

На правах рукописи



МАРЬЕВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНОГО РЕЗИНОВОГО СЫРЬЯ В
УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОТЕХНОПАРКОВ**

1.5.15. Экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Казань – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Николаева Лариса Андреевна

Официальные оппоненты: **Петросян Валерий Самсонович**, доктор химических наук, профессор, ООО «Открытый Экологический Университет» генеральный директор;

Хакимуллин Юрий Нуриевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», профессор кафедры химии и технологии переработки эластомеров

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды», г. Москва

Защита состоится «10» декабря 2025 г. в 16.00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.028.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, Зал заседаний Ученого совета (А-330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте https://www.kstu.ru/event.jsp?id=171353&id_cat=141&idparent=0.

Автореферат разослан «__» октября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
99.2.028.02



Хабибрахманова
Венера Равилевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Развитие экономики ведёт к росту промышленного производства и, как следствие, к увеличению объёмов образования и накопления отходов. Решением этой проблемы, как показывает мировая практика, может стать переход к экономике замкнутого цикла, в основе которой лежат максимальное вовлечение в хозяйственный оборот вторичных ресурсов и реализация государством политики ресурсосбережения. В России вопросы повышения ресурсной эффективности экономики и возврат отходов в производственные процессы рассматриваются в качестве ключевых направлений экологической промышленной политики страны.

С 1 января 2025 года в рамках Национального проекта «Экологическое благополучие» Правительством Российской Федерации реализуется Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», который призван сыграть важнейшую роль как в части снижения негативного воздействия на окружающую среду, так и в достижении целей ресурсосбережения в ходе реализации инфраструктурных проектов. Базовыми элементами таких проектов в регионах должны стать экотехнопарки.

Главной задачей экотехнопарков должен стать выпуск продукции и оказание услуг с использованием вторичных ресурсов. В качестве примера такой продукции являются строительные материалы с использованием вторичного резинового сырья, полученного в процессе утилизации отходов предприятий Нижнекамского промышленного узла Республики Татарстан.

На территории Нижнекамского промышленного узла, согласно данным формы 2 ТП (отходы), ежегодно образуется примерно 3000 тонн отходов производства шин, изношенных шин и отходов резинотехнических изделий (РТИ). Эти отходы относятся к IV классу опасности, поэтому их переработка имеет важное экологическое значение.

Таким образом, комплексный подход к утилизации изношенных шин и резиносодержащих отходов производства с получением готовой продукции на основе вторичного резинового сырья является актуальным при создании экотехнопарков, что снижает антропогенное воздействие на окружающую среду.

Степень разработанности. Исследования в области организации и функционирования экотехнопарков проводили Chertow M.R., Lowe E.A., Côté R., Manahan S.E., Martin S.A., Fleig A.-K., Korhonen J., Meiji Sato, Amani Maalouf. Анализ зарубежного опыта создания и функционирования экотехнопарков показывает, что реализация принципов промышленного симбиоза является единственно возможным эффективным подходом в сфере обращения с отходами, при котором учитываются технический, экономический, экологический, социальный и логистический аспекты с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду.

В Российской Федерации исследования в области обоснования подходов к созданию экотехнопарков проводились Е.П. Волынкиной, Т.С. Смирновой, А.М. Гонопольским, в настоящее время отсутствуют научно-методические подходы к созданию экотехнопарков. Разработанный автором подход к организации экотехнопарка на принципах промышленного симбиоза рассмотрен на примере Нижнекамского промышленного узла (Нижнекамской агломерации) в Республике Татарстан. В качестве модели комплексной утилизации однородных отходов в экотехнопарке приведены изношенные шины и отходы (РТИ) с выпуском продукции для применения в дорожном строительстве.

Цель работы: разработка способа утилизации вторичного резинового сырья в спланированном экотехнопарке для применения в качестве экологически безопасного материала в дорожном строительстве.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи:**

1. Сформулировать принципы функционирования и эксплуатации экотехнопарков на примере Нижнекамского промышленного узла в Республике Татарстан.

2. Разработать технологию получения резинобитумной композиции (РБК) на основе резиновой крошки (РК) для применения в дорожном строительстве для снижения негативного воздействия резиносодержащих отходов (IV класс опасности) на окружающую среду.

3. Разработать принципиальную технологическую схему производства РБК. Произвести расчет средней стоимости производства РБК в зависимости от рецептуры вторичного резинового сырья.

4. Рассчитать предотвращенный экологический вред и экономический эффект при внедрении разработанной технологии производства РБК.

Соответствие паспорту специальности. Исследование соответствует пункту 5 паспорта научной специальности 1.5.15. Экология (отрасль науки – технические): «Разработка экологически безопасных технологий и материалов, процессов подготовки и повышения качества продукции, утилизации промышленных отходов».

Научная новизна:

1. Разработан механизм функционирования экотехнопарков на основе принципов промышленного симбиоза для снижения негативного воздействия на окружающую среду за счёт ликвидации полигонного захоронения, утилизации отходов и вторичных ресурсов в готовой продукции для дорожного строительства.

2. Разработана технология получения РБК на основе вторичного резинового сырья при соотношении компонентов: РК 14,8 % (масс.); ряд парабиновых кислот и их производных 2 % (масс.); битум 83,2 % (масс.), которая позволяет получить РБК, по

сравнению с контрольным образцом, не модифицированным парабановыми кислотами, с устойчивостью к расслоению более чем в 3 раза; повышаются температура размягчения в 2,1 раза, эластичность в 19 раз, растяжимость при 0 °С в 1,5 раза, снижается температура хрупкости в 1,3 раза.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Теоретическая значимость проведенного исследования заключается в том, что автором сформирован научно-методический подход к организации экотехнопарков на принципах промышленного симбиоза для условий Российской Федерации. Проведены исследования и получили существенное дополнение разработки экологически безопасных технологий и материалов утилизации изношенных шин и отходов РТИ в условиях организации экотехнопарков.

Практическая значимость полученных результатов исследования:

1. На основе разработанного научно-методического подхода формирования экотехнопарков внесены предложения и утверждены нормативные правовые акты Российской Федерации, касающиеся принципов создания и эксплуатации экотехнопарков - Постановления Правительства РФ от 04 июля 2022 г. № 1202, и от 07 июля 2022 г. № 1216 (Отчёты о научно-исследовательской работе (НИР), Ходатайство о награждении Марьева В.А. почетной грамотой Министерства промышленности и торговли Российской Федерации).

2. С учётом сформулированного комплексного подхода к созданию экотехнопарков предложен к реализации алгоритм организации экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле Республики Татарстан, объединяющего предприятия, относящиеся к различным отраслям промышленности, и объекты коммунальной сферы.

3. Получен патент на изобретение «Битумно-резиновая композиция и способ ее получения» и зарегистрирован торговый знак «БРИТ».

4. Разработанные в ходе подготовки диссертации перечень необходимого оборудования, производственно-технологический процесс, технологическая схема производства, а также осуществлённый расчёт экономической эффективности позволяют организовать промышленное производство конкурентоспособных резинобитумных мастик.

5. Резинобитумные мастики и дорожные вяжущие марки «БРИТ-И» применялись при устройстве гидроизоляции и деформационных швов при устройстве трамвайных путей, гидроизоляции швов и трещин в асфальтобетоне, гидроизоляции швов и трещин на взлётно-посадочных полосах аэродромов. Применение подтверждено Актами о внедрении (Акт ООО «МИП «НИЦ МиС» о проведении опытно-производственных работ по герметизации температурно-усадочных швов и

оценке их герметичности монолитной железобетонной обделке транспортного тоннеля «Добрынинский»; Акт ОАО «ГСХ-групп» о использовании резинобитумной композиционной мастики для устройства гидроизоляции системы водоотведения и стабилизации влажности.

6. Результаты диссертационной работы «Способ утилизации вторичного резинового сырья в условиях функционирования экотехнопарков» внедрены в учебный процесс (Акт ФГБОУ ВО «КГЭУ» о внедрении результатов диссертационной работы).

7. Произведён расчёт положительного экологического эффекта за счёт внедрения технологии производства РБК, который составил в финансовом выражении 7 303 600 рублей в год за счёт не размещения изношенных шин (отходов IV класса опасности) на промышленных полигонах.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

1. Созданная схема функционирования экотехнопарков, на примере Нижнекамского промышленного узла.

2. Разработанная технология производства РБК на основе резиновой крошки, полученной в процессе переработки изношенных шин и резиносодержащих отходов.

3. Результаты расчета предотвращенного экологического вреда от размещения резиносодержащих отходов IV класса опасности и экономический эффект за счёт внедрения разработанной технологии производства РБК.

Методология и методы исследований. Методологию исследований составили положения технологических основ получения композиционных материалов. Исследования физико-механических свойств РБК проведены на базе специализированных лабораторий: Специализированная лаборатория нефтяных вяжущих Ленинградского областного государственного предприятия «Дорожный учебно-инженерный центр» (ГП «ДУИЦ», Ленинградская область); МАДИ (Московского Автодорожного Института); Лабораторно-исследовательский Центр Мосавтодора; «Экологическая безопасность» на базе кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» ФГБОУ ВО КГЭУ. Используются рекомендованные в ведомственно-экологическом контроле методы определения физико-механических свойств РБК разных марок. Все измерения выполнены в соответствии с ГОСТ и ASTM. Достоверность результатов подтверждается многократными измерениями и последующей обработкой с применением методов математической статистики. Воспроизводимость результатов не выходит за пределы допустимых погрешностей и подтверждена промышленными испытаниями.

Степень достоверности результатов. При проведении исследования использовались сертифицированные методики на современном высокочувствительном оборудовании и средствах измерения (прибор для определения пенетрации

нефтебитума ПН-20, цифровой дуктилометр Infratest 1500 мм, прибор для определения температуры хрупкости битума АТХ-20, вискозиметр Brookfield DV-II+ Pro), статистическая отчетность действующих промышленных предприятий. Результаты экспериментальных исследований получены методом многократных измерений и статистически обработаны. Основная часть результатов исследования опубликована в рецензируемых российских и зарубежных изданиях.

Апробация работы. Результаты настоящей работы докладывались на международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы утилизации изношенных шин и использования резиновой крошки в дорожном строительстве» (г. Санкт-Петербург, 2013 г.), международной научно-практической конференции «Институциональные и финансовые механизмы развития территориальных кластеров и технологических платформ» (г. Дубна, 2016 г.), круглом столе «Эколого-ориентированное управление рисками и обеспечение безопасности социально-экономических и общественно-политических систем и природно-техногенных комплексов» (г. Москва, 2017 г.), I-й всероссийской научно-практической конференции «Приоритетные и перспективные направления научно-технического развития Российской Федерации» (г. Москва, 2018 г.), международной научно-практической конференции «Экологический императив технологического развития России» (г. Москва, 2019 г.), VI международной научной конференции «Мир и наука в XXI веке: глобальные вызовы и риски» (г. Москва, 2021 г.), научно-практическом семинаре «Применение модификаторов на основе переработанной шинной резины в дорожном асфальтобетоне» (г. Москва, 2021 г.), IV всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Технологии переработки отходов с получением новой продукции» (г. Киров, 2022 г.), на XII-й международной научно-практической конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2024» (Апатиты, 2024 г.), на Международной научно-практической конференции «Экологическая устойчивость как измерение прогресса в системе целей устойчивого развития», (г. Красноярск, 2025 г.), 6-й международной научно-практической конференции «Перспективы экологического развития России и стран СНГ», (г. Екатеринбург, 2025 г.).

Личный вклад автора. Личное участие автора заключается в обсуждении идеи работы, составлении целей и задач научной работы, выполнении задач, получении результатов исследований на основе экспериментальных работ, анализе физико-механических показателей РБК различной модификации, оформлении документов на получение нормативных правовых актов Российской Федерации, публикации результатов исследований по диссертационной работе и апробации результатов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 33 научные работы, из них 5 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по специальности, 3 статьи в научных журналах, входящих в международные базы данных и системы цитирования, получен 1 патент на изобретение, 18 статей в других журналах, 5 публикаций в сборниках материалов и тезисов международных и всероссийских научных конференций. Опубликовано 2 главы в монографиях, входящих в международную базу данных Scopus, зарегистрирован 1 торговый знак на продукцию.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка цитируемой литературы и восьми приложений. Работа изложена на 182 страницах машинописного текста, включает 17 рисунков и 26 таблиц. Список литературы содержит 144 работы отечественных и зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту. Определены объект исследования, цель и задачи работы, оценена степень научной новизны, теоретической и практической значимости работы, изложены методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, личное участие автора, степень достоверности, апробация и публикации результатов исследования.

В первой главе проведён анализ международного опыта создания и развития экотехнопарков, рассмотрены механизмы их формирования и функционирования. Представлена классификация экотехнопарков и приведены определения термина «экотехнопарк» с учётом сложившегося мирового опыта организации и развития таких объектов на принципах промышленного симбиоза. Отмечено, что базовым отличием такого типа экотехнопарков от других объектов обращения с отходами и вторичными ресурсами является наличие эффективного обмена материальными, энергетическими и информационными потоками с целью достижения экономических выгод с одновременным снижением негативного воздействия на окружающую среду.

В качестве модельного для экотехнопарков рассмотрен комплексный подход к переработке резиносодержащих отходов и выпуску продукции на основе вторичного резинового сырья. Проведён анализ подходов и технологий комплексной переработки такого вида однородных отходов: изношенных шин и отходов РТИ и выпуску продукции, востребованной в дорожном хозяйстве. Определены направления исследований для получения высокотехнологичных резинобитумных композиций и асфальтовых вяжущих.

Во второй главе предложен разработанный автором алгоритм создания экотехнопарка (рисунок 1). Приведён перечень документации, которой должен

обладать экотехнопарк для нормального функционирования. Сформулирован общий порядок эксплуатации объектов экотехнопарка.

Дано определение «экотехнопарка» как объединённого энергетическими и взаимозависимыми материально-сырьевыми потоками и связями комплекс объектов, включающий в себя здания и сооружения, технологическое и лабораторное оборудование, используемые в деятельности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов, обеспечивающий их непрерывную переработку и производство на их основе промышленной продукции, а также осуществление научной, исследовательской и (или) образовательной деятельности. В работе раскрыт концептуальный подход к созданию экотехнопарков в организационной форме промышленного кластера, развивающегося на принципах промышленного симбиоза. Определены факторы, влияющие на успешную реализацию проекта экотехнопарка, основными из которых являются снижение объёмов образования и полигонного захоронения отходов, количество обмена материальными и энергетическими ресурсами между участниками, сокращение сбросов и выбросов за счёт замкнутых систем.

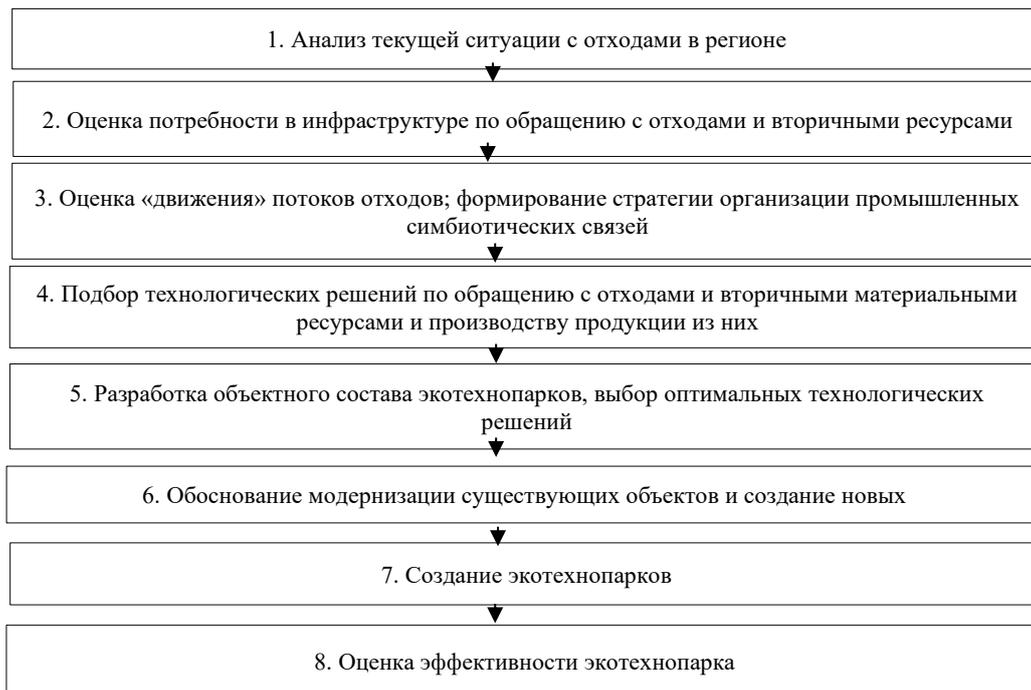


Рисунок 1 – Этапы создания экотехнопарка

Предложена классификация экотехнопарков, которые предлагается подразделять на: экотехнопарки в форме промышленного симбиоза; экспериментальные инновационные экотехнопарки, в которых, наряду с основным видом деятельности, разрабатываются, проходят апробирование и внедряются новые технологии в области обращения с отходами, включая их обработку, утилизацию и обезвреживание, а также производство продукции из отходов, вторичных ресурсов и вторичного сырья.

Сформулированы требования, которым должны соответствовать экотехнопарки для получения мер государственной поддержки координационным органом и (или) участниками экотехнопарка.

Определены требования к координационному органу и участникам экотехнопарка. На примере Нижнекамского промышленного узла в Республике Татарстан показана возможность вовлечения основных отходов, образующихся в регионе, в производственные процессы.

В соответствии с предложенным автором алгоритмом создания экотехнопарка и на основе анализа образуемых в Нижнекамском промышленном узле отходов предложена перспективная схема экотехнопарка Нижнекамского промышленного узла, основные элементы которого приведены на рисунке 2.

Материальными потоками экотехнопарка являются потоки отходов: отходы производства шин, изношенные резинотехнические изделия (РТИ), изношенные шины; отработанные и некондиционные масла, смазочные материалы; полимерные отходы; древесные отходы; отходы стекла и стеклобой; макулатура; песок формовочный горелый отработанный; накопленные отходы.

Утилизация перечисленных отходов с получением продукции с долей вторичных ресурсов и вторичного сырья позволит создать материалы, востребованные как внутри Нижнекамского промышленного узла, так и за его пределами. Получаемая продукция: регенерат резины; резиновая крошка; вторичная резина; термоэластопласты; изделия из вторичной резины и термоэластопластов; вторичные масла, смазочные материалы; топливо из ТКО; пластиковые гранулы и хлопья.

В качестве примера комплексного подхода к утилизации отходов производства и потребления рассмотрен вопрос сбора и утилизации изношенных шин и отходов РТИ, которые образуются на предприятиях, входящих в Нижнекамский промышленный узел. Предложено создание комплекса предприятий, занятых в утилизации изношенных шин и отходов РТИ - от переработки отходов до выпуска готовой продукции на основе резиновой крошки. В качестве якорного рассматривается предприятие по переработке изношенных шин и отходов РТИ мощностью до 10 тысяч т в год с получением резиновой крошки размером от 0,63 мм до 5 мм. Предложено рассмотреть в составе экотехнопарка предприятие по производству резинобитумных мастик и резинобитумных вяжущих мощностью до 6 тысяч т в год для применения в дорожно-мостовом строительстве. Проведённые автором исследования показали, что введение РК в битум позволяет получить экологически безопасные, технологичные и экономически эффективные резинобитумные композиции с высокими эксплуатационными характеристиками.

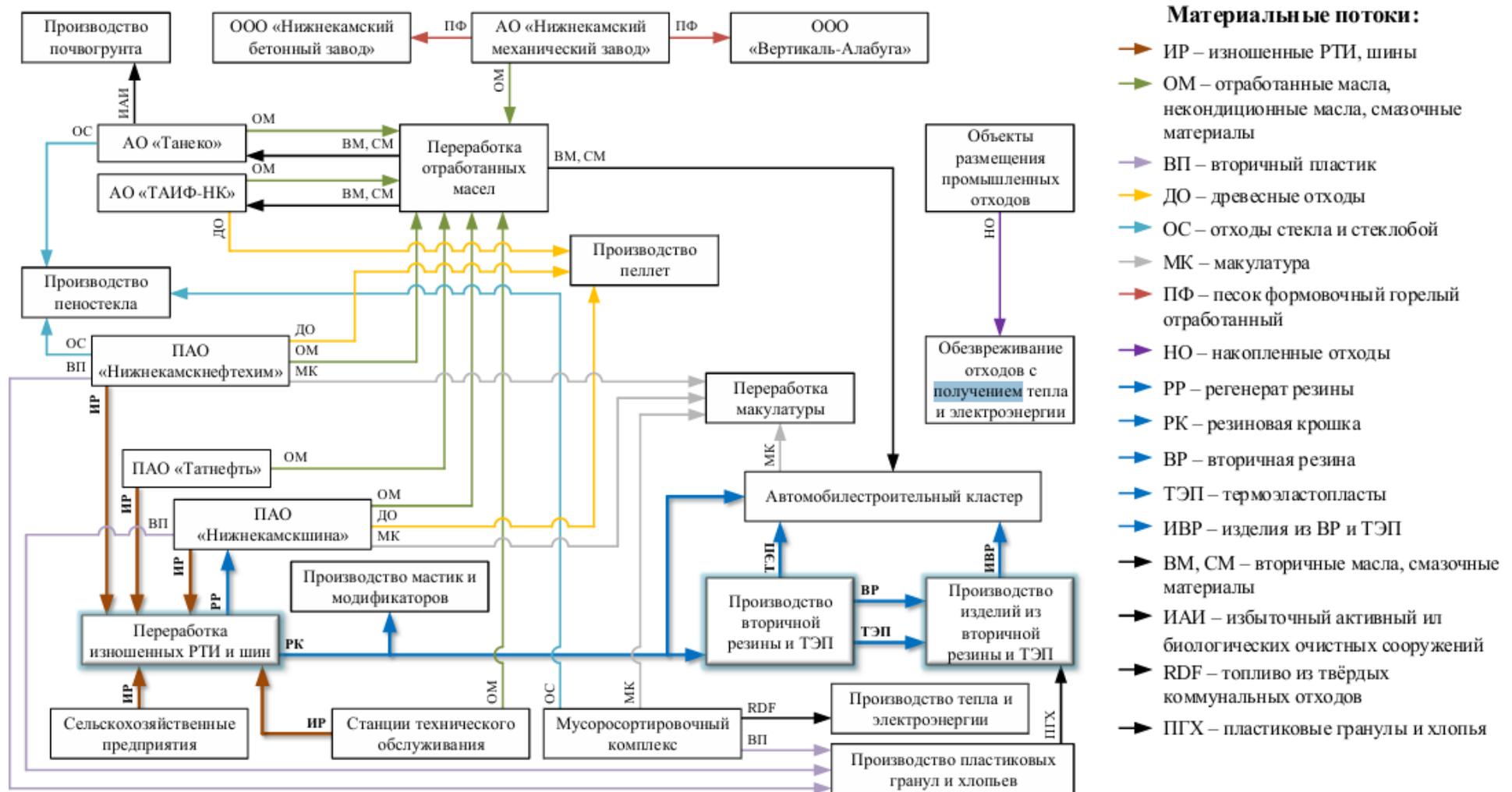


Рисунок 2 – Перспективная схема экотехнопарка Нижнекамского промышленного узла

В третьей главе рассмотрены исходные материалы для исследований и методы экспериментальных исследований, которые были использованы автором при разработке технологии термостабильной экологически безопасной РБК, которая стала основой для производства мастик и резинобитумных вяжущих для применения в дорожном и общегражданском строительстве. Представлены установленные стандартами методы определения физико-механических свойств резинобитумных композиций разных марок. Приведены лабораторные приборы, аппараты и установки, которые применялись для проведения исследований разработанной РБК. Все исследования физико-механических свойств разработанной РБК и резинобитумных мастик были выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ и ASTM.

В четвёртой главе представлены результаты исследований использования резиновой крошки как продукта утилизации изношенных шин и отходов РТИ предприятий Нижнекамского промышленного узла (ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Татнефть», ПАО «Нижнекамскшина») и материалов на ее основе в дорожном строительстве в качестве модификатора битума, основного компонента резинобитумных мастик и модифицирующей добавки в асфальтобетонную смесь. Проведены сравнительные исследования рецептур резинобитумных вяжущих, приготовленных двумя способами – механическим смешиванием и с использованием технологии химической модификации битума с добавлением резиновой крошки.

Проведён анализ показателей резинобитумной композиции, приготовленной механическим смешиванием, в которой для исследований был выбран комплексный модификатор асфальтобетона «КМА» производства компании «Колтек», в состав которого входит до 85 % резинового мелкодисперсного порошка. В обычной практике модификатор характеризуется вводом на АБЗ по «сухому» методу в разогретую смесь инертных материалов до добавления в неё битума.

Значения показателей физико-механических свойств исходного битума и его композиций с «КМА», приготовленных механическим смешиванием, представлены на рисунках 3, 4. В отличие от исходного битума, композиция битума с «КМА» характеризуется высокой эластичностью. Значение этого показателя при содержании модификатора 7 % по массе вяжущего достигает при 25 и 0 °С отметки 50-51 %, в то время как для битума марки БДУ 70/100 всего 4 и 3 % соответственно при 25 и 0 °С.

Введение в битум модификатора «КМА» в количестве 7, 14 и 20 % масс. приводит к повышению температуры размягчения и растяжимости при 0 °С получаемых композиций (рисунок 3).

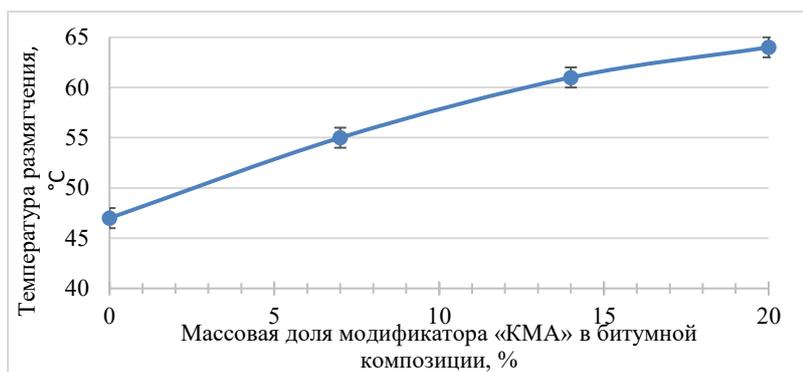
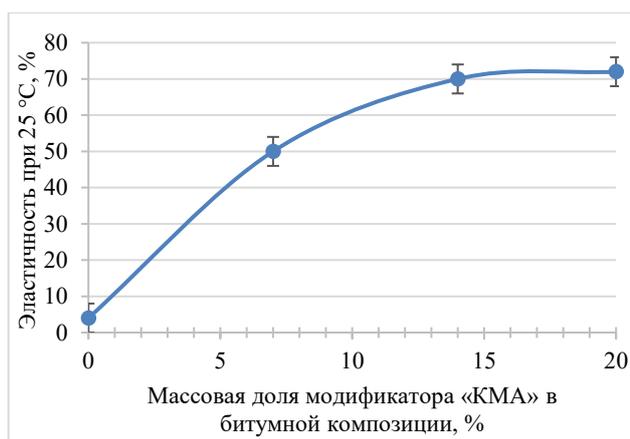
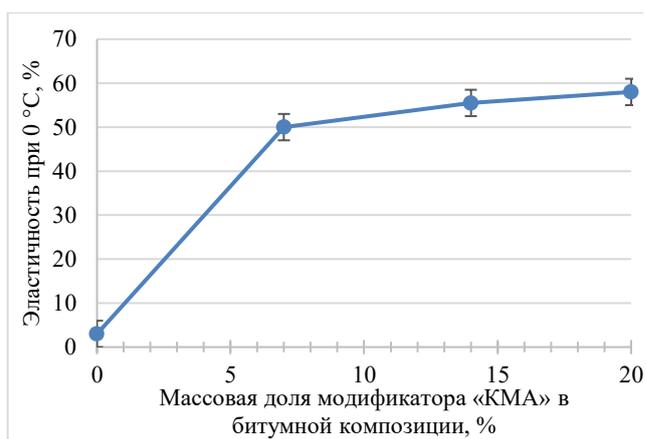


Рисунок 3 –
Температура размягчения
битума нефтяного
дорожного с улучшенными
характеристиками марки
БДУ 70/100 и его
композиций с
модификатором «КМА»

Повышение содержания «КМА» приводит к значительному повышению способности композиции к обратной деформации (эластичность). Так, значения показателя «эластичность при 25 °C» композиций с 14 и 20 % масс. «КМА» достигает соответственно 72 и 70 % (рисунок 4(а)), а показателя «эластичность при 0 °C» – 54 и 58 % (рисунок 4(б)) по сравнению с присущей нефтяным битумам эластичностью: при 25 °C – 4 %; при 0 °C – 3 %.



а)



б)

Рисунок 4 – Эластичность битума нефтяного дорожного с улучшенными характеристиками марки БДУ 70/100 и его композиций с модификатором «КМА» при 25 °C (а) и 0 °C (б)

Однако в ходе исследований определено, что модификатор «КМА» распределяется в массе битума в виде дисперсной фазы, фактически являясь наполнителем в битуме и не образует внутреннюю структуру битумного вяжущего. В отличие от полимеров в составе битумного вяжущего, независимо от марки битума в отсутствие перемешивания композиции битума с модификатором «КМА» наблюдается расслоение (таблица 1).

Различие значений показателя «температура размягчения» массы композиции, находящейся в верхнем и нижнем слоях образца после термостатирования в течение 3-х суток без перемешивания, составляет от 14 °C (для БДУ 70/100 и БДУС 70/100) до 17 °C для БНД 60/90.

Таблица 1 – Физико-механических свойств массы композиций битумов разных марок с 14% масс. модификатора «КМА», сконцентрировавшейся в верхнем и нижнем слоях образцов композиций после термостатирования в статических условиях

Наименование показателя		БДУ 70/100	БНД 60/90
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	Верхний слой	53	34
	Нижний слой	64	51
Δ Показателя, 0,1 мм		11	17
Температура размягчения, °С	Верхний слой	58	58
	Нижний слой	72	75
Δ Показателя, °С		14	17
Эластичность* при 25 °С, %	Верхний слой	31	76
	Нижний слой	76	62
Δ Показателя, %		45	24

Таким образом, установлено, что дисперсная система композиционного материала, образующаяся при механическом смешивании битума с модификатором «КМА», термодинамически неустойчива и расслаивается при повышенной температуре в отсутствие перемешивания. Это является критичным требованием к битумным вяжущим для дорожного строительства.

Проблему расслаивания вяжущего с резиновой крошкой решает модификация битума резиновой крошкой с добавлением химических реагентов. Полученное структурированное резинобитумное вяжущее затем вводится в асфальтобетносмеситель на асфальтобетонном заводе.

Автором разработана технология и получен Патент на битумно-резиновую композицию и способ её получения, зарегистрирован торговый знак «БРИТ». При приготовлении экологически безопасной РБК, резинобитумных мастик и асфальтовых вяжущих «БРИТ» применяются химические реагенты и различные температурные режимы, что способствует получению высокотехнологичного вяжущего, повышается качество базовых битумов. Производство мастик на основе резиновой крошки для строительства происходит при непосредственном создании композиционных материалов на основе химических реакций битума и резиновой крошки с образованием внутренней структуры модифицированного вяжущего.

На основе полученных в ходе исследований данных по показателям пенетрации, температуры размягчения, температуры хрупкости по Фраасу, эластичности был разработан способ получения резинобитумной композиции, которая включает в себя резиновую крошку, активный модификатор и вяжущее – битум. Осуществлены подборы трёх составов с различным сочетанием резиновой крошки (содержание по массе: Состав 1- 14,8 %, Состав 2 - 7,6 %, Состав 3 - 5 %), парабиновых кислот и их производных (содержание по массе 2 %, 1 %, 1,6 %) и исходного битума (содержание по массе 83,2 %, 81,4 %, 93,4 %).

В качестве активного модификатора предложено использовать соединение из ряда парабиновых кислот, способных регулировать процесс деструкции и сшивки частиц

резины в битуме без заметной сегрегации за счёт генерирования химически активных частиц в составе, образуемых при распаде активного модификатора изолированных газовых микровключений.

Исследованиями установлено, что мастики, изготовленные с добавлением мелкодисперсной резиновой крошки (размером до 0,63 мм), отличаются широким интервалом пластичности, высокой растяжимостью при пониженных температурах и значительно улучшенными адгезионными свойствами (таблица 2).

Таблица 2 – Физико-механические показатели битумно-резиновой композиции разного состава

Показатель	Фактические значения для битума марки БДУ 70/100	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3
Пенетрация, дм при +25 °С	82	35	31	47
Температура размягчения, °С	47	97	92	92
Температура хрупкости, °С	-19	-24	-18	-23
Растяжимость, см при 0 °С	4,0	6,1	3,3	4,8
Эластичность, % при +25 °С	4	76	41	80
Адгезия, %	выдерживает с мрамором по контрольному образцу № 2	100	100	100
*Состав № 1: резиновая крошка – 14,8 % масс.; ряд парабиновых кислот и их производные – 2 % масс.; битум – 83,2 % масс; **Состав № 2: резиновая крошка – 7,6 % масс.; ряд парабиновых кислот и их производные – 1 % масс.; минеральный наполнитель – 10 %; битум – 81,4 % масс; ***Состав № 3: резиновая крошка – 5 % масс.; ряд парабиновых кислот и их производные – 1,6 % масс.; битум – 93,4 % масс.				

Показано, что мастика резинобитумная композиционная марки «БРИТ-И» характеризуется устойчивостью при повышенной температуре. Испытания на термостатирование показали, что различие значений показателя температуры размягчения мастики в верхнем и нижнем слоях массы после термостатирования образца в течение трёх суток без перемешивания не превышает 5 °С, в отличие от РБК с модификатором «КМА», который смешивался с битумом механически (рисунок 5).

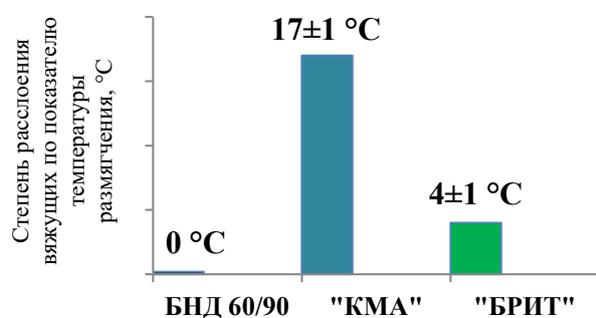


Рисунок 5 – Сравнение степени расслоения вязущих: битума марки БНД 60/90, «КМА» и «БРИТ» (показателей изменения температуры размягчения при отборе проб с верхнего и нижнего слоя емкости)

Мастика «БРИТ» сохраняет присущую ей однородность, значительного расслоения материала не наблюдается, что свидетельствует о структурировании битума резиновой крошкой вследствие химической реакции при производстве резинобитумной композиции (таблица 3).

Разработанные мастики марки «БРИТ» показали

следующие свойства:

- отсутствие расслоения при нагреве в отсутствии перемешивания, что позволяет переводить их в текучее состояние перед использованием по прямому назначению без изменения структуры материала;
- способность выдерживать длительное воздействие воды без изменения объёма;
- высокие показатели адгезии без использования праймеров при применении на объектах строительства.

Таблица 3 – Результаты определения физико-механических свойств РБК «БРИТ» с 14,8 % масс. резиновой крошки с битумами разных марок после термостатирования в статических условиях (верхний и нижний слои РБК)

Наименование показателя		БДУ 70/100	БНД 60/90
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	Верхний слой	46	27
	Нижний слой	41	23
Δ Показателя, 0,1 мм		5	4
Температура размягчения, °С	Верхний слой	70	97
	Нижний слой	65	93
Δ Показателя, °С		5	4
Эластичность* при 25 °С, %	Верхний слой	42	50
	Нижний слой	37	45
Δ Показателя, %		5	5

Примечание: * – Через 10 мин после разрыва образца, растянутого на дуктилометре при 25 °С

Использование разработанной мастики резинобитумной композиционной марки «БРИТ-И» на автомобильных дорогах и строительных объектах рекомендуется при выполнении следующих работ: заделка деформационных швов железобетонных мостов; заделка продольных и поперечных швов и трещин цементно- и асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог; заливка мелких трещин на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог; заполнению швов в прирельсовом пространстве трамвайных путей; проведение кровельных и гидроизоляционных работ.

Принципиальная технологическая схема производства РБК представлена на рисунке 6. Получение РБК осуществляется следующим образом: сначала битум массой 0,85 т, предварительно прогретый при температуре 190-205 °С, перекачивают из битумной ёмкости (6) в обогреваемый реактор (7). При заданной скорости перемешивания, например, 20 об/мин, постепенно засыпают КРШ (чёрную) в количестве 0,10 т из бункера-накопителя для РК (1), затем мешалкой и насосом перемешивают и добиваются равномерного распределения РК по объёму. После этого дают выдержку по времени для набухания и деструкции РК. После чего постепенно добавляют КРТО (серую) в количестве 0,05 т из бункера-накопителя для РК (2), также постепенно перемешивают до равномерного распределения её по объёму и дают выдержку по времени. После этого из ёмкости (4) добавляют активный модификатор в

количестве $\frac{2}{3}$ от его общей массы, например, (в данном примере – в количестве 0,006 т), равномерно распределяют её по объёму вяжущего и выдерживают до окончания газовыделения. После окончания газовыделения добавляют остальное количество активного модификатора, то есть $\frac{1}{3}$ оставшейся массы парабановой кислоты (в данном примере в количестве 0,004 т) из ёмкости (5), равномерно распределяют по объёму вяжущего, также выдерживают до окончания процесса газовыделения.

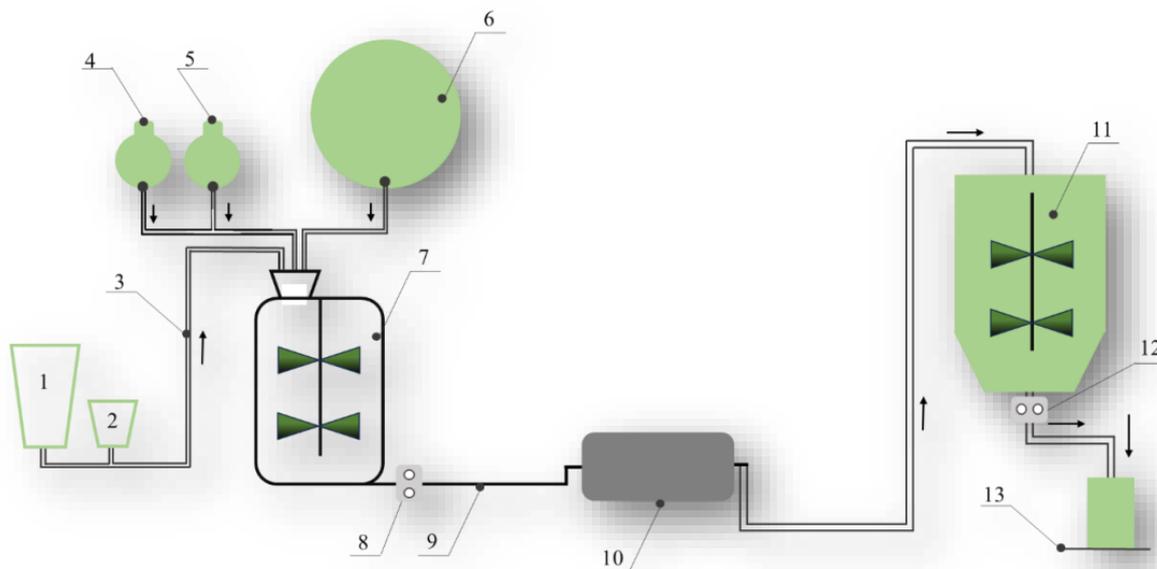


Рисунок 6 – Принципиальная технологическая схема производства РБК: 1 – бункер-накопитель для резиновой крошки шинной (СЦС-3,4); 2 – бункер-накопитель для резиновой крошки серой (СЦС-3,4); 3 – линия загрузки резиновой крошки в смеситель (ТА114/2-2600-6,2); 4 – ёмкость для химического реагента 1 (МК.ВН); 5 – ёмкость для химического реагента 2 (МК.ВН); 6 – битумная ёмкость (РГСн-25 м³); 7 – обогреваемый смеситель с высокоскоростной мешалкой (V-2м³, ООО НПЦ «ПРОМКУРС»); 8 – шестерёнчатый насос (VN-305); 9 – обогреваемая линия транспортировки резинобитумной композиции (ООО «КАМЕТА»); 10 – коллоидная мельница (КМГ-5); 11 – накопительная ёмкость с низкоскоростной лопастной мешалкой (V-4м³, ООО 2Б2-Центр»); 12 – шестерёнчатый насос (VN-305); 13 – узел разлива готовой резинобитумной композиции (ГП ООО «МВС Мехатроника»).

Технологический процесс изготовления РБК заканчивается после отделения прореагировавшей газовой фазы. Готовый материал с помощью шестерёнчатого насоса (8) по обогреваемому битумопроводу (9) перекачивают в накопительную ёмкость с низкоскоростной лопастной мешалкой (11) и после понижения температуры полученной композиции на 20-30 °С разливают в тару через узел разлива (13). Готовый материал не содержит открытых пор и существенных по размерам газовых включений. Мастика должна быть однородной, без посторонних включений и не иметь частиц резиновой крошки, не покрытых битумом, и соответствовать нормам по ГОСТ 12.1.004-91.

В пятой главе произведен расчет экономического и экологического эффекта от внедрения предложенной технологии получения РБК, которая включает резиновую крошку, активный модификатор и битум. Средняя себестоимость производства РБК в зависимости от рецептуры вторичного резинового сырья, составила 38788 руб. за 1 т.

Экологический вред был рассчитан на примере полигона промышленных отходов ПАО «Нижекамскшина» с учетом массы отходов с одинаковым классом опасности (IV класс) 183600 т и занимаемой площади полигона промышленных отходов 15,1 га. Для расчёта применялась методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (Приказ Минприроды №238 от 08.07.2010 (ред. от 11.07.2018)). Рассчитанный экологический вред составил 5 072 338 000 руб.

Вместе с тем на основании произведенного расчета экономической эффективности при внедрении технологии приготовления РБК, с учётом инвестиционных затрат и расчёта себестоимости приготовления продукции, можно отметить, что в случае организации ПАО «Нижекамскшина» предприятия по утилизации отходов шин (брак) и отходов РТИ предотвращённый экологический вред почвам может составить в ценах 2024 года 7 303 600 рублей в год с учетом утилизации 270 т отходов IV класса опасности и производства резинобитумных мастик и асфальтовых вяжущих на основе РБК в объёме 1095 т в год.

Сбыт резиновой крошки (продукта переработки резиносодержащих отходов) различных фракций может стать экономически эффективным для предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведённых исследований сформирован научно-методический подход к организации экотехнопарков и разработан экологически безопасный способ утилизации вторичного резинового сырья в условиях создания экотехнопарка для применения на объектах дорожного строительства.

1. Разработан механизм функционирования экотехнопарков на принципах промышленного симбиоза на примере Нижнекамского промышленного узла Республики Татарстан. Сформулированы принципы планирования экотехнопарков как одного из элементов экономики замкнутого цикла, что нашло отражение в нормативно-правовых актах Российской Федерации (Постановления Правительства РФ от 04 июля 2022 г. № 1202, и от 07 июля 2022 г. № 1216).

2. Разработана технология получения экологически безопасной РБК на основе резиновой крошки для применения в дорожном строительстве. В качестве активного модификатора при приготовлении РБК предложено использовать соединения из ряда парабановых кислот, способных регулировать процесс деструкции и сшивки частиц

резины в битуме. Осуществлён подбор соотношения компонентов РБК: резиновая крошка 14,8 % (масс.); ряд парабиновых кислот и их производных 2 % (масс.); битум 83,2 % (масс.), которая позволяет получить РБК с устойчивостью к расслоению более чем в 3 раза, повышаются температура размягчения (от 47 °С до 97 °С) и эластичность (с 4 % до 76 %), растяжимость при 0 °С (с 4 см до 6,1 см), снижается температура хрупкости (с -19 °С до -24 °С) по сравнению с контрольным образцом, не модифицированным парабиновыми кислотами.

3. Разработана принципиальная технологическая схема производства экологически безопасной РБК по представленной рецептуре. Произведён расчёт средней себестоимости производства РБК в зависимости от рецептуры вторичного резинового сырья, которая составила 38788 руб. за 1 т в зависимости от рецептуры (процентное содержание вторичного резинового сырья).

4. Рассчитан предотвращенный экологический вред, который составил 7 303 600 рублей в год для ПАО «Нижекамскшина» с учетом утилизации 270 тонн в год отходов IV класса опасности.

Перспективным направлением развития исследований может стать разработка обоснования, необходимого для создания стандартов, содержащих методические рекомендации по организации и функционированию экотехнопарков на принципах промышленного и коммунально-промышленного симбиоза, а также документов стандартизации, определяющих технологии производства и применения продукции с долей вторичного резинового сырья.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

Минобрнауки России по специальности 1.5.15. Экология (технические науки)

1. **Марьев, В.А.** Опыт применения резинобитумных вяжущих и мастик повышенного качества / В.А. Марьев, А.В. Руденский // Дороги и мосты. – 2005. - Вып.13, № 1. – С. 128-133.

2. Албегова, А.В. Анализ проблем управления российской системой обращения с отходами производства и потребления / А.В. Албегова, А.М. Гонопольский, **В.А. Марьев**, И.Ю. Петухова // Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – № 2. – С. 47–54.

3. **Марьев, В.А.** Ресурсосбережение при строительстве и ремонте дорожных асфальтобетонных покрытий за счет эффективного использования резиновой крошки / В.А. Марьев, А.В. Руденский, Б.М. Слепая, Ж.В. Перлина // Дороги и Мосты. – 2015. - № 33. - С. 334–344.

4. Николаева, Л.А. Использование вторичного резинового сырья в условиях экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле / Л.А. Николаева, **В.А. Марьев**, Д.В.

Шушпанова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. - 2025. - № 1(95). – С.61-71. (**К2**).

5. Николаева, Л.А. Утилизация вторичного резинового сырья в технологии производства битумной композиции /Л.А. Николаева, **В.А. Марьев** // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2025. -№ 2. – С. 81-86. (**К3**).

Статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и Scopus:

1. Saha, I. Implementation of Eco-Industrial Park for Effectual Establishment of Circular Economy in Russia / I. Saha, T.S. Smirnova, **V.A. Maryev** // Nature Environment and Pollution Technology (An international Quarterly Scientific Journal). – 2021. – V. 20, I. 5. – P. 2031-2040. (**Scopus, Q3**).

2. Тихонова, И.О. Оценка перспектив формирования экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле / И.О. Тихонова, Е.М. Данилова, **В.А. Марьев**, Е.М. Аверочкин // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 4. – С. 45-51. (**К1; Scopus, Q3; WoS(ESCI)**).

3. **Maryev, V.A.** Remediation process in Landfill in Arctic region- a case of circular economy / V.A. Maryev, S.K. Ghosh, T.S. Smirnova, M. Dineshkumar //Journal of Solid Waste Technology and Management. – 2023. – V. 49, № 1. – С. 14-31. (**Scopus, Q4**).

Статьи в других рецензируемых научных изданиях

1. Руденский, А.В. Применение резиновой крошки для повышения качества дорожных битумов и асфальтобетонов / А.В. Руденский, А.С. Хромов, **В.А. Марьев** // Дороги России XXI века. – 2004. – № 5. – С. 62-71.

2. Перлина, Ж.В. Переработка использованных шин: международный опыт / Ж.В. Перлина, **В.А. Марьев**, Ю.А. Шувалов // Твердые бытовые отходы. – 2012. – № 12(78). – С. 58-63.

3. **Марьев, В.А.** Факторы успеха экотехнопарков в мире / В.А. Марьев, Т.С. Смирнова // Твердые бытовые отходы. – 2017. – № 2(128). – С. 14-17.

4. **Марьев, В.А.** Использование вторичных материальных ресурсов при строительстве и ремонте автомобильных дорог – важный резерв ресурсосбережения / В.А. Марьев, А.В. Руденский // Дороги и Мосты. – 2017. – № 1. – С. 11-24.

5. Вишняков, Д.Я. Стратегический курс российской федерации на промышленную переработку отходов и вторичных ресурсов, экотехнопарки - основа отрасли / Я.Д. Вишняков, С.П. Киселева, **В.А. Марьев**, Е.А. Демичева // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2017. – № 4. – С. 151-157.

6. Скобелев, Д.О. Создание экотехнопарков – рациональный путь к развитию отрасли комплексной переработки отходов и использования вторичных ресурсов / Д.О. Скобелев, **В.А. Марьев**, Г.Г. Потапов, Л.Я. Шубов, И.Г. Доронкина // Экология промышленного производства. – 2018. – № 2. – С. 7–21.

7. **Марьев, В.А.** Промышленный симбиоз как инструмент устойчивого развития в современном мире / В.А. Марьев, Т.С. Смирнова, Л.В. Гузь, Ж.А. Манкулова // Экология промышленного производства. – 2018. – № 3 (103). – С. 64-68.

8. **Марьев, В.А.** Национально-правовой аспект в создании условий для развития промышленного симбиоза как одного из основных элементов экологической промышленной политики в Российской Федерации / В.А. Марьев, Т.С. Смирнова, Л.В. Гузь, Ж.А. Манкулова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2018. – № 3. – С. 15–28.

9. **Марьев, В.А.** Реализация концепции экономики замкнутого цикла: от теории к практике / В.А. Марьев, Т.С. Смирнова, Л.В. Гузь, Ж.А. Манкулова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2018. – № 6. – С. 58-63.

10. **Марьев, В.А.** Использование вторичных материальных ресурсов / В.А. Марьев, А.В. Руденский // Мир дорог. – 2018. – № 105. – С. 65-68.

11. Трофименко, Ю.В. Объемы образования изношенных крупногабаритных и сверхкрупногабаритных шин и проблемы их утилизации / Ю.В. Трофименко, В.И. Комков, **В.А. Марьев** // Экология промышленного производства. – 2019. – № 1. – С. 12–16.

12. **Марьев, В.А.** Практическая реализация принципов промышленного симбиоза в г. Новокузнецке / В.А. Марьев, Е.П. Волынкина, Т.С. Смирнова, С.П. Мочалов // Менеджмент в России и за рубежом. – 2019. – № 5. – С. 99-106.

13. Куприн, Р.Г. Вовлечение вторичных ресурсов в экономический оборот как одно из основных направлений реализации экологической промышленной политики в Российской Федерации / Р.Г. Куприн, О.Б. Латонова, **В.А. Марьев**, Т.С. Смирнова // Экономика устойчивого развития. – 2020. – № 3 (43). – С. 200–206.

14. **Марьев, В.А.** Роль эко-индустриальных парков в комплексном управлении ресурсами в Российской Федерации / В.А. Марьев, О.В. Голуб, Т.С. Смирнова, В.А. Широков // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 3. – С. 120–126.

15. Волынкина, Е.П. Экотехнопарк в Новокузнецке как пример развития техноэкосистемы и реализации принципов экономики замкнутого цикла / Е.П. Волынкина, **В.А. Марьев**, О.В. Голуб, Т.С. Смирнова // Экология промышленного производства. – 2020. – № 4 (112). – С. 52-58.

16. Гаев, Ф.Ф. Реализация Стратегии развития отходов перерабатывающей отрасли в России / Ф.Ф. Гаев, Т.С. Смирнова, О.В. Голуб, **В.А. Марьев** // Экономика устойчивого развития. – 2021. – № 2(46). – С. 42-46.

17. **Марьев, В.А.** Экотехнопарки - базовые элементы инфраструктуры экономики замкнутого цикла / В.А. Марьев // Вестник МНЭПУ. – 2021. – № S1. – С. 77-86.

18. Николаева, Л.А. Реализация Федерального проекта «экономика замкнутого цикла» в условиях Арктической зоны Российской Федерации. Ресурсосбережение за счёт использования вторичных ресурсов и вторичного сырья в условиях логистических

ограничений / Л.А. Николаева, **В.А. Марьев** // The Newman in Foreign Policy. – 2025. – Т. 1, № 80(124). – С. 81-86.

19. Николаева, Л.А. «экотехнопарки на принципах коммунально-промышленного симбиоза в регионах как механизм решения задач национального проекта «Экологическое благополучие» / Л.А. Николаева, **В.А. Марьев** // Управление техносферой. – 2025. – Т. 8, № 2. – С. 156-171.

Патенты:

1. Пат. 2223990 RU Битумно-резиновая композиция и способ ее получения / **В.А. Марьев**, В.А. Немцев, О.Н. Чернов, А.В. Руденский; заявитель и патентообладатель ООО "РИНТЕК". - № 2002102189/04; заявл. 29.01.2002; опубл. 20.02.2004, Бюл. № 5. – 8 с.

Статьи в сборниках материалов и тезисов Международных и Всероссийских конференций:

1. **Марьев, В.А.** Экотехнопарки как основа комплексной системы управления отходами и вторичными ресурсами (мировой опыт) / В.А. Марьев, Т.С. Смирнова, С.П. Киселева // Эколого-ориентированное управление рисками и обеспечение безопасности социально-экономических и общественно-политических систем и природно-техногенных комплексов: сб. матер. круглого стола. – М.: Издательский дом ГУУ, 2017. – С. 102–110.

2. Киселева, С.П. Переход к экономике замкнутого цикла – путь к улучшению экологической ситуации в России / С.П. Киселева, **В.А. Марьев**, Т.С. Смирнова // Приоритетные и перспективные направления научно-технического развития Российской Федерации: материалы I Всерос. науч.-практич. конф. – М.: ИД «ФГБОУ ВО ГУУ», 2018. – С. 240–245.

3. **Марьев, В.А.** Изношенные шины – важный сырьевой ресурс для производства дорожных строительных материалов / В.А. Марьев, И.О. Тихонова // Технологии переработки отходов с получением новой продукции: матер. IV Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием. – Киров, 2022. – С. 121–123.

4. **Марьев, В.А.** Комплексное управление отходами на Таймыре на основе коммунально-промышленных симбиозов / В.А. Марьев // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения –2024». - Мурманск -Апатиты, 2024. - С. 36.

5. **Марьев, В.А.** Использование резинобитумной композиции из вторичного резиносодержащего сырья в дорожном хозяйстве / В.А. Марьев, Д.В. Шушпанова // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. – 2024. - Т. XXXVIII. – № 8 (287). - С.71-74.