойких к биологическому разрушению, воздействию морской воды и климатических условий Черноморского побережья.

В методологии объектом исследований являлись битумные вяжущие, полученные с использованием модификаторов, полимерных и адгезионных добавок. Предмет исследования – разработка составов модифицированных битумных вяжущих, стойких к биологическому разрушению и воздействию климатических факторов.

Методологической основой диссертационного исследования служат научные разработки отечественных и зарубежных ученых в области строительного материаловедения, общенаучные методы, базирующиеся на обобщении, эксперименте, сравнении и анализе полученных данных.

При проведении исследований использовались стандартные средства измерений и методы исследований: физико-механические, спектральные, климатические, биологические, технологические и математические методы.

Положения, выносимые на защиту.

1. Теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение получения модифицированных битумных вяжущих, обладающих улучшенной биологической и климатической стойкостью.

2. Выявление характера влияния добавок марок «Телаз», «Адгезол» № 4, ДАД-1 на физико-механические свойства и продукта конденсации олеиновой кислоты с этиленовыми полиаминами марки «Олазол» на реологические и физико-механические свойства модифицированных вяжущих и композитов на их основе.

3. Рациональные составы модифицированных битумных и полимерно-битумных вяжущих.

Степень достоверности результатов исследований. Достоверность результатов исследований обеспечена использованием государственных стандартов, нормативных документов, широкого спектра методов исследований с применением сертифицированного и поверенного высокотехнологичного оборудования, применением современных методов исследования, сходимостью теоретических и экспериментальных исследований и воспроизводимостью результатов при большом объеме экспериментов.

Личный вклад автора. Вклад автора состоит в формулировании цели и задач исследований, в непосредственном участии на всех этапах диссертационного исследования: реализация плана теоретических и экспериментальных исследований, проведение испытаний битумных вяжущих и композитов на их основе, разработка лабораторного устройства, обработка полученных экспериментальных данных, подготовка научных статей, оформление заявок на изобретения и внедрение результатов.

Апробация работы. Результаты исследований использованы для гидроизоляции фундаментов зданий ООО «Строительно-монтажное Управление 27». Форма для изготовления асфальтобетонных образцов используется в лаборатории строительных материалов ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» и лаборатории дорожного контроля ГКУ «Управление автомобильных дорог Республики Мордовия». Основные положения и результаты диссертационной работы представлены и доложены на следующих международных и российских конференциях: Международном форуме «Экологическая реконструкция и оздоровление окружающей среды» (г. Санкт-Петербург, 2012 г.); республиканском конкурсе научных работ и инновационных идей (г. Саранск, 2013 г.); научной конференции «XLI Огаревские чтения» (г. Саранск, 2013 г.); научно-технической конференции «Разработка эффективных авиационных промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов» (г. Са-

ранск, 2013 г.); XVIII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва (г. Саранск, 2014 г.); XIII Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства» (г. Саранск, 2014 г.); Всероссийской научной конференции «Градостроительство, инфраструктура, коммуникации» (г. Воронеж, 2014 г.); XVIII Международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении и проблемы исследования и проектирования машин» (г. Пенза, 2015 г.); научно-технической конференции ФГУП «ВИАМ» «Фундаментальные исследования и последние достижения в области защиты от коррозии, старения и биоповреждения материалов и сложных технических систем в различных климатических условиях» (г. Геленджик, 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» (г. Пенза, 2016 г.); Международных академических чтениях РААСН «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения» (г. Курск, 2016 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 19 научных статей (в том числе пять статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК России). Получен 1 патент на изобретение в Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 194 наименования российских и зарубежных авторов, семи приложений. Изложена на 224 страницах машинописного текста, приложения размещены на 25 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков и 38 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, цель и задачи исследований, формируется научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы по исследованию процессов структурообразования, технологии изготовления, оптимизации составов и изучению физико-механических свойств модифицированных асфальтобетонов.

Описаны исследования различных авторов по оценке долговечности битумных и полимерно-битумных композитов в условиях воздействия различных агрессивных сред, климатических факторов. Приведены

сведения по микробиологической коррозии битумных и полимерных материалов, а также способам защиты от биоповреждений. Показано, что является важным установление роли биологического фактора в разрушении асфальтобетонов в климатических условиях морского побережья. К настоящему времени количественные закономерности биодеструкции полимерно-битумных материалов, а также экспериментальные способы их биозащиты исследованы и разработаны недостаточно полно.

Во второй главе сформулированы цель и задачи исследований, представлены характеристики применяемых материалов и методики лабораторных и натурных исследований.

При исследовании модифицированных битумных вяжущих рассматривали следующие показатели: глубина проникания иглы, температура размягчения по кольцу и шару, индекс пенетрации, адгезионные свойства, изменения массы и температуры размягчения после прогрева, растяжимости, температуры хрупкости, интервала пластичности и однородности.

При исследовании физико-механических свойств асфальтовых вяжущих рассматривали следующие показатели: средняя плотность уплотненного материала, водонасыщение, набухание, предел прочности при сжатии при 0, 20, 50 °С, водостойкость, теплоустойчивость и термостабильность.

Описан метод определения группового состава модифицированных битумных вяжущих с помощью инфракрасной спектроскопии. Приведена методика испытаний образцов асфальтовых вяжущих в условиях черноморского климата. Описаны методы исследования биологического сопротивления асфальтовых вяжущих на основе модифицированных битумных вяжущих (грибостойкость, фунгицидность, определение видового состава микроскопических грибов).

Представлена разработанная и запатентованная форма для изготовления асфальтобетонных образцов и образцов из асфальтовых вяжущих размером 1×1×3 см (патент на изобретение РФ № 2593065, опубл. 27.07.2016 г.).

Третья глава посвящена исследованию структуры и оптимизации составов модифицированных битумных вяжущих. Проведены предварительные исследования зависимости физико-механических свойств битумных вяжущих от наличия и содержания полимеров, ПАВ, активных наполнителей, в качестве которых рассматривались: модификаторы («Телаз» марок Л1–Л9, «Олазол»), адгезионные добавки («Адгезол» № 4 и ДАД-1), термоэластопласт (Kraton D-1101), наполнители (шунгитовый порошок «Новокарбон», белая сажа марки БС-100, технический углерод марки П-803, резиновая крошка «Унирем» и «Эластен»).

Разработаны рациональные составы битумных вяжущих, модифицированных специально синтезированными добавками: продуктом конденсации олеиновой кислоты с диэтаноламином и борной кислотой типа «Телаз» марок Л1–Л9 и продуктом конденсации олеиновой кислоты с этиленовыми полиаминами (диэтилентриамин или триэтилентриамин) типа «Олазол». Добавки вводили в битум в количестве от 0,3 до 2,0 % по массе. Выявлено, что введение модификатора «Телаз» марок Л1–Л9 способствует созданию битумных вяжущих с пониженной вязкостью, повышенной адгезией к минеральным компонентам, повышенными показателями растяжимости и термостойкости. Установлено влияние модификатора «Олазол» на физико-механические свойства битумного вяжущего: выявлены повышение адгезии вяжущего к минеральным материалам кислого и основного химико-минералогического состава; замедление процесса теплового старения, что обеспечит увеличение сроков службы асфальтобетонных покрытий.

Подобраны составы асфальтовых вяжущих на основе модифицированных битумных вяжущих для последующих испытаний (таблица 1).

Таблица 1 – Составы асфальтовых вяжущих

Компоненты	Содержание компонентов в составах, % по массе					
	1	2	3	4	5	6
Минеральный порошок МП-1	84,5	84,5	84,5	84,5	84,5	84,5
БНД 60/90	15,5	13,5	13,5	13,5	7,5	9,5
«Олазол»	–	2,0	–	–	2,0	–
«Телаз» марки Л5	–	–	2,0	–	–	–
«Телаз» марки Л7	–	–	–	2,0	–	–
«Kraton D-1101»	–	–	–	–	3,0	3,0
Масло промышленное И-20А	–	–	–	–	3,0	3,0

Представлены результаты исследований асфальтовых вяжущих на основе битумов, модифицированных добавками «Телаз» марок Л5 и Л7 и «Олазол», а также на основе полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), включающих термоэластопласт «Kraton D-1101», методом инфракрасной спектроскопии. Выявлены основные функциональные группы асфальтовых вяжущих. Описаны процессы структурообразования битумных вяжущих до и после модификации.

В четвертой главе исследована биостойкость модифицированных битумных вяжущих и установлены наиболее и наименее устойчивые к действию микроорганизмов составы с различными компонентами (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты испытаний на биологическую стойкость

№ со-ста-ва	Содержание компонентов в составах, % по массе			Степень роста грибов, баллы		Характеристика биостойкости по ГОСТ 9.049–91
	Минер. порошок МП-1	БНД 60/90	Добавка	Метод 1	Метод 3	
7	84,5	15,5	–	3	5	Негрибостойкий
8	84,5	13,5	«Телаз Л1» (2,0 %)	1	5	Грибостойкий,
9	84,5	15,0	«Телаз Л2» (0,5 %)	2	5	Грибостойкий
10	84,5	14,5	«Телаз Л2» (1,0 %)	1	5	Грибостойкий
11	84,5	14,0	«Телаз Л2» (1,5 %)	1	5	Грибостойкий
12	84,5	13,5	«Телаз Л2» (2,0 %)	1	5	Грибостойкий
13	84,5	15,0	«Телаз Л3» (0,5 %)	1	5	Грибостойкий
14	84,5	14,5	«Телаз Л3» (1,0 %)	1	5	Грибостойкий
15	84,5	14,0	«Телаз Л3» (1,5 %)	1	5	Грибостойкий
16	84,5	13,5	«Телаз Л3» (2,0 %)	1	5	Грибостойкий
17	84,5	15,2	«Телаз Л4» (0,3 %)	2	5	Грибостойкий
18	84,5	14,9	«Телаз Л4» (0,6 %)	2	5	Грибостойкий
19	84,5	14,5	«Телаз Л4» (1,0 %)	1	5	Грибостойкий
20	84,5	15,0	«Телаз Л5» (0,5 %)	1	5	Грибостойкий
21	84,5	14,0	«Телаз Л5» (1,5 %)	1	5	Грибостойкий
22	84,5	13,5	«Телаз Л5» (2,0 %)	1	5	Грибостойкий
23	84,5	13,5	«Телаз Л7» (2,0 %)	1	5	Грибостойкий
24	84,5	9,5	«Kraton D-1101» (3,0 %), масло индустриальное И-20А (3,0 %)	2	4	Грибостойкий
25	84,5	13,5	Сажа белая марки БС–100 (2,0 %)	2	5	Грибостойкий
26	84,5	13,5	Технический углерод марки П-803 (2,0 %)	1	4	Грибостойкий
27	84,5	11,5	Шунгитовый порошок «Новокарбон» (2,0 %), «Олазол» (2,0 %)	1	5	Грибостойкий

Из анализа результатов исследования (таблица 2) следует, что введение в битумное вяжущее модификаторов типа «Телаз» марок Л2, Л3, Л6, Л7 в количестве 0,5–2,0 %, Л4 – 0,3–1,0 %, Л5 и Л8 – 0,5 %, Л5 – 1,5 %, Л8 – 1,0 %, Л1 и Л5 – 2,0 % позволяет получить грибостойкие материалы.

Включение в состав термоэластопласта «Kraton D-1101» в количестве 3,0 % совместно с индустриальным маслом И-20А (3,0 %) обеспечивает устойчивость полученных ПБВ к действию микромицетов (2 балла по методу 1 ГОСТ 9.049–91).

Выявлено, что грибостойкость битумным композитам придают следующие минеральные наполнители: сажа белая (2,0 %), технический углерод (2,0 %), шунгитовый порошок (2,0 %), введенный совместно с модификатором «Олазол» (2,0 %). Наличие грибостойких свойств у

битумных вяжущих с данными наполнителями и модификаторами свидетельствует, что изучение свойств композитов на основе различных наполнителей и модификаторов при различном их содержании заслуживает дальнейшего исследования.

Результаты исследований показали, что ни один из испытанных составов битумных композитов не обладает фунгицидной активностью по отношению к смеси используемых тест-культур грибов (метод 3 ГОСТ 9.049–91). Используемые добавки не вызывают гибель грибов-деструкторов, при наличии питательных сред материалы интенсивно обрастают мицелиальными грибами и как следствие подвергаются их разрушительному воздействию. Сделан вывод, что, необходимо продолжать поиск добавок, не только улучшающих физико-механические свойства вяжущих, но и способствующих повышению их биостойкости.

Определены характерные виды микроскопических грибов, заселяющих образцы асфальтовых вяжущих на основе модифицированных битумов при их экспозиции в климатических условиях влажного морского климата. На образцах обнаружены мицелиальные грибы 10 родов: *Chaetomium*, *Alternaria*, *Paecilomyces*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Stachybotrys*, *Botryotrichum*, причем преобладают *Penicillium*, *Fusarium* и *Alternaria*. Выявлено, что введение в ПБВ модификатора «Олазол» приводит к уменьшению заселяющихся на поверхности образцов, видового разнообразия мицелиальных грибов.

В результате разработаны новые рецептуры модифицированных битумных вяжущих, устойчивых к микробному разрушению за счет введения в их состав специальных модификаторов и наполнителей, что позволяет их рекомендовать для практического применения.

В пятой главе исследована стойкость асфальтовых вяжущих на основе модифицированных битумов в условиях переменной влажности, ультрафиолетового облучения морского побережья, солевого тумана и морской воды на площадке Геленджикского центра климатических испытаний им. Г. В. Акимова. Установлено влияние климатических факторов на показатели средней плотности, водонасыщения, прочности при 50, 20, 0 °С, массосодержания, а также на коэффициенты теплоустойчивости, термостабильности и водостойкости асфальтовых вяжущих на основе битумных и полимерно-битумных вяжущих.

Получены новые данные, показывающие изменение физико-механических показателей битумных и полимерно-битумных вяжущих в зависимости от условий и длительности экспозиции образцов, а также в результате их разрушения микроорганизмами (таблицы 3–5).

Таблица 3 – Результаты испытаний образцов, выдержанных в морской воде

Свойства и длительность экспонирования образцов		Показатели для составов					
		1	2	3	4	5	6
Средняя плотность ρ_t , г/см ³	0 мес.	1,99	2,02	2,05	2,01	1,98	1,87
	12 мес.	2,06	2,04	2,04	2,02	2,05	1,96
	24 мес.	2,12	2,11	2,12	2,11	2,07	2,08
Водонасыщение W, %	0 мес.	4,94	3,62	5,29	2,95	4,74	10,13
	12 мес.	0,40	1,93	2,62	2,01	0,94	1,82
	24 мес.	1,57	2,93	3,20	4,51	7,32	9,23
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 50 °С, МПа	0 мес.	3,32	3,65	2,90	3,01	3,55	3,16
	12 мес.	2,85	2,77	1,97	2,21	2,39	2,16
	24 мес.	2,38	2,42	2,75	1,74	1,86	2,17
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 20 °С, МПа	0 мес.	7,84	6,82	7,05	6,98	6,87	6,76
	12 мес.	7,21	7,68	7,26	7,87	7,04	7,48
	24 мес.	7,01	6,65	7,43	6,19	4,48	3,74
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 0 °С, МПа	0 мес.	8,87	10,25	9,12	9,85	9,78	9,17
	12 мес.	10,15	10,01	10,03	9,63	8,69	6,13
	24 мес.	9,57	9,36	7,58	9,61	8,39	9,33
Массы образца m, г	0 мес.	203,33	204,46	204,86	203,98	203,23	204,46
	12 мес.	207,28	207,93	211,49	210,85	207,88	213,11
	24 мес.	206,49	206,51	206,74	207,23	203,77	205,62
Коэффициент теплоустойчивости k_t	0 мес.	2,36	1,87	2,43	2,32	1,94	2,14
	12 мес.	2,53	2,77	3,69	3,56	2,95	3,46
	24 мес.	2,95	2,75	2,70	3,56	2,41	1,72
Коэффициент термостабильности $k_{тс}$	0 мес.	2,67	2,81	3,14	3,27	2,75	2,90
	12 мес.	3,56	3,61	5,09	4,36	3,64	2,84
	24 мес.	4,02	3,87	2,76	5,52	4,51	4,30
Коэффициент водостойкости k_v	24 мес.	0,87	0,92	0,85	0,85	1,15	1,06

При выдерживании в морской воде (таблица 3) установлено повышение на 10 % средней плотности у состава ПБВ на основе полимера «Kraton D-1101» после 24 мес экспонирования образцов и повышение на 4,4 % плотности у состава ПБВ с модификатором «Олазол», то есть выявлено уменьшение влияния воздействия морской воды на асфальтовое вяжущее за счет применения «Олазола». Во всех составах средняя плотность возрастает от длительности экспозиции образцов в морской воде. Установлено снижение водонасыщения после 12 мес экспонирования образцов и его повышение к 24 мес, что связано с длительностью экспозиции. Введение в ПБВ модификатора «Олазол» позволяет снизить водонасыщение по сравнению с составом ПБВ. Отмечено снижение прочности при сжатии при 50 °С от длительности экспозиции составов. Предел прочности при 50 °С увеличивается на 28,4 % у состава с «Телазом» марки Л5 после 24 мес экспонирования образцов по сравнению с показателем в 12 мес. При 20 °С выявлено влияние введенных модификаторов на прочность к

12 мес экспозиции. Состав ПБВ с «Олазол» более прочный при 20 °С, чем ПБВ без модификатора. При 0 °С выявлено неоднозначное влияние длительности воздействия морской воды на образцы. Отмечена высокая стойкость к воздействию морской воды по показателю прочности при 50 °С у состава с «Телазом» марки Л5, при 20 °С – у составов с «Олазол» и «Телазом» марки Л5, при 0 °С – у составов с «Телазом» марки Л7 и ПБВ. Теплоустойчивым и термостабильным является состав с «Телазом» марки Л7. Насыщение морской водой образцов асфальтовых вяжущих ведет к снижению водонасыщения, прочности при 20 и 50 °С, повышению прочности при 0 °С. Введение различных добавок в битум приводит к повышению стойкости образцов к агрессивному воздействию морской воды, несмотря на повышение водонасыщения.

Таблица 4 – Результаты испытаний образцов, выдержанных в условиях открытой атмосферной площадки

Свойства и длительность экспонирования образцов		Показатели для составов					
		1	2	3	4	5	6
Средняя плотность ρ_t , г/см ³	0 мес.	1,99	2,02	2,05	2,01	1,98	1,87
	12 мес.	2,00	1,98	2,03	2,05	1,95	1,97
	24 мес.	2,14	2,15	2,03	2,13	2,06	2,05
Водонасыщение W, %	0 мес.	4,94	3,62	5,29	2,95	4,74	10,13
	12 мес.	5,85	8,10	4,31	2,55	7,41	2,01
	24 мес.	1,79	2,56	5,19	3,21	2,92	4,26
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 50 °С, МПа	0 мес.	3,32	3,65	2,90	3,01	3,55	3,16
	12 мес.	3,80	3,99	3,37	3,66	2,43	3,41
	24 мес.	3,38	3,90	3,47	3,87	3,96	2,34
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 20 °С, МПа	0 мес.	7,84	6,82	7,05	6,98	6,87	6,76
	12 мес.	7,84	6,45	6,28	6,97	5,49	4,66
	24 мес.	7,60	8,47	7,08	7,77	6,52	8,40
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 0 °С, МПа	0 мес.	8,87	10,25	9,12	9,85	9,78	9,17
	12 мес.	10,22	9,94	9,75	10,82	11,91	7,17
	24 мес.	12,28	11,38	10,79	10,29	8,68	9,63
Масса образца m, г	0 мес.	203,33	204,46	204,86	203,98	203,23	204,46
	12 мес.	203,17	204,74	205,2	204,1	202,91	204,37
	24 мес.	206,92	204,87	204,9	203,97	202,96	201,05
Коэффициент теплоустойчивости k_t	0 мес.	2,36	1,87	2,43	2,32	1,94	2,14
	12 мес.	2,06	1,62	1,86	1,90	2,26	1,37
	24 мес.	2,25	2,17	2,04	2,01	1,65	3,59
Коэффициент термостабильности $k_{тс}$	0 мес.	2,67	2,81	3,14	3,27	2,75	2,90
	12 мес.	2,69	2,49	2,89	2,96	4,90	2,10
	24 мес.	3,63	2,92	3,11	2,66	2,19	4,12
Коэффициент водостойкости k_v	24 мес.	1,16	1,01	1,06	1,08	1,38	0,88

Испытание образцов в условиях ультрафиолетового облучения, солевого тумана и переменной влажности морского побережья на открытой

атмосферной площадке (таблица 4) показало, что плотность исследованных составов стабильная; водонасыщение снижается у составов с «Телазом» марки Л5 и ПБВ соответственно на 18,5 и 80,2 % после 12 мес экспонирования образцов и на 68,4 и 58,0 % – по истечении 24 мес; предел прочности при сжатии при 50 °С увеличивается на 8,5–14 % у составов без модификатора, а также с модификаторами «Телаз», «Олазол» и ПБВ после 12 мес экспонирования; высокая стойкость по показателю прочности при сжатии при 20 °С у состава с «Телазом» марки Л5 и состава без модификаторов, при 0 °С – у составов с «Телазом» марки Л7 и ПБВ; теплоустойчивым и термостабильным является ПБВ; водостойкость снижена на 24 % у ПБВ и повышена на 19 % у ПБВ с «Олазолом», что свидетельствует о положительном влиянии модификатора «Олазол» на свойства асфальтовых вяжущих.

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов, выдержанных в условиях атмосферной площадки под навесом

Свойства и длительность экспонирования образцов		Показатели для составов					
		1	2	3	4	5	6
Средняя плотность ρ_t , г/см ³	0 мес.	1,99	2,02	2,05	2,01	1,98	1,87
	12 мес.	1,99	2,04	2,05	2,00	1,94	1,91
	24 мес.	2,09	2,08	2,04	2,02	2,14	1,89
Водонасыщение W, %	0 мес.	4,94	3,62	5,29	2,95	4,74	10,13
	12 мес.	5,77	2,79	3,30	5,07	6,82	8,65
	24 мес.	2,46	4,21	4,06	7,23	3,93	8,99
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 50 °С, МПа	0 мес.	3,32	3,65	2,90	3,01	3,55	3,16
	12 мес.	3,19	4,14	3,37	3,15	3,31	3,66
	24 мес.	2,48	3,53	3,04	2,65	2,77	3,26
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 20 °С, МПа	0 мес.	7,84	6,82	7,05	6,98	6,87	6,76
	12 мес.	6,57	6,63	6,82	6,49	5,94	4,40
	24 мес.	7,43	7,51	7,03	6,21	6,17	6,87
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ при 0 °С, МПа	0 мес.	8,87	10,25	9,12	9,85	9,78	9,17
	12 мес.	9,70	9,95	9,66	10,23	10,71	8,13
	24 мес.	10,44	11,31	9,96	10,59	9,52	9,36
Масса образца m, г	0 мес.	203,33	204,46	204,86	203,98	203,23	204,46
	12 мес.	203,63	204,81	205,28	204,36	203,40	204,67
	24 мес.	203,24	204,97	205,30	204,17	203,54	204,48
Коэффициент теплоустойчивости k_t	0 мес.	2,36	1,87	2,43	2,32	1,94	2,14
	12 мес.	2,06	1,60	2,02	2,06	1,79	1,20
	24 мес.	3,00	2,13	2,31	2,34	2,23	2,11
Коэффициент термостабильности $k_{тс}$	0 мес.	2,67	2,81	3,14	3,27	2,75	2,90
	12 мес.	3,04	2,40	2,87	3,25	3,24	2,22
	24 мес.	4,21	3,20	3,28	4,00	3,44	2,87
Коэффициент водостойкости k_v	24 мес.	1,07	1,01	1,05	1,18	1,42	0,67

В условиях воздействия повышенной влажности и солевого тумана на атмосферной площадке под навесом на морском побережье (таблица 5) установлено, что плотность исследованных составов стабильная; водонасыщение снижается у составов с «Олазол», «Телазом» марки Л5 и ПБВ в 1,2–2,4 раза после 12 мес экспонирования образцов, относительно контрольного состава по истечении 24 мес этот показатель снижается у состава без модификаторов на 57,4 %, а у ПБВ с «Олазолом» на 42,4 %; высокая стойкость по показателю прочности при сжатии при 50 °С у составов с «Олазолом» и ПБВ, при 20 °С – у составов с «Телазом» марки Л5 и ПБВ, при 0 °С – у ПБВ без использования «Олазола» и с его применением; теплоустойчивыми и термостабильными являются составы без модификаторов и с «Телазом» марки Л7; водостойкость снижена на 37 % у ПБВ и повышена на 25 % у ПБВ с «Олазолом».

В шестой главе приведены рабочие составы, технология получения битумных композитов и проведена оптимизация технологических свойств модифицированных битумных композитов. Выявлены составы модифицированных битумных связующих и композитов на их основе, обладающих улучшенными физико-механическими и химико-биологическими свойствами (таблица 6).

Таблица 6 – Рабочие составы битумных вяжущих и композитов

Компоненты	Содержание компонентов в составах, % по массе						
	1	2	3	4	5	6	7
БНД 60/90	98,0	98,0	98,0	92,0	92,0	93,5	96,0
«Олазол»	2,0	–	–	–	2,0	0,5	2,0
«Телаз» марки Л5	–	2,0	–	–	–	–	–
«Телаз» марки Л7	–	–	2,0	–	–	–	–
«Телаз» марки Л9	–	–	–	2,0	–	–	–
«Kraton D-1101»	–	–	–	3,0	3,0	3,0	–
Масло индустриальное И-20А	–	–	–	3,0	3,0	3,0	–
Шунгитовый порошок «Новокарбон»	–	–	–	–	–	–	2,0
Марки полученных вяжущих	БНД 60/90	БНД 90/130		ПБВ 90	ПБВ 60		БНД 40/60

Получены результаты реологических характеристик модифицированных битумов (таблица 7).

Установлены зависимости динамической вязкости от количества введенного в битум модификатора, скорости сдвига при следующих температурах нагрева: 60, 135, 150, 163 °С. Выявлены изменения динамической вязкости битумного вяжущего при введении модифицирующей добавки «Олазол» с увеличением скорости сдвига ротора реометра и температуры нагрева.

Таблица 7 – Результаты испытаний составов

Свойства			Показатели свойств модифицированных битумных вяжущих для составов				
			БНД 60/90	БНД 60/90 (99,5 %) + «Олазол» (0,5 %)	БНД 60/90 (99,0 %) + «Олазол» (1,0 %)	БНД 60/90 (98,5 %) + «Олазол» (1,5 %)	БНД 60/90 (98 %) + «Олазол» (2,0 %)
Динамическая вязкость, Па·с	При скорости сдвига 100 с ⁻¹	при t=60 °С	80,73	23,75	39,17	55,91	35,99
		при t=135 °С	0,577	0,516	0,468	0,342	0,392
		при t=150 °С	0,713	0,365	0,293	0,395	0,307
		при t=163 °С	0,186	0,157	0,167	0,138	0,138
	При скорости сдвига 1 000 с ⁻¹	при t=60 °С	6,642	9,872	13,08	2,145	15,9
		при t=135 °С	0,593	0,505	0,511	0,399	0,428
		при t=150 °С	0,401	0,285	0,262	0,275	0,230
		при t=163 °С	0,177	0,157	0,158	0,128	0,139
	При скорости сдвига 2 000 с ⁻¹	при t=60 °С	2,507	3,99	6,468	0,201	7,949
		при t=135 °С	0,545	0,463	0,5	0,396	0,435
		при t=150 °С	0,306	0,243	0,251	0,224	0,216
		при t=163 °С	0,169	0,151	0,155	0,125	0,139

Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе на архитектурно-строительном факультете ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 – «Строительство», магистров по направлению 08.04.01 – «Строительство», специалистов по направлению 08.05.01 – «Строительство уникальных зданий и сооружений». Министерством строительства и архитектуры Республики Мордовия рекомендованы для применения, разработанные в работе битумные композиты, модифицированные аминопроизводными соединениями, при строительстве и ремонте зданий и сооружений, в том числе эксплуатирующихся в условиях воздействия химических и биологических агрессивных сред, а также при устройстве верхних слоев асфальтобетонных покрытий. В ноябре 2016 г. ООО «Строительно-монтажное управление 27» при возведении нулевого цикла жилого дома в г. Саранске при гидроизоляции фундаментов использовало разработанные составы битумных вяжущих, модифицированные добавкой «Олазол». Обследование покрытий после 180 суток эксплуатации показало их повышенную стойкость к почвенным микроорганизмам.

В главе приведена технико-экономическая оценка применения модифицированных битумных композитов. Техничко-экономическое сравнение расходов на строительство и поддержание дорожной одежды на основе битумов, модифицированных «Олазолом», выявило экономический эффект, несмотря на удорожание асфальтобетонной смеси

типа Б марки 2 на 766,05 руб. за 1 т смеси за счет применения модификатора «Олазол» в количестве 0,5 % от массы битума. Годовой экономический эффект составит 97 317,83 руб. в расчете на 1 000 м² покрытия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Анализ научно-технической литературы в области исследования свойств, процессов структурообразования, технологии изготовления битумных и полимерно-битумных вяжущих и композитов на их основе, а также оценки их долговечности показал, что в строительном материаловедении накоплен значительный теоретический и экспериментальный материал, однако такие вопросы, как изменение группового состава битума от введения в него различных полимеров, модификаторов, наполнителей, ПАВ и др. и их влияние на физико-механические, реологические свойства битумных и полимерно-битумных вяжущих, недостаточно изучены. На сегодняшний день отсутствуют комплексные исследования, посвященные изучению механизмов микробного разрушения битумных и полимерно-битумных вяжущих и композитов на их основе в зависимости от основных структурообразующих и рецептурных характеристик. В литературе содержится недостаточно экспериментальных данных о стойкости битумных композитов в условиях воздействия погодно-климатических факторов.

2. При проведении исследований, наряду с общепринятыми стандартизированными методами испытаний битумных и полимерно-битумных вяжущих, использован метод определения динамической вязкости модифицированного битума с помощью модульного реометра *НААКЕ MARS III*, также метод определения группового состава асфальтовых вяжущих с помощью инфракрасной спектроскопии, применены новые режимы, при которых экспонировались образцы асфальтовых вяжущих на площадке Геленджикского центра климатических испытаний. Разработана и запатентована форма для изготовления образцов размером 1×1×3 см, пригодных для определения биостойкости асфальтовых вяжущих и песчаных асфальтобетонных смесей.

3. Проведены комплексные исследования и получены количественные зависимости изменения глубины проникания иглы, температуры размягчения по кольцу и шару, индекса пенетрации, адгезионных свойств, массы и температуры размягчения после прогрева,

растяжимости, температуры хрупкости, интервала пластичности и однородности битумных вяжущих, включающих в свой состав модификаторы типа «Телаз» марок Л1–Л9, «Олазол», адгезионные добавки «Адгезол» № 4 и ДАД-1, термоэластопласт «Kraton D-1101», наполнители – шунгитовый порошок «Новокарбон», белую сажу марки БС-100, технический углерод марки П-803, резиновую крошку «Унирем» и «Эластен». Представлены результаты исследований асфальтовых вяжущих на основе битумов, модифицированных добавками «Телаз» марок Л5 и Л7 и «Олазол», а также ПБВ включающих термоэластопласт «Kraton D-1101», полученные с помощью метода инфракрасной спектроскопии. Выявлены основные функциональные группы асфальтовых вяжущих. Показано влияние добавок на процессы структурообразования до и после модификации битума.

4. Подобраны рациональные составы вяжущих с улучшенными физико-механическими свойствами, что способствует расширению номенклатуры добавок, используемых при применении дорожных битумов для I–IV дорожно-климатических зон:

- Битумные вяжущие, модифицированные специально синтезированными продуктами конденсации олеиновой кислоты с диэтаноламином и борной кислотой типа «Телаз» марок Л1–Л9. Выявлено, что их введение способствует созданию битумных вяжущих с пониженной вязкостью, повышенными адгезией к минеральным материалам и термостойкостью. Введение модификатора «Телаз» марки Л5 в количестве 1,5 % от массы битума позволило повысить температуру размягчения на 2 °С, а включение модификатора марки Л7 в количестве 2,0 % способствовало усилению адгезии с минеральными материалами кислого и основного химико-минералогического состава на 58 и 11 % соответственно.

- Битумные вяжущие, модифицированные специально синтезированным продуктом конденсации олеиновой кислоты с этиленовыми полиаминами типа «Олазол». При введении модификатора в количестве 0,5–2,0 % по массе выявлены повышение адгезии вяжущего к павловскому щебню на 60 %, новоорскому – в 4–5 раз, мраморному – на 20 %, замедление процесса теплового старения, что позволит обеспечить увеличение сроков службы асфальтобетонных покрытий, улучшение показателей хрупкости и растяжимости.

- Битумные вяжущие, содержащие адгезионные добавки типа «Адгезол» № 4 и ДАД-1. Использование в битумных композициях адгезионных добавок типа «Адгезол» № 4 в количестве 0,5–0,8 % по массе и ДАД-1 марок А и С в количестве 0,4–0,6 % по массе способствовало получению вяжущих с повышенной адгезией к минеральным материалам кислого и основного химико-минералогического состава. Выявлено влияние щебня различных месторождений (Миньярское, Саткинское, Сибай-

ское, Баженовское, Новокиевское) на сцепление битумного вяжущего с добавкой «Адгезол» № 4. Так, ее введение в количестве 0,8 % по массе повышает сцепление с миньярским щебнем в 5 раз. Включение добавки ДАД-1 марки А в количестве 0,4 % по массе позволяет достичь максимальных показателей адгезии (5 баллов).

5. Проведены сравнительные исследования полимерно-битумных вяжущих на основе термоэластопласта «Kraton D-1101» в количестве 1,0–5,0 % по массе с использованием пластификатора в количестве 10,0–14,0 % по массе и без его использования. Выявлено повышение адгезии с гранитным и мраморным щебнем за счет введения в состав полимерно-битумных вяжущих модификаторов типа «Телаз» марки Л9 и «Олазол».

6. Проведены исследования влияния на свойства битумных вяжущих наполнителей различного типа и дисперсности: шунгитового порошка (20 м²/г), белой сажи (100 м²/г), технического углерода (14–18 м²/г), резиновой крошки «Унирем» и «Эластен». Выявлены повышение вязкости при 25 °С полученных битумных композитов, повышение адгезии составов с минеральными наполнителями к гранитному щебню на 60 %, температуры размягчения на 10–14 %. Введение резиновой крошки «Унирем» (2,0 %) в битум повышает сцепление с гранитным щебнем на 70 % и мраморным – на 22 %. «Унирем», введенный битум в количестве 10,0 % по массе, повышает теплостойкость на 16 %, «Эластен» (10,0 %) – на 9 %.

7. Исследована биостойкость битумных материалов в стандартной среде мицелиальных грибов. Установлено, что нефтяные битумы, не грибостойки. Ни один из исследованных в работе составов не обладает фунгицидной активностью по отношению к смеси используемых тест-культур мицелиальных грибов (метод 3 ГОСТ 9.049–91). Сделан вывод о малоизученности биостойкости модифицированных битумных композитов в лабораторных и натурных условиях.

8. Исследована биостойкость битумных и полимерно-битумных вяжущих, установлены наиболее и наименее устойчивые к действию грибов компоненты:

- Модификаторы в составе композиций оказывают неоднозначное влияние на грибостойкость. Введение 0,5–2,0 % «Телаза» марок Л2, Л3, Л6, Л7, 0,3–1,0 % марки Л4, 0,5 % марок Л5, Л8, 1,5 % марки Л5, 1,0 % марки Л8 и 2,0 % марок Л1, Л5 в битумное вяжущее позволяет получить грибостойкие материалы.

- Введение термоэластопласта «Kraton D-1101» в количестве 3,0 % совместно с пластификатором (индустриальное масло И-20А) в количестве 3,0 % обеспечивают устойчивость полученных материалов к действию микромицетов (2 балла по методу 1 ГОСТ 9.049–91).

- Выявлено, что грибостойкость битумным композитам придают следующие минеральные наполнители: сажа белая (2,0 %), технический углерод (2,0 %), шунгитовый порошок (2,0 %), введенный совместно с модификатором «Олазол» (2,0 %). В то же время исследованные добавки и наполнители не вызывают гибель грибов-деструкторов, при наличии питательных сред материалы интенсивно обрастают мицелиальными грибами и как следствие подвергаются их разрушительному воздействию.

9. По результатам изучения физико-механических и биологических свойств были подобраны рациональные составы для последующих испытаний на климатическую стойкость в натурных условиях с учетом фактора биоповреждений: битумные композиты с добавками типа «Телаз» марок Л5 и Л7 в объеме 2,0 % по массе, показавшие высокие физико-механические свойства, а также грибостойкость; битумные и полимерно-битумные композиты, модифицированные добавкой «Олазол» с содержанием 2,0 % по массе, несмотря на отсутствие грибостойкости, представляющие научный интерес в связи с высокими физико-механическими свойствами, а также приданием грибостойкости материалам при использовании совместно с наполнителем (шунгитовым порошком) и при его введении в ПБВ.

10. Выявлено, что видовой состав микроскопических грибов, выделенных с поверхности образцов после экспозиции в морской воде и климатических условиях морского побережья, зависит от их состава и условий испытания. Выявлены закономерности между видовым составом мицелиальных грибов – активных биодеструкторов и составом композиций асфальтовых вяжущих на основе модифицированных битумных вяжущих. Определены характерные виды микроскопических грибов, заселяющих асфальтовые вяжущие на основе модифицированных битумных вяжущих при их экспозиции в климатических условиях влажного морского климата и участвующих в их разрушении. На образцах обнаружены мицелиальные грибы 10 родов: *Chaetomium*, *Alternaria*, *Paecilomyces*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Stachybotrys*, *Botryotrichum*.

11. На исследуемых асфальтовых вяжущих преобладают *Penicillium*, *Fusarium* и *Alternaria*. На основе биохимических исследований по изучению метаболизма грибов-деструкторов разработаны целенаправленные и планомерные способы создания асфальтовых вяжущих на основе модифицированных битумных вяжущих, устойчивых к микробному разрушению. Выявлено, что введение в полимерно-битумные вяжущие модификатора «Олазол» приводит к уменьшению видового многообразия микроскопических грибов.

12. Исследована стойкость битумных и полимербитумных вяжущих в условиях переменной влажности, ультрафиолетового облучения,

морского побережья и морской воды, экспонированных в течение 12 и 24 месяцев на площадке Геленджикского центра климатических испытаний. Установлено влияние климатических факторов на изменение показателей средней плотности, водонасыщения, предела прочности при 50, 20, 0 °С, массосодержания, коэффициентов теплоустойчивости, термостабильности и водостойкости образцов асфальтовых вяжущих на основе битумных и полимерно-битумных вяжущих. Получены новые данные, показывающие изменение их физико-механических показателей в зависимости от условий и длительности экспозиции образцов, а также в результате их разрушения микроорганизмами:

- После выдерживания в морской воде установлено повышение на 10 % средней плотности у состава ПБВ на основе термоэластопласта «Kraton D-1101» по истечении 24 месяцев экспонирования образцов и ее повышение на 4,4 % у состава ПБВ с модификатором «Олазол»; снижение водонасыщения после 12 месяцев экспонирования образцов и его повышение к окончанию эксперимента; предел прочности при сжатии при 50 °С увеличивается на 28,4 % у состава с «Телазом» марки Л5 к 24 месяцам экспонирования образцов по сравнению с показателем в 12 месяцев; отмечена высокая стойкость к воздействию морской воды по показателю прочности при сжатии при 50 °С у состава с «Телазом» марки Л5, при 20 °С – у составов с «Олазолом» и с «Телазом» марки Л5, при 0 °С – у составов с «Телазом» марки Л7 и ПБВ; теплоустойчивым и термостабильным является состав с «Телазом» марки Л7.

- Испытание образцов в условиях ультрафиолетового облучения, солевого тумана и переменной влажности морского побережья на открытой атмосферной площадке показало, что плотность исследуемых составов стабильная; водонасыщение снижается у составов с «Телазом» марки Л5 и ПБВ соответственно на 18,5 и 80,2 % после 12 месяцев экспонирования образцов и на 68,4 и 58 % к 24 месяцам; предел прочности при сжатии при 50 °С увеличивается на 8,5–14,0 % у составов без модификатора, а также с модификаторами «Телаз», «Олазол» и ПБВ после 12 месяцев экспонирования; высокая стойкость по показателю прочности при сжатии при 20 °С у состава с «Телазом» марки Л5 и состава без модификаторов, при 0 °С – у составов с «Телазом» марки Л7 и ПБВ; теплоустойчивым и термостабильным является ПБВ; водостойкость снизилась на 24 % у ПБВ и повысилась на 19 % при включении в его состав «Олазола», что свидетельствует о положительном влиянии данного модификатора на свойства асфальтовых вяжущих.

- В условиях воздействия повышенной влажности и солевого тумана на атмосферной площадке под навесом на морском побережье установлено, что плотность исследованных составов стабильная; водонасыщение снизилось у составов с «Олазолом», «Телазом» марки Л5 и ПБВ

в 1,2–2,4 раза после 12 месяцев экспонирования образцов относительно контрольного состава, по истечении 24 месяцев оно снизилось у состава без модификаторов на 57,4 % и ПБВ с «Олазол» на 42,4 %; высокая стойкость по показателю прочности при сжатии при 50 °С у составов с «Олазол» и ПБВ, при 20 °С – у составов с «Телазом» марки Л5 и ПБВ, при 0 °С – у ПБВ без использования «Олазола» и с его применением; теплоустойчивыми и термостабильными являются составы без модификаторов и с «Телазом» марки Л7; водостойкость снижена на 37 % у ПБВ и повышена на 25 % у ПБВ с «Олазол».

13. Рекомендованы составы модифицированных битумных композитов для практического применения. Исследованы технологические свойства и приведена технология приготовления разработанных материалов.

- Отмечена перспективность применения композитов, содержащих добавку «Олазол». Предлагаемый модификатор рекомендуется для использования в дорожном строительстве при устройстве верхних слоев покрытий автомобильных дорог и городских улиц, а также в качестве ПАВ в полимерно-битумных вяжущих для улучшения адгезии к минеральным материалам. Кроме того, он может найти применение при приготовлении битумного лака, мастики, герметика и битумной эмульсии.

Исследованы реологические свойства битумного вяжущего с модификатором «Олазол», при этом установлены зависимости динамической вязкости от количества введенного в битум модификатора, скорости сдвига при следующих температурах нагрева: 60, 135, 150, 163 °С. Выявлены изменения динамической вязкости битумного вяжущего при введении модифицирующей добавки «Олазол» с увеличением скорости сдвига ротора реометра и температуры нагрева.

- Описана технология и проведено опытное внедрение модифицированных битумных композитов при антикоррозионной защите железобетонных конструкций.

Рекомендации по использованию результатов исследования

1. Разработанные модифицированные битумные композиты перспективны для строительства автодорог и изготовления антикоррозионных защитных покрытий по строительным конструкциям, эксплуатируемым в условиях морского климата – переменной влажности, ультрафиолетового облучения, солевого тумана.

2. Результаты диссертационного исследования расширяют методологические аспекты в строительном материаловедении и могут быть использованы в учебном процессе.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Разработка фунгицидных добавок для модифицирования битумных композитов с целью получения материалов с заданными физико-механическими свойствами, в том числе биоцидной стойкостью.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ:

1. Исследование старения битумных композитов при выдерживании в климатических условиях Черноморского побережья и в морской воде / А. В. Мартынов, А. И. Сальникова, С. В. Панин // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 5 (24). – С. 39. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/22KO514.pdf>.

2. Исследование долговечности битумных композитов в условиях переменной влажности, ультрафиолетового облучения и морской воды / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова, Е. Н. Каблов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12 (12). – С. 2549–2556.

3. Исследование стойкости битумных композитов в климатических условиях черноморского побережья и в морской среде / В. Т. Ерофеев, Ю. И. Калгин, А. В. Мартынов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (16). – С. 3493–3502.

4. Исследование биостойкости битумных и полимербитумных композитов и видового состава микобиоты, выделенной с материалов, экспонированных в условиях влажного морского климата и после старения в морской воде / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова, В. Ф. Смирнов [и др.] // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 3. – С. 52–61.

5. Исследование реологических свойств модифицированного битума / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова // Вестник МГСУ. – 2016. – № 8. – С. 48–63.

Публикации в других изданиях:

6. Влияние старения на биостойкость геосинтетических материалов / В. Т. Ерофеев, А. И. Ликомаскин, А. И. Сальникова // Матер. Междунар. науч.-технич. конф. «Актуальные вопросы строительства». – Вып. 9. В 2 ч. – Ч. 2. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – С. 47–49.

7. Исследование биостойкости геосинтетических материалов / В. Т. Ерофеев, А. И. Ликомаскин, А. И. Сальникова [и др.] // Матер. XVI науч.-практич. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Мордов. гос. ун-та им. Н.П. Огарёва. 6 ч. Ч. 1 : Технические науки. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – С. 17–18.

8. Исследование влияния добавки на адгезионные свойства битума / А. И. Ликомаскин, А. И. Сальникова // Матер. XVI науч.-практич. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Мордов. гос. ун-та им. Н.П. Огарёва. 6 ч. – Ч. 1 : Технические науки. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – С. 19–21.

9. Исследование влияния модифицирующих добавок на стойкость композитов в условиях воздействия модельной бактериальной среды / В. Т. Ерофеев, А. И. Ликомаскин, А. И. Сальникова // Матер. науч. конф. «XLI Огаревские чтения». В 3 ч. Ч. 1 : Технические науки. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С. 45–49.

10. Исследование пластифицированных полимербитумных вяжущих / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова, А. Н. Луценко // Матер. Междунар. науч.-тех. конф. «Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов». – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С. 150–156.

11. Исследование пластифицированных полимербитумных вяжущих / А. И. Сальникова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. Изд-во: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2014. – Т. 3. – № 4 (17). – С. 172–179.
12. Сальникова А. И. Разработка и исследование пластифицированных полимербитумных вяжущих / А. И. Сальникова // Матер. XVIII научно-практической конф. молодых ученых, аспирантов и студентов национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. В 3 ч. – Ч. 1 : Технические науки. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 96–103.
13. Сальникова А. И. Методы определения адгезии битума к поверхностям минеральных материалов / А. И. Сальникова // Матер. XIII Междунар. науч.-технич. конф. «Актуальные вопросы архитектуры и строительства». В 2 ч. – Ч. 1. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 311–315.
14. Разработка стойких к воздействию климатических факторов составов битумных и полимербитумных композитов / А. И. Сальникова, А. В. Мартынов, Ш. А. Салимов [и др.] // Современные технологии в машиностроении и проблемы исследования и проектирования машин : сб. статей XVIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2015. – С. 112–117.
15. Долговечность строительных материалов на основе битумных связующих в условиях воздействия различных агрессивных сред / А. В. Мартынов, А. И. Сальникова, Ш. А. Салимов [и др.] // Современные технологии в машиностроении и проблемы исследования и проектирования машин : сб. статей XVIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2015. – С. 108–112.
16. Сальникова А. И. Разработка составов модифицированных битумов в Республике Мордовия / А. И. Сальникова // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – Т. 3. – № 2. – 2016. – URL: <http://t-s.today/PDF/03TS216.pdf>.
17. Долговечность битумных композиций и асфальтобетонов на их основе / А. И. Сальникова, М. А. Ликомаскина, А. Н. Качалов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика : сборник статей Междунар. науч.-технич. конф. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2016. – С. 65–68.
18. Климатическая стойкость композитов на основе битумных связующих / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова, О. В. Старцев [и др.] // Фундаментальные исследования и последние достижения в области защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов и сложных технических систем в различных климатических условиях: сборник науч.-технич. конф. ФГУП «ВИАМ», 2016. – С. 4–10.
19. Сальникова А. И. Исследование асфальтовых вяжущих методом инфракрасной спектроскопии / А. И. Сальникова // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Матер. междунар. академ. чтений // Курск. гос. ун-т. – 2016. – № 1. – С. 47–53.

Патент на изобретение:

Пат. 2593065 Российская Федерация, МПК, B22C9/00; G01N33/38. Форма для изготовления асфальтобетонных образцов / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова, А. И. Ликомаскин [и др.]; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» – 2014151065/02; заявл. 16.12.2014, опубл. 27.07.2016, Бюл. № 21.