

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка технологии получения асфальтобетонной смеси при
использовании резиновой крошки

Студент

И.А. Кузнецов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ существующих технологий в области получения асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки	8
1.1 Литературный обзор связующих компонентов для изготовления асфальтобетонных смесей.....	8
1.2 Свойства и требования к составу асфальтобетонной смеси.....	10
1.3 Аналитический обзор технологий производства и требований к асфальтобетонным смесям.....	20
Глава 2 Разработка технологии получения асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки	26
2.1 Существующая технология получения резиновой крошки на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»	26
2.2 Существующая схема получения асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки	29
2.3 Особенности смешения резиновой крошки и песка.....	47
2.4 Предложение технологии по получению асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки, полученной на базе ООО«ЭкоРесурсПоволжье».....	51
2.5 Расчет материального баланса получения механоактивированной резиновой крошки.....	55
2.6 Экспериментальные особенности процесса смешения.....	58
2.7 Расчет материального баланса изготовления модифицированного асфальтобетона.....	66
2.8 Расчет экономической эффективности производства механоактивированной резиновой крошки.....	69
Заключение	78
Список используемой литературы и используемых источников.....	80
Приложение А Протоколы лабораторных исследований	86

Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования

Ежегодно происходит увеличение количества автотранспорта и, как следствие, увеличение образования резины, потерявшей свои потребительские свойства. По оценкам ООН в мире ежегодно накапливается более 7 млн. тонн резины, которые необходимо перерабатывать. В России объемы образования изношенных шин составляют порядка 850-900 тыс. тонн в год (рисунок 1).

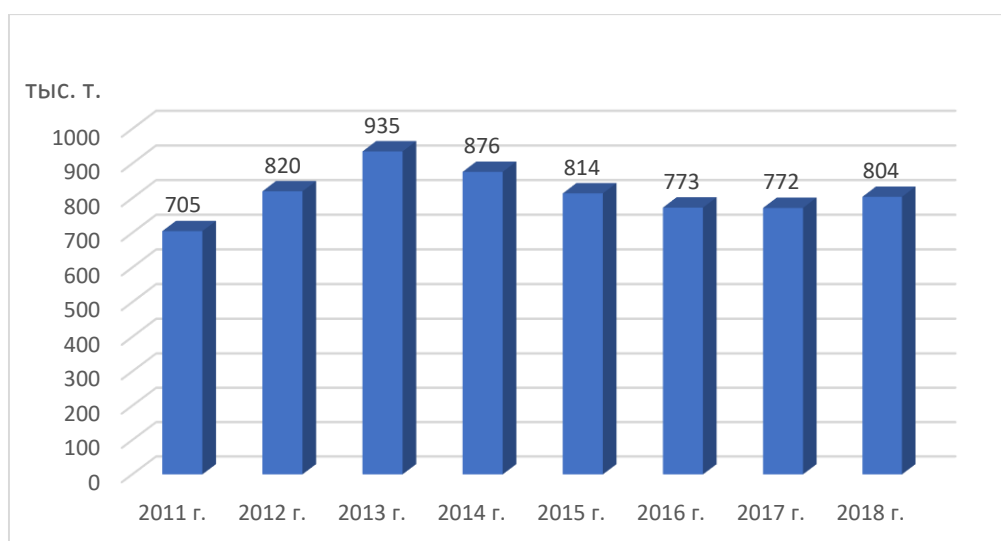


Рисунок 1 – Оценка объемов образования изношенных шин в РФ, тыс. ТОНН

Проблема переработки изношенных автомобильных покрышек имеет важное экологическое значение. На сегодняшний день почти 90% изношенных шин утилизируются путем захоронения или сжигания, что оказывает негативное влияние на окружающую среду.

Почти 100% накопленных отработанных автомобильных шин сжигается в Швейцарии, в США объем сжигания составляет 75-80%, в России автопокрышки, потерявшие эксплуатационные свойства, вывозятся на свалки, при этом объем составляет 96%.

Изношенные автомобильные шины в своем составе содержат большое

количество источников экономической выгоды и снижения потребления природных ресурсов: резина, имеющая свойства, приближенные к первоначальным, армирующие металлические, текстильные материалы.

Для того, чтобы решить проблемы ежегодного увеличения объемов накопления изношенных автомобильных шин, необходимо разрабатывать программы, позволяющие решить следующие задачи:

- сокращение или полное прекращение вывоза данного вида отходов на свалки;
- увеличение объемов автомобильных покрышек с восстановленным протектором;
- переработка автопокрышек для получения резиновой крошки с дальнейшим ее внедрением в различные сферы производств

Применение резиновой крошки различной степени измельчения является важным вопросом исследования во многих научных работах. Основной объем резиновой крошки, получаемой при переработке автомобильных покрышек, используется как добавка к резиновым смесям.

Существует несколько способов утилизации поступающих на переработку шин. Наиболее перспективным является метод механической переработки отработанных автомобильных покрышек, так как позволяет использовать получаемые в результате измельчения материалы для вторичного использования. Экспертные оценки существующих в РФ мощностей по переработке шин (170 тыс. тонн по состоянию на 2020 г.) в сравнении с потенциальным объемом образования шинных отходов приводят к выводу о том, что мощностей для утилизации недостаточно.

При механической переработке отработанных автомобильных шин образуется большой объем резиновой крошки, которую возможно использовать в различных отраслях в зависимости от фракции. Резиновая крошка обладает такими свойствами, как упругость, пластичность, устойчивость к истиранию и повреждению.

Изучение работ ученых показало, что введение резиновой крошки в состав асфальтобетонной смеси позволит улучшить качество асфальтобетонной смеси и позволит частично решить проблему утилизации отработанных автомобильных покрышек.

Объект исследования: технологический процесс переработки отработанных автомобильных покрышек для дальнейшего использования в производстве асфальтобетона.

Предмет исследования: асфальтобетонная смесь на основе резиновой крошки.

Цель исследования: повышение уровня утилизации автомобильных покрышек при использовании дробленной резиновой крошки в составе асфальтобетонной смеси.

Гипотеза исследования заключается в предложении, что при использовании резиновой крошки в составе асфальтобетонной смеси это позволит улучшить физико-механические свойства смеси и обеспечит повышение объемов утилизации отработанных автомобильных покрышек.

Проблема исследования – увеличение роста образования отработанных автомобильных покрышек и отсутствие эффективной системы их.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- провести анализ эффективности существующих технологий утилизации изношенных автомобильных покрышек.
- провести исследование физико-механических свойств битума и асфальтобетона за счет использования дробленной резиновой крошки.
- предложить технологию получения асфальтобетонной смеси с использованием резиновой крошки.
- провести технико-экономический анализ внедрения предложенной технологии.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: научные труды отечественных и зарубежных ученых: Шулдяковой К.А. Волковой В.А. Поляковой С.В., Никольского В.Г. Слепого Б.М. Курденковой И.Б., Томаса Б.С., Вуландари П., Тджандра Д., Гарсиа Р., Фореста М.

Базовыми для настоящего исследования явились: работы Ивановой Т.Л. в области введения модифицированной резиновой крошки в бетоны, Прокопец В.С. с диссертационным исследованием «Повышение эффективности дорожно-строительных материалов механоактивационным модифицированием исходного сырья», а также разработки Сапроновой И.А., Андриенко В.Г., Горловой Е.Е., Дьякова К.А., Черскова Р.М.

Методы исследования: проведение анализа литературных источников, проведение сравнительных анализов технологий, проведение расчетов материальных балансов, экспериментальные испытания полученных образцов асфальтобетонных смесей осуществлялись по Методикам испытаний в соответствии с ГОСТ 9128-2013, ГОСТ 12801-98.

Опытно-экспериментальная база исследования: производственная база ООО «ЭкоРесурсПоволжье», лаборатории Института химии и энергетики ТГУ, лаборатории АСФ «ДорСтрой».

Научная новизна исследования заключается в исследовании свойств асфальтобетонной смеси при введении в его состав резиновой крошки, полученной при переработке изношенных автомобильных покрышек с последующей механоактивацией резиновой крошки.

Теоретическая значимость исследования заключается в определении количественных соотношений внесения резиновой крошки (механоактивированной) в асфальтобетонную смесь для улучшения ее физико-механических свойства.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения предложенной технологии на базе предприятия ООО «ЭкоРесурсПоволжье» и снижения воздействия на окружающую среду за

счет уменьшения объемов размещения отработанных автомобильных покрышек на полигонах.

Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается экспериментальными исследованиями и расчетами при использовании методов математического моделирования.

Личное участие автора разработка эффективного способа производства механоактивированной резиновой крошки и состава асфальтобетонной смеси и для улучшения ее физико-механических свойства, проведение экспериментальных исследований и расчетов.

Апробация и внедрение результатов работы проводились на Всероссийской студенческой научно-практической Междисциплинарной конференции «Молодежь. Наука. Общество - 2020», проходивший в период с 25 декабря 2020 г. по 29 января 2021 года со статьей «Анализ применения резиновой крошки после утилизации отработанных автомобильных покрышек в технологическом процессе получения асфальтобетонной смеси».

На защиту выносятся:

Предложение по составу асфальтобетонной смеси с использованием механоактивированной резиновой крошки и технологии ее получения.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 2 глав, заключения, содержит 14 рисунков, 22 таблицы, список использованной литературы (40 источников), 1 приложение. Основной текст работы изложен на 88 страницах.

Глава 1 Анализ существующих технологий в области получения асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки

1.1 Литературный обзор связующих компонентов для изготовления асфальтобетонных смесей

Самым распространенным материалом, используемым при строительстве автомобильных дорог, является асфальтобетон. Основным его компонентом является вяжущее вещество, а именно, смесь битума и введенного в него минерального порошка.

Не так давно в качестве связующего компонента применялся деготь, он покрывал щебень в смеси, но не сливался с него. К современному покрытию дорог предъявляются требования по устойчивости к деформированию, сохранению пластичности и стойкости к образованию трещин. Использование битума в качестве связующего компонента позволило достичь указанных свойств.

Битумы, полученные из нефти и нефтепродуктов, имеют большие масштабы производства, сочетают в себе низкую стоимость, пластичность в большом температурном диапазоне, устойчивость при воздействии агрессивных сред.

В зависимости от местности (климатической зоны), в которой предполагается укладка дорожного покрытия, подбирается определенная марка вяжущего для асфальтобетона, а также его физическое состояние – вязкий или жидкий [4].

В диссертационной работе Копылова Е.В. «Применение минеральных порошков из местного сырья для производства асфальтобетонов в условиях Республики Саха (Якутия)» подробно рассмотрены существующие битумы, которые подразделяются на природные (битуминозные породы, природные асфальты) и искусственные [8].

Искусственно произведенные битумы также делятся на категории:

- остаточные битумы – перегонка тяжелых нефтей или остатков;
- окисленные битумы – окисление кислородом нефтяных остатков;
- компаундированные – подбор различных масляных фракций, мальтенов, асфальтенов;
- осажденные битумы – деасфальтация остатков от перегонки нефти.

В данной работе проводилось исследование по способам улучшения качества битумных смесей за счет введения в их состав модифицирующих добавок:

- битумы с добавлением этиленвинилацетата.
- битумы с добавлением стиролбутадиенстирола.
- резинобитумные вяжущие.
- латексные битумы.
- полиолефиновые битумы.
- битумы с добавлением эпоксидных смол.
- серо-битумы.

В работе Богатырева И.М. «Разработка технологических основ получения асфальтобетона, обладающего биоцидными свойствами» проведено изучение свойств битумов в начале эксплуатации дорожного покрытия и по истечению срока его эксплуатации. Полученные результаты позволили сделать вывод, что наиболее прочными являются асфальтобетоны, в которых использовался битум с введенными в его состав модификаторами. В остальных случаях битум становился хрупким и твердым [12].

В статье Котляревского А.А. и Незамаева И.В. «Асфальтобетонные смеси на основе модифицированного битумного вяжущего» отмечено, что для улучшения качества дорожного покрытия необходимо применять модифицированные битумные вяжущие. Проведено исследование по введению в состав битума искусственных каучуковых смесей. Экспериментальные исследования полученных модифицированных битумных вяжущих показали, что получаемые асфальтобетонные смеси имеют высокие

показатели прочности и соответствуют требованиям государственных стандартов [15].

В информационном сборнике «Передовой зарубежный опыт. Оценка эксплуатационных характеристик асфальтобетона» авторами приведен анализ зарубежного опыта (США, Германии, Новой Зеландии и др.) в вопросах проектирования оптимальных составов асфальтобетонных смесей и прогнозирования долговечности асфальтобетонных покрытий с использованием наиболее значимых эксплуатационных характеристик асфальтобетона. Представлена информация по алгоритмам исследований в данном направлении, позволяющим прогнозировать качественные преимущества различных видов асфальтобетонов [2].

Изучение литературных источников в области применения связующих компонентов позволяет сделать вывод, что на сегодняшний день в качестве связующего компонента при изготовлении асфальтобетонных смесей для укладки дорожного покрытия используются модифицированные битумы.

1.2 Свойства и требования к составу асфальтобетонной смеси

Основным нормативным документом, определяющим требования к компонентам асфальтобетонной смеси является

ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия [12].

Согласно данного государственного стандарта, «асфальтобетонная смесь – рационально подобранная смесь минеральных материалов [щебня (гравия) и песка с минеральным порошком или без него] с битумом, взятых в определенных соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии» [12].

Для того, чтобы правильно спроектировать асфальтобетонную смесь с учетом предъявляемых требований к конечному результату, необходимо учитывать состав асфальтобетона в заданных условиях эксплуатации.

В состав асфальтобетона входят следующие компоненты:

- гравий, щебень;
- песок;
- минеральный порошок;
- битум [5].

Рассмотрим каждый компонент асфальтобетонной смеси подробнее.

1.2.1 Гравий, щебень

Используются в качестве крупных заполнителей в асфальтобетонных дорожных смесях, чтобы снизить ползучесть покрытия и повышения его долговечности. Щебень и гравий получают путем измельчения крупного гравия, горных пород, а также дроблением шлаков от металлургических производств.

«Самым распространенным щебнем является метаморфических основных и горных карбонатных пород (доломиты, известняки), так как кислые виды плохо схватываются с битумом. Предпочтительней щебень в форме куба и с минимальным содержанием, по массе, зерен лещадной (плоской) фактуры.

По маркам, количество пластинчатых зерен не должно быть больше» [10]:

- А – 15%;
- Б – 25%;
- В – 35%.

«Также строго ограничивается количество глинистых и пылеватых включений. Их объем в заполнителях не должен превышать 1–2%.

Увеличение объема щебня снижает ползучесть и повышает трещиностойкость покрытий.

С учетом конструктивных особенностей проектируемых покрытий, щебень изготавливается с размерами зерен равными 10–40 мм. Причем, величина зерен для нижних слоев не должна превышать значения

коэффициента 0,75 (оптимальная толщина слоя в плотном состоянии), а в верхних – соответственно 0,6.

Оценку пригодности и качества заданного вида крупного заполнителя определяют испытаниями, учитывая при этом, категорию дороги и конструкцию дорожной одежды» [12].

В таблице 1 представлены свойства щебня, добываемого в Самарской области.

Таблица 1 – Характеристики щебня для изготовления асфальтобетона дорожного покрытия Самарской области

Показатель	Значение
Лещадность (содержание пластинчатых и игольчатых элементов)	около 12%
Морозостойкость	F125 – F150
Прочность на сжатие	60 – 80 МПа
Влажность	3 – 4 %
Водопоглощение	2,5 %
Насыпная плотность	1280 кг/м ³
Радиоактивность	54,8 Бк/кг (I класс)

1.2.2 Песок

«Для приготовления асфальтобетона применяют природные пески или отсев дробления щебня.

Желательно использовать песок разной зернистости, так как одноразмерные фракции увеличивают пористость асфальтового покрытия. Речной песок использовать не рекомендуется.

Подсказки: отсев дробления щебня способствует повышению внутреннего трения за счет большого содержания в структуре частиц остроугольной формы» [12].

По величине зерен (модуль крупности) различают следующие виды песков:

M_k 2,5 – крупнозернистые;

M_k 2,0–2,5 – средней зернистости;

M_k 1,0–2,0 – мелкозернистые.

Марка по прочности мелких заполнителей не должна быть ниже 1000, а объем глинистых частиц, определяемых способом набухания – $<0,5$ %. Количество зерен фракции мельче 0,16 мм –

Мелкозернистый песок допускается к применению только в случае его обогащения добавками крупного.

Объем глинистых и пылеватых включений ограничен:

– для природного песка – 3 %;

– искусственного – 5 %.

Использование износостойкого высокопрочного щебня и дробленого природного песка обеспечивает требуемую шероховатость асфальтового покрытия [29].

«На территории Самарской области широко распространены природные пески – неорганические сыпучие материалы с крупностью зерен до 5 мм, образовавшиеся в результате естественного разрушения скальных пород и получаемые при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений без использования специального обогатительного оборудования (1). По величине зерен (модуль крупности — M_k) они могут быть очень крупные (M_k свыше 3,5), повышенной крупности (M_k от 3,0 до 3,5), крупные (M_k от 2,5 до 3,0), средние (M_k от 2,0 до 2,5), мелкие; (M_k от 1,5 до 2,0), очень мелкие (M_k от 1,0 до 1,5), тонкие (M_k от 0,7 до 1,0), очень тонкие (M_k до 0,7). В качестве заполнителей для бетонов и материалов для дорожных одежд должен использоваться только крупный, средний и мелкий песок. Для строительных растворов может применяться и очень мелкий песок, (с M_k 1,0-1,5). Содержание глины в песках не должно превышать 0,35 % массы — для I класса и 1 % — для II класса (2)» [14].

В таблице 2 и 3 представлены свойства песка, которые добываются и используются в Самарской области.

Таблица 2 – Характеристики карьерного песка, используемого для дорожного строительства

Показатель	Значение
Модуль крупности	от 0,7 мм до 1,4 мм
Содержание пылевидных и глинистых частиц	4,8%
Коэффициент фильтрации	от 3 до 7 м/сутки
Насыпная плотность	от 1300 до 1700 кг/м ³

Таблица 3 – Химический состав карьерного песка

Содержание окислов, % по массе						
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	прочее
94,4	1,0	3,1	0,5	0,2	0,1	0,6

1.2.3 Минеральный структурирующий порошок

«Минеральный порошок выполняет роль лигатуры, структурирующей битум и создающей вместе с ним асфальтобетонное вяжущее, которое существенно влияет на плотность, теплоустойчивость и прочность асфальтобетона. Тонкомолотый минеральный порошок производят методом дробления и помола доломитов, известняков, доменных шлаков и др.

Важными характеристиками данной добавки являются коэффициент гидрофильности и уровень измельчения. Тонкость помола должна быть такой, чтобы при влажном расसेве минеральный порошок свободно проходил через специальное сито с величиной отверстий 1,25 мм. Значение коэффициента гидрофильности не должно быть более единицы.

Качество и количество порошка, при одной и той же марке битума, существенно влияет на структуру вяжущего. Избыточное количество минерального порошка приводит к снижению прочности покрытия, особенно при отрицательных температурах» [11].

В работе рассматриваем минеральный порошок марки МП-1, который изготавливается путем дробления осадочных горных и битуминозных пород [31].

Ниже представлены характеристики используемого минерального порошка.

Таблица 4 – Характеристики минерального порошка МП-1

Показатель	Значение
Пористость	31,6%
Набухание	2,2%
Показатель битумоёмкости	56,6 г
Влажность	0,45%
Содержание полуторных окислов $Al_2O_3 + F_2O_3$	1,27%
Удельная эффективность радионуклидов	$33,59 \pm 2,3$ КБ/кг

Таблица 5 – Химический состав минерального порошка МП-1

Химический состав, %								
CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Прочие
54,35	0,65	0,52	0,34	0,05	0,05	0,05	0,04	43,83

1.2.4 Дорожный битум

«Битум представляет собой продукт переработки нефти и совместно с порошком выполняет функции вяжущего. Он склеивает в единую композицию зерна песка и щебня. Кроме того, заполняя собой промежутки между

частицами заполнителя, придает асфальтобетону необходимую прочность и водостойкость» [19].

«В целях максимального снижения сезонных разрушений дорожного покрытия заводы, выпускающие асфальтобетонные смеси, в разных климатических условиях применяют различные виды материалов, отличающиеся:

- вязкостью;
- температурой размягчения;
- пластичностью;
- хрупкостью.

По своему аморфному состоянию, битум может быть двух видов – жидкий и вязкий.

Значение вязкости указывает на физико-механические качества битума и зависит от состава компонентов и температуры. При увеличении температуры этот показатель снижается, а с понижением возрастает. При отрицательной температуре воздуха битум застывает и становится хрупким.

Вязкие дорожные битумы могут быть следующих марок: БНД 130/200, БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60. Данные марки вяжущего отличаются прочным сцеплением с заполнителями и имеют высокую пластичность [31].

Вязкий продукт применяется для приготовления горячих, холодных и теплых асфальтобетонных смесей, а также используется в качестве основного сырья для получения жидких битумов, используя при этом различные виды растворителей.

Зимой наиболее востребован жидкий битум. В его состав входят специальные присадки и разжижители, которые в момент твердения асфальтобетона испаряются, превращая битум в обычное вязкое состояние» [1].

В качестве вяжущего элемента при изготовлении асфальтобетонов используется битум. В Самарской области применяется битум марки БНД 60/90. Его состав и свойства приведены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Химический состав битума марки БНД 60/90

Химический состав, %		
Углеводородные масла	Смолы	Асфальтены
46,7%	29,1%	24,2%

Таблица 7 – Физические свойства битума марки БНД 60/90

Показатель	Значение показателя
Глубина проникновения иглы при 25 °С, усл. град	75
Растяжимость при 25 °С, см	51
Температура размягчения по КиШ, °С	43
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1020

В таблице 8 представлена сравнительная характеристики битумов без введённой резиновой крошки и с ней.

Таблица 8 – Сравнительная характеристики битумов

Образец	Температура размягчения по КиШ, °С	Глубина проникания иглы, dmm	Хрупкость при температуре, °С
Чистый битум	43	75	-8
Битум + резиновая крошка	59,1	54	–

1.2.5 Резиновая крошка

Вопрос использования резиновой крошки при изготовлении асфальтобетонных смесей был рассмотрен в работах Прокопец Е.А., Курденковой И.Б., Ивановой Т.Л., Слепого Б.М.

В работах Слепого Б.М, подробно описаны свойства асфальтобетона при введении в его состав резины в зависимости от объемов и фракций ее введения.

В диссертационной работе Курденковой И.Б. [17] были проведены исследования свойств асфальтобетонов при внесении в их состав модифицированных твердых полимерных материалов. Получены положительные результаты в изменении структуры асфальтобетона.

Модификацию дорожного асфальтобетона резиновыми порошками рассматривала Иванова Т.Л. Одним из способов улучшения свойств асфальтобетоном является введение механоактивированной резиновой крошки [24]. Прокопец В.С. проводил исследования «эффективности измельчения резиновых отходов в модельном измельчителе, оформил рекомендации на изготовление опытно-производственной дезинтеграторной установки для получения резиновой крошки требуемой дисперсности» [11]. А также описал способы «повышения эффективности дорожно-строительных материалов механоактивационным модифицированием исходного сырья» [18]. В таблицах 9 и 10 приведены характеристики предлагаемой к использованию резиновой крошки.

Таблица 9 – Физические свойства получаемой резиновой крошки

Показатель	Значение показателя
Температура воспламенения	320°C
Температура самовозгорания	396°C
Вулканизация	155 °C
Температурный предел хрупкости	-59 °C
Сопротивление раздиру	59 – 88 кН/м
Относительное удлинение	500 -750%
Условная прочность растяжения	14,7 МПа
Условное напряжение 300 %	3,9 -6,3 мин.
Плотность	0,7 т/м ³
Насыпная масса	1,905 т/м ³

Таблица 10 – Компонентный состав получаемой резиновой крошки

Компонент	Количество каждого компонента на 100 массовых долей
Маточная смесь	194,00
Техуглерод П245	65,00
СКМС-30, АРКМ-15	50,00
СКД	33,34
СКИ-3	16,66
Масло ПН-6Ш	16,00
Белила цинковые	3,00
Смола строльно-инденевая	3,00
Кислота олеиновая	2,00
Ацетонанил Р	2,00
Защитный воск	2,00
Сера	1,90
Сульфенамид	1,55
Диафен Ф.П.	1,00
Сантогард РVJ	0,30

Для создания модифицированного асфальтобетона с улучшенными характеристиками необходимо в его состав вводить резиновую крошку.

ООО «ЭкоРесурсПоволжье» осуществляет переработку отработанных автомобильных покрышек различных марок. При переработке образуется резиновая крошка трех фракций:

- крошка резиновая 0-1 мм (РС-0,1 ТУ 38.32.34.000-002-43871107-2017);
- крошка резиновая 1-3 мм (РС-1,3 ТУ 38.32.34.000-002-43871107-2017);
- крошка резиновая более 3 мм (РС-3,6 ТУ 38.32.34.000-002-43871107-2017).

1.3 Аналитический обзор технологий производства и требований к асфальтобетонным смесям

1.3.1 Общие технологические процессы

«Процесс производства асфальтобетона может выполняться при различных температурных режимах, что служит критерием для классификации асфальтной смеси на три различных категории» [15]:

- «Холодные. Асфальтобетонный материал этого типа изготавливают с добавлением жидкого битума. Допускается длительное хранение и использование этой смеси при температуре не ниже +50С.
- Теплые. Асфальт этого типа изготавливают из жидкого битума и вязких связующих, поэтому температура их хранения должна составлять не менее 1000 °С.
- Горячие. Асфальтобетонная смесь изготавливается и укладывается при температуре не ниже 1200 °С.

В зависимости от фракции, используемых для изготовления асфальта компонентов, он подразделяется на три основных вида:

- Крупнозернистый. Данный материал отменно подходит для выполнения дорожного покрытия в нижних его слоях. Одним из основных компонентов этой смеси является щебень крупной и мелкой фракции.
- Мелкозернистый. Асфальтобетон этого типа применяют для обустройства верхнего покрытия у дорог общего пользования. В его состав входит щебень мелкой фракции, который может достигать величины 15 мм.
- Песчаный. Этот тип асфальта применяют для обустройства пешеходных дорожек и тротуаров. В состав этой асфальтной смеси вводят большое количество песка, битума и щебня с фракцией до 5,0 мм.

Технология изготовления смеси.

Технология производства асфальтобетона состоит из нескольких основных этапов, которые включают все необходимые операции и работы:

- Входной контроль исходного сырья: минеральные добавки, битум, щебень, песок.
- Обработка инертных материалов: просеивание песка, разделение щебня по фракциям, разогрев битума» [20].
- «Доведение всех компонентов до требуемого уровня влажности и температуры нагрева.
- Перемешивание между собой всех составных компонентов асфальтобетонной смеси, что обеспечивает сцепление битума с песком, зернами щебня и минеральным наполнителем.
- Хранение готового асфальта в специальном бункере, где происходит поддержание требуемого температурного режима.
- Забор готового продукта происходит непосредственно из бункера хранения, после чего его доставляют до места укладки с соблюдением всех технологических требований. Подобная технология изготовления асфальтобетона используется практически на всех отечественных заводах. Некоторые производители вводят в состав асфальта каучуковую крошку или латекс, что направлено на получение смеси с высокой степенью упругости.

Типы оборудования для производства.

Оборудование для производства асфальтобетона в зависимости от технологических особенностей подразделяют на заводы непрерывного и циклического действия:

- Технологическая схема производства асфальтобетона на оборудовании непрерывного действия характеризуется отсутствием башни и грохота, которые необходимы для качественной сортировки исходного сырья. Все ингредиенты непрерывно подают в приемные бункеры, после чего они доводятся до требуемого состояния

готовности к перемешиванию. Отсутствие грохота делает возможным случаи попадания в готовую асфальтобетонную смесь щебня некондиционных размеров или посторонних включения. Основное преимущество подобных заводов – компактные размеры и высокая степень мобильности.

- Технология приготовления асфальтобетона на оборудовании циклического действия характеризуется наличием грохота и приемных башен. Благодаря этому вспомогательному оборудованию обеспечивается высокая степень подготовки исходного сырья еще до подачи в бункер для перемешивания. Асфальтный завод циклического действия располагают вблизи крупных городов, где регулярно есть потребность в небольшом объеме асфальтобетонной смеси. Главное преимущество подобных технологических схем: изменение рецептуры до нескольких раз в день, без ухудшения качества готового продукта, возможность готовить асфальт небольшими порциями, высокое качество подготовки сырья. Главный недостаток подобных заводов – низкий уровень мобильности.

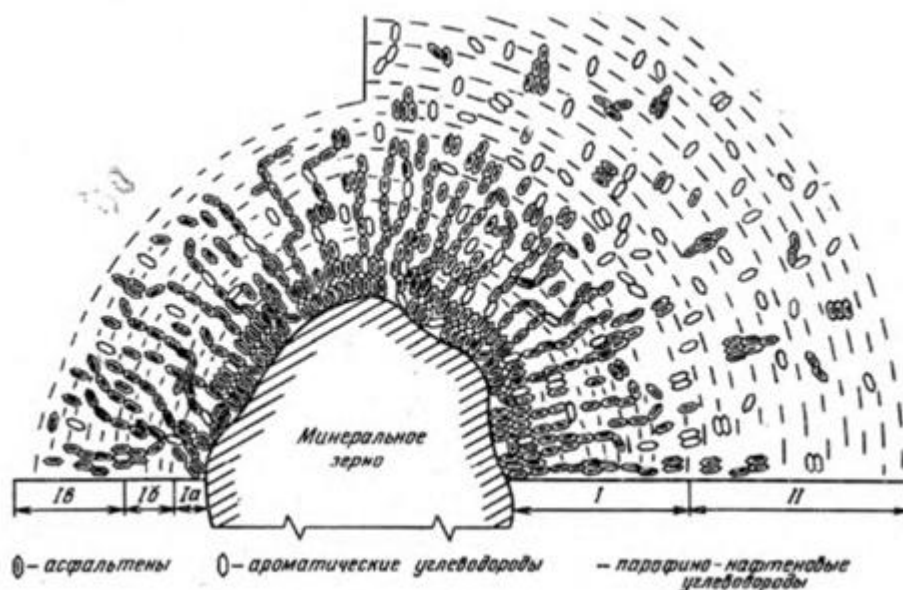
Приготовление асфальтобетона в заводских условиях требует наличия персонала соответствующего уровня квалификации, который будет уметь правильно снимать показания аппаратуры, знать все технологические особенности производства и быстро реагировать на отклонения от заданного технологического режима работы» [21].

1.3.2 Роль связующих в технологическом процессе изготовления асфальтобетонной смеси

«Равномерное распределение битума в асфальтобетоне решающим образом влияет на прочность, устойчивость и долговечность покрытия. В случае неполного покрытия минеральных зерен битумной пленкой из-за недостатка битума асфальтобетон разрушается во влажной среде вследствие

проникания воды через открытые места на зернах под битумную пленку и вытеснение ее с поверхности. Избыток битума ухудшает равномерность распределения, вязущего в асфальтобетоне за счет иммиграции части битума при уплотнении смеси из зон повышенного напряжения и др.» [22].

«Взаимодействие битума с минеральными компонентами в асфальтобетоне является определяющим в получении материала с заданными свойствами. При этом под воздействием битума (рисунок 2) и минеральных материалов понимаем весь комплекс процессов, происходящих при длительном контакте этих материалов. К ним относят: физические процессы, протекающие на границе раздела битум – минеральный материал; хемосорбционные процессы; фильтрацию битума и его компонентов внутрь минеральных зерен.



I – ориентированный слой, II – объемный битум, Ia – твердообразная зона, Ib – структурированная зона, Ib – диффузная зона

Рисунок 2 – Строение пленки битума в минеральном зерне

Физические свойства битума с минеральными материалами обусловлено способностью вяжущего адсорбироваться на поверхности минеральных зерен. В результате формируются адсорбционные слои (слои повышенной концентрации высокомолекулярных составляющих битума).

Наряду с адсорбционным взаимодействием на границе битум (рисунок 2) – минеральный материал проявляют свое действие межмолекулярные силы минерального материала. Битум, попадая в зону их действия, претерпевает структурные изменения.

Химическое взаимодействие битума минеральным материалом приводит к образованию на границе раздела фаз новых химических соединений. Хемосорбционные процессы возникают при объединении минеральных материалов из карбонатных и основных горных пород с битумами, содержащими анионактивные поверхностно-активные вещества (нафтеновые, асфальтогенные кислоты).

Между известняком и битумом, содержащим, например, асфальтогеновые кислоты, происходит реакция с образованием кальциевых мыл. Так как это соединение нерастворимо в воде, битумные пленки, образованные на поверхности минеральных частиц, устойчивы к действию воды» [18].

«При объединении битума с кислыми минеральными материалами, богатыми кремнеземом, хемосорбционные соединения не образуются. Прочность сцепления битумной пленки с поверхностью минеральных частиц пониженная, особенно в присутствии воды, так как обусловлена лишь физической адсорбцией. Для образования химических соединений на границе битум – минеральный материал из кислых горных пород (гранит, песчаник) в битум вводят катионактивные ПАВ. Только в этом случае возможно образование химических соединений.

Фильтрация битума и его компонентов внутрь минеральных зерен зависит главным образом от их пористости. По макропорам внутрь зерен фильтруется объемный битум. Наличие микропор на поверхности зерен приводит к избирательной диффузии компонентов битума, заключающийся в следующем. Наиболее подвижный компонент битума – масла – проникают по капиллярам внутрь зерен на наибольшую глубину.

Смолы из-за меньшей подвижности и большей активности проникают в зерна на меньшую глубину. Поверхностный слой битума на таких зернах обогащен асфальтенами. Взаимодействие пористых материалов с битумом приводит к тому, что битумные пленки становятся более жесткими и менее эластичными, а это ускоряет переход асфальтобетона в хрупкое состояние. При применении таких минеральных материалов вязкость битумов должна быть меньше на 10...15 %, чем битумов, применяемых в асфальтобетонах, минеральная часть которых состоит из плотных материалов» [23].

Выводы к главе 1

Анализ научных работ показывает, что актуальным является исследование возможности использования в качестве составного компонента связующего при изготовлении асфальтобетонов резиновой крошки, получаемой путем механического измельчения отработанных покрышек.

Проведено изучение состава асфальтобетонной смеси с применением материалов, которые добываются и производятся в Самарской области. Даны описания химического и физического состояния компонентов, что позволяет использовать его использовать в составе асфальтобетонной смеси.

Проведен аналитический обзор технологий производства асфальтобетонных смесей и предъявляемых к ним требованиям.

Глава 2 Разработка технологии получения асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки

2.1 Существующая технология получения резиновой крошки на предприятии ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

Наиболее распространенным физическим способом утилизации является процесс механического измельчения автомобильных покрышек (рисунок 3). В России представлено около десяти производителей, изготовляющих и поставляющих оборудование для механизированного измельчения утилизированных автомобильных шин [30].

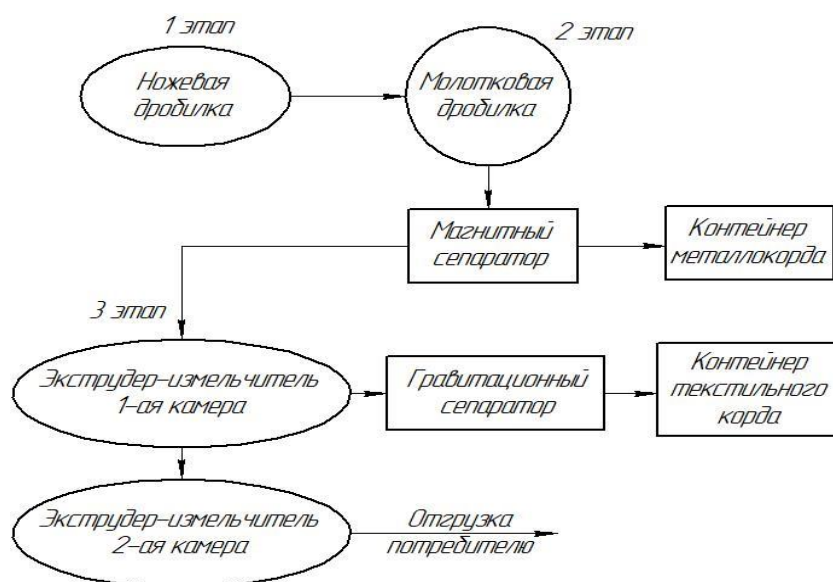


Рисунок 3 – Общая схема технологического процесса механического измельчения отработанных автомобильных покрышек

Рассмотрим технологию переработки отработанных автомобильных покрышек, которая применяется в ООО «ЭкоРесурсПоволжье».

Первый этап – прием и взвешивание поступившего сырья. В переработку принимаются автомобильные покрышки диаметром ≤ 1200 мм. На данном этапе происходит проверка поступившего сырья, разгрузка на участок

временного накопления, взвешивание и заполнение необходимой документации.

Второй этап – надрывание корда. В данном технологическом процессе применяется надрыватель корда GOC 350B.

Третий этап – удаление бортовой проволоки. После надрывания корда крышка перемещается к гидравлическому станку LSJ1250B, который удаляет бортовую проволоку. После завершения данной операции вручную резчик удаляет вырванную проволоку в специально отведенный контейнер.

Четвертый этап – резание крышки 1. В данной операции используются гидравлические ножницы HC-500.

Пятый этап – резание крышки 2. Применяется станок вторичной разделки СтВР-1, который разрезает части крышки до размеров 200×150 мм. Полученные части складываются в специальном контейнере.

Шестой этап – линия переработки отработанных автомобильных крышек. На циклон для сбора текстильного корда устанавливаются биг-бэги, отдельно устанавливается ящик для сбора металлического корда, а также в специальное место закрепляются мешки для сбора резиновой крошки. Полученные после 5 этапа резиновые чипсы загружаются в бункер со скоростью 6-8 кг/мин. По мере накопления ящиков с металлическим кордом, биг-бэгов для сбора текстиля и мешков для сбора резиновой крошки, их меняют на пустые.

В результате выполнения всех технологических операций получается резиновая крошка заданной фракции.

ООО «ЭкоРесурсПоволжье» производит следующую продукцию:

- крошка резиновая 0-1 мм (ТУ 38.32.34.000-002-43871107-2017);
- крошка резиновая 1-3 мм (ТУ 38.32.34.000-002-43871107-2017);
- крошка резиновая более 3 мм (ТУ 38.32.34.000-002-43871107-2017).

На рисунке 4 представлена схема технологического процесса производства резиновой крошки в ООО «ЭкоРесурсПоволжье» с указанием каждого этапа и применяемого оборудования.

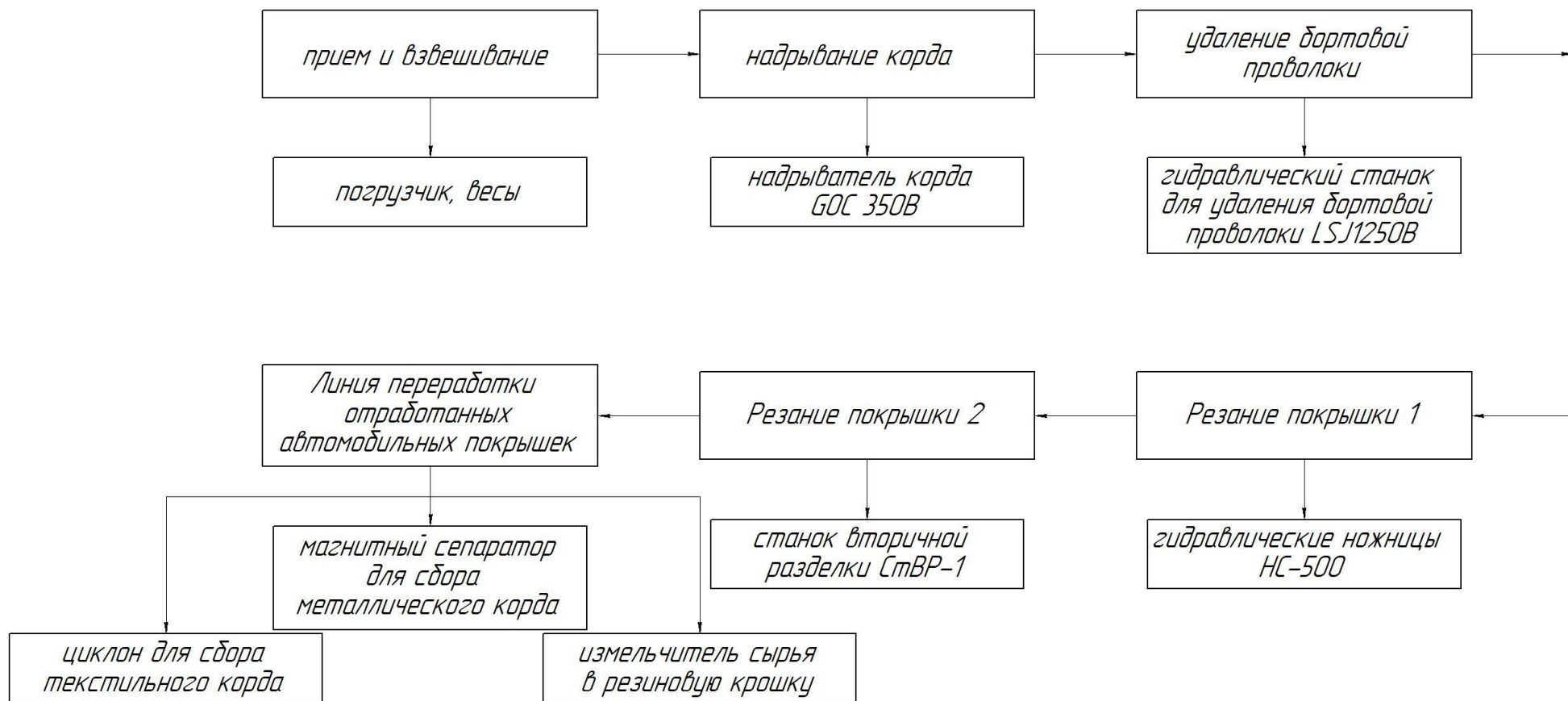


Рисунок 4 – Схема технологического процесса производства резиновой крошки в ООО «ЭкоРесурсПоволжье»

2.2 Существующая схема получения асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки

2.2.1 Патентный обзор

Проработан вопрос применения модифицирующей добавки – резиновой крошки – при строительстве и укладке асфальтового покрытия. Данные отрасли развиваются высокими темпами и требуют внедрения новейших технологий. В таблице 11 представлены данные по проведенному патентному поиску.

Таблица 11 – Результаты патентного поиска

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
Сырьевая смесь для изготовления легкого бетона	RU 2353603	Сапронова Ирина Александровна (RU) Щепочкина Юлия Алексеевна (RU) Федосов Сергей Викторович (RU) Боброва Алла Александровна (RU)	«Изобретение относится к промышленности строительных материалов, в частности к производству бетонных стеновых блоков для малоэтажного строительства. Сырьевая смесь для изготовления легкого бетона включает, мас. %: цемент - 27,5-28,5, керамзит фракции 5-10 мм - 30,5-33,6, вода - 14,5-18,1, измельченные в крошку фракции не более 0,8 мм, отработанные автомобильные шины на основе нитрильных каучуков - 19,8-27,5 «Технический результат - получение легких и прочных изделий из бетона при » [19]

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			снижении расхода керамзита и утилизация отходов резины» [19].
Способ получения битумной композиции и битумная композиция	RU2162475C2	Жонг Лианг Жи Т. Вудхэмс Раймонд	«Способ получения битумной композиции, который включает смешивание частиц резины с углеводородным маслом для размягчения и набухания частиц резины; прикладывание термической и механической энергии к вышеуказанным размягченным и набухшим частицам резины для достижения, по меньшей мере, частичной диссоциации вулканизационной сетки вышеуказанных частиц резины; диспергирование вышеуказанной резины с, по меньшей мере, частично диссоциированной вулканизационной сеткой в битуме; введение, по меньшей мере, одного совмещающего агента в вышеуказанный битум, достаточного для включения обработанной резины из полученной вышеуказанной» [25]

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			<p>«резины, по меньшей мере, частично диссоциированной вулканизационной сеткой в вышеуказанный битум; проведение вышеуказанной стадии прикладывания термической и механической энергии до тех пор, пока частицы резины не достигнут такой степени диссоциации, что не существует различимой дисперсной фазы частиц резины, что определяется по отсутствию седиментации частиц резины, при этом на вышеуказанной последней стадии возможно сшивание сшивающего агента, вышеуказанного совмещающего агента, битума, обработанной резины, в том числе любых остаточных частиц резины для стабилизации остаточных частиц резины для предупреждения их отделения от вышеуказанного битума, также возможно, что вышеуказанный совмещающий агент представляет собой» [25]</p>

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			<p>«жидкий каучук с молекулярным весом приблизительно от 300 до 60000, также, если необходимо, до стадии сшивания проведение одной или более дополнительных возрастающих загрузок частиц резины к резине с, по меньшей мере, частично диссоциированной вулканизационной сеткой и проведение вышеуказанной стадии прикладывания энергии к каждой такой дополнительной возрастающей загрузке частиц резины для достижения, по меньшей мере, частичной диссоциации вулканизационной сетки этих частиц, также возможно, что вышеуказанное углеродное масло обеспечивается компонентами, присутствующими в битуме, или это масло обеспечивается за счет углеродного масла, добавляемого в битум до проведения самой первой стадии смешения, при этом с самого начала способ получения битумной» [25]</p>

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			«композиции протекает в присутствии битума. Описывается также битумная композиция. Технический результат - получение стабильных битумных материалов» [25].
Резинированная щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь	RU 2415165 С1	Черсков Роман Михайлович (RU), Дьяков Константин Анатольевич (RU), Саенко Сергей Сергеевич (RU), Чернов Сергей Анатольевич (RU)	«Изобретение относится к строительству автомобильных дорог и может быть использовано для устройства слоев покрытий дорожных одежд во всех климатических зонах. Изобретение касается резинированной щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси для дорожного строительства, включающей дорожный битум, щебень, песок из отсевов дробления, минеральный порошок и стабилизирующую добавку, при этом в качестве минерального порошка смесь содержит резиновую крошку размером до 1 мм, а в качестве стабилизирующей добавки - вторичный линейный полиэтилен низкой плотности,» [26]

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			<p>«при следующем соотношении компонентов, мас. %: щебень 60-84; дорожный битум 5,5-7,5; резиновая крошка 1,0-1,8; вторичный линейный полиэтилен низкой плотности 0,2-0,8; песок из отсевов дробления - остальное. Технический результат - улучшение физико-механических характеристик щебеночно-мастичных асфальтобетонных [26].</p>
<p>Способ получения модифицированного битумного вяжущего для дорожных покрытий (варианты)</p>	<p>RU2630529 С1</p>	<p>Андриенко Владимир Георгиевич (RU) Горлов Евгений Григорьевич (RU) Горлова Евгения Евгеньевна (RU) Донченко Валерий Анатольевич (RU) Моисеев</p>	<p>Группа изобретений относится к области переработки тяжелых остатков первичной перегонки и вторичной переработки нефти, тяжелых нефтяных отходов, битумов и может быть использована в дорожном строительстве. Способ получения модифицированного битумного вяжущего для дорожных покрытий включает предварительный нагрев сырья до 70-90°C и активацию в кавитаторе гидроударном 2. Затем сырье помещают в нагревательную печь и доводят</p>

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
		<p>Валерий Андреевич (RU) Моисеев Андрей Валерьевич (RU) Омелюк Николай Михайлович (RU) Дун Жуйкунь (CN)</p>	<p>температуру сырья до 250-300°C. Термохимическая обработка включает предварительное окисление сырья подогретым до 250-300°C кислородом воздуха в барботажной окислительной колонне непрерывного действия 3 с последующей его перегонкой в атмосферно-вакуумной колонне 4 при температуре 250-300°C с отделением топливного газа и атмосферно-вакуумного дистиллята. Полученный в результате перегонки тяжелый вакуумный остаток подают в реактор-смеситель 6, доводят его до 130-180°C, после чего в него вводят модификаторы, в качестве которых используют: резиновую крошку в количестве 5-20 мас.% от массы тяжелого вакуумного остатка; органоминеральную битумосодержащую добавку в количестве 1-12 мас.% от массы тяжелого вакуумного остатка и гранулированный синтетический корд в</p>

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			<p>количестве 1-10 мас.% от массы тяжелого вакуумного остатка, перемешивают компоненты и доводят температуру смеси до 300-350°C. Затем смесь охлаждают до 250-300°C, повторно ее активируют, пропуская через второй кавитатор гидроударный 11, и доокисляют во второй барботажной доокислительной колонне непрерывного действия 9 при температуре 250-300°C подогретым кислородом воздуха с отгонкой дистиллята до получения целевого продукта. При использовании в качестве сырья битума температуру сырья в нагревательной печи доводят до 130-180°C. Технический результат - получение высококачественных модификаторов и новых модифицированных вяжущих применяемых вместо дорожных битумов или в смеси с дорожными битумами в дорожном строительстве для</p>

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			получения дорожных покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами [14].
Способ приготовления резинобитумной композиции	RU 2 489 464 C1	Корнейчук Гордей Кириллович (RU)	Изобретение относится к строительным материалам широкого спектра применения и может быть использовано для дорожных, кровельных, изоляционных, герметизирующих работ. Способ включает смешивание битума и резиновой крошки шинных отходов, их температурную обработку и пластифицирование смеси. Битум и резиновую крошку в составе композиции используют при следующем соотношении, мас. %: резиновая крошка - 13,0-31,0, битум - остальное. При этом в предварительно нагретый до 160°С битум вводят порциями с перемешиванием резиновую крошку, причем после загрузки ее последней порции смесь перемешивают в течение около 10 минут. Затем, продолжая перемешивание смеси, проводят

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			<p>ее обработку ультразвуком, по завершении которой продолжают перемешивание смеси около 10 минут. Полученные резинобитумные композиции обладают повышенными значениями температур размягчения и хрупкости, сохраняемыми в суровых климатических условиях при повышенных механических нагрузках [15].</p>
<p>Асфальтобетон, содержащий механоактивированную резиновую крошку</p>	<p>RU 2 365 553 С1</p>	<p>Прокопец Валерий Сергеевич (RU), Иванова Татьяна Леонидовна (RU)</p>	<p>Изобретение относится к строительству автомобильных дорог и может быть использовано для устройства верхних слоев дорожных одежд во всех климатических зонах. Асфальтобетон включает щебень, песок, минеральный порошок, вязкий нефтяной битум и тонкомолотую резиновую крошку. Тонкомолотую резиновую крошку он содержит в виде смеси механоактивированной резиновой крошки с размером фракций от 0,071 мм до 0,100 мм и песка, полученной совместной обработкой их в</p>

Продолжение таблицы 11

Название патента	Номер патента	Авторы	Сущность изобретения
			<p>дезинтеграторе при массовом соотношении 1:2. Соотношение компонентов в составе асфальтобетона составляет, мас. %: щебень 42-43, песок 35-36, минеральный порошок 12,8-13,2, вязкий нефтяной битум 5,5- 6,0, указанная резиновая крошка 1,0, указанный песок 2,0. Технический результат: улучшение эксплуатационных характеристик асфальтобетона [16].</p>

Проведенный анализ патентной базы показывает, что наибольшее распространение в применении резиновой крошки от переработанных шин имеет место в укладке асфальта. Вопрос добавления крошки при изготовлении бетона был рассмотрен в предыдущей научно-исследовательской работе.

2.2.2 Описание технологии добавления резиновой крошки при изготовлении асфальтобетонной смеси

Изучение вопроса применения резиновой крошки в дорожном строительстве проводилось уже давно. Но все исследования были направлены на решение задачи по использованию данного продукта переработки отработанных автомобильных покрышек при производстве битума дорожного [38].

Применение резиновой крошки при укладке верхнего слоя асфальта является перспективным направлением. В мире существует много различных

технологий введения резиновой крошки с связующим битумом. При этом применяются различные фракции крошки от 0,1 до 1 мм. Покрытие с применением резиновой крошки повышает срок службы асфальта в 2 – 3 раза по сравнению с обычным асфальтом, при этом расход резиновой крошки на 1 км составляет 14 – 15 тонн.

Длительное время не существовало обязательных технических требования по изготовлению и применению асфальтобетонных смесей при укладке дорожного покрытия. 1 июля 2013 года был введен в действие ГОСТ Р 55419-2013 «Материал композиционный на основе активного резинового порошка, модифицирующий асфальтобетонные смеси. Технические требования и методы испытаний» [3]. Своим содержанием данный нормативный документ «разрешил» применение резиновой крошки при проведении работ по дорожному строительству.

В нашей стране применение асфальтобетонной смеси осуществлено на экспериментальных площадках в Московской области. За 10 лет интенсивной эксплуатации они показали свою эффективность, но не получили широкого распространения из-за следующих причин:

- отсутствуют постоянные технические условия на производство такого вида асфальта;
- объемы производства резиновой крошки требуемой фракции слишком малы;
- организациям, оставляющим ремонт и обслуживание данного вида покрытия, не выгодно применять технологию в связи с тем, что дороги с таким покрытием служат долго и не требуют ремонта.

«Технология основана на добавлении в смесь битума с резиновой крошкой специальных реагентов-катализаторов, определенным образом регулирующих радикальные процессы деструкции и сшивки каучуковых цепей резины и высокомолекулярных компонентов битума. В результате процесса специфической ступенчатой полимеризации частицы резины объединяются как между собой, так и с высокомолекулярными компонентами

битума в гетерогенную, армирующую, полимерную пространственную структуру с помощью химических связей. Стабильность всей дисперсной гетерогенной системы, высокую и долговременную адгезию вяжущего обеспечивают полярные молекулярные группы, введенные в большом количестве в структуру материала в процессе его приготовления. За счет такой структуры у вяжущего появляется достаточная для эксплуатационных целей эластичность. Вяжущее становится устойчиво к сегрегации резиновой крошки и воздействию высоких (кратковременно до 250 С) технологических температур» [27].

«Битумно-резиновые композиционные вяжущие являются экологически чистыми материалами, в которых имеющиеся как в битуме, так и в резине токсичные соединения химически связываются, и поэтому их выделение незначительно. Проведенные испытания показали, что по своим санитарно-гигиеническим свойствам эти вяжущие материалы более чистые, чем битум, и отвечают самым жестким экологическим требованиям.

Битумно-резиновые экологически чистые композиционные (далее сокращенно БИТРЭК) вяжущие неоднородны по фазовому и химическому составу и по своей структуре являются типичными композиционными материалами, полезные свойства которых определяются свойствами его составляющих и их взаимодействием в общей системе. Резиновая крошка в составе вяжущего выступает в роли частиц полимерного компонента, которые осуществляют дисперсно-эластичное армирование асфальтобетона.

Технология позволяет получать вяжущие БИТРЭК с широким диапазоном свойств, поскольку имеется возможность большого выбора химического состава резины, дисперсности крошки и технологических режимов химической обработки смесей резины с различными видами битума. В результате на одном и том же стандартном оборудовании можно получать материалы для различных условий применения, для разных климатических зон, с широким диапазоном технических параметров» [28].

Разработаны технические требования (таблица 12), которым должны отвечать композиционные битумно-резиновые вяжущие.

Таблица 12 – Технические требования к композиционным битумно-резиновым вяжущим

Наименование показателей	Нормы для композиционного резинобитумного вяжущего марок				
	200/300	130/200	90/130	60/90	40/60
Глубина проникания иглы, мм: при 25 °С	201-300	131-200	91-130	61-90	40-60
при 0 °С, не менее	30	25	20	15	10
Температура размягчения, °С, не ниже	40	44	48	52	56
Температура хрупкости, °С, не выше	-32	-28	-24	-20	-16
Растяжимость при 0 °С, см, не менее	15	10	8	6	4
Растяжимость при 25 °С, см, не менее	22	18	14	12	10
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С, не более	6	6	5	5	5
Эластичность при 0 °С, %, не менее	30	30	30	30	30
Сцепление с песком	Выдерживает по образцу № 2				
Размер неоднородностей, мм, не выше	2				

«Оптимальное количество вводимой в состав асфальтобетона резиновой крошки размером 0,6-0,8 мм марки РДС составляет 1,0-2,0 % от массы минеральных материалов. Причем для получения гомогенного резинобитумного вяжущего резиновую крошку предварительно обрабатывают пластификаторами (сланцевое, нефтяное или каменноугольное масло).

Ученые пришли к выводу, что чем мельче и «пушистее» резиновый порошок, тем проще и дешевле получается модифицированный битум.

Для приготовления, битумного вяжущего БИТРЭК используется резиновый порошок фракции 0,2-0,6 мм. Содержание резиновой крошки в

битумно-резиновом композиционном вяжущем должно быть не менее 7% по массе» [13]. Материал в результате должен соответствовать техническим условиям ТУ 5718-004-05204776-01 «БИТРЭК - Резинобитумный композиционный материал. Технические условия».

Резинобитумный асфальт изготавливается способом горячего смешения компонентов. Технология производства предусматривает две операции:

- смешивание резины и асфальтобетона;
- получение готового продукта.

Резина и асфальтобетонная смесь смешиваются в течение определенного времени – время реакции. Также, асфальтобетон, прежде чем добавить в него резину, должен нагреться до температуры 190-205 °С. асфальтобетонная смесь с добавлением резиновой крошки за время прохождения реакции нагревается до 160-190 °С. Эта температура выше, чем та, которая требуется при производстве обычной асфальтобетонной смеси способом горячего смешивания.

На сегодняшний день существует два способа введения резиновой крошки при изготовлении асфальтобетонных смесей:

- «сухое» введение частиц резины в асфальтобетонную смесь;
- «мокрый» метод добавления крошки из резины в дорожный битум.

«Сухое» введение резиновой крошки в смеси асфальтобетонная низкочувствительны и просты в реализации, но имеется существенный недостаток, который «заключается в постепенном набухании резиновой крошки, вследствие чего покрытие разуплотняется и разрушается, а крошка выкрашивается» [6].

«Мокрый» метод заключается в девулканизации и разложении резиновой крошки непосредственно в битуме. Но также имеется недостатки: выделение токсичных веществ, которые содержатся в резине; уменьшение значения адгезии вяжущего компонента, снижение водостойкости асфальтобетона и сдвиговых показателей, а также появляется необходимость в использовании специального оборудования и дорогих добавок.

Анализ научной литературы по теме исследования показал, что для того, чтобы повысить физико-механические свойства асфальтобетона для дорожного покрытия при любом из рассматриваемых методов введения резиновой составляющей требуется измельчать резину до тонких фракций.

При этом выявлено, что резиновая крошка размерами 1 мм и менее не растворяется в битуме, а располагается в нем в качестве частично набухшей дисперсии. Таким образом, вводимая резиновая крошка «не образует однородной эластичной структурной сетки в объёме вяжущего, так как вулканизированный каучук распределён не в виде макромолекул между мицеллами битума, а в виде крупных агрегатов или «центров эластичности», мало влияющих на упругость и эластичность вяжущего» [6].





«Для того, чтобы свойства резины проявились в полном объёме при введении в битум, необходимо произвести деструкцию структуры, которая заключается в разрыве вулканизирующих связей и получении исходного каучука в виде отдельных молекул, не связанных между собой. После того, как на молекулярном уровне полученный каучук распределится по всему объёму вяжущего, необходимо повторно произвести вулканизацию для «сшития» [7].

«Известно, что активация процесса деструкции (разрушения) состоит в генерировании свободных радикалов при механическом обрыве макромолекул. Энергия, необходимая для этого, равна энергии образования свободных радикалов, затраченной при разрыве цепей, которая, как известно, может быть существенно меньше полной энергии связи» [6].

Источником такой энергии может служить механическое воздействие с химической деструкцией [33].

В таблице 13 приведены существующие методы механического измельчения резины для получения мелких фракций.

Таблица 13 – Современные методы механического измельчения резины

Применяемый механизм	Основной способ измельчения	Достоинства	Недостатки
Контрножи	Резание 	Большая удельная производительность	Налипание резины на рабочий орган
Иглофреза	Протыкание с микровывором 	Эффективное измельчение	Частая замена рабочего органа
Двузубые дисковые ножи	Резание с истиранием 	Возможность помола крупных кусков резины	Высокая металлоемкость
Наклонные ножи	Резание 	Высокая удельная производительность	Невозможен тонкий помол
Ножевой бил	Ударное воздействие	Высокая тонкость помола, разветвленная поверхность частиц	Частая замена била, налипание резины на бил

Изучение конструкций машин для измельчения выявило, что при высоком совершенствовании механизмов мельничного типа, их развитие исчерпано полностью. Поэтому появилась необходимость разработки нового эффективного и экономичного способа измельчения резины.

Перспективным способом является применение «скоростных ударно-многократных силовых нагрузок, реализуемых в дезинтеграторах» [6].

«Основными преимуществами дезинтеграторных установок по

сравнению с известным измельчающим оборудованием являются следующие [6]:

- при относительно низких энергозатратах образуются тонкодисперсные порошки, в которых фракция со средним диаметром частиц 0,1-0,2 мм составляет 60–70 % (при криогенном измельчении);
- форма частиц резиновой крошки обеспечивает хорошую текучесть таких порошков;
- в результате дезинтеграции происходит так называемая активация частиц, включающая ряд эффектов: образование статического заряда, влияющего на упаковку молекул при вторичной переработке; образование активных свободных радикалов; образование ювенальной поверхности макрочастиц, улучшающей их когезию» [6].

«Проведенные исследования показывают, что свойства асфальтобетона при «сухом» методе введения резиновой крошки улучшаются. Но также выявлено, что некоторые резины измельчаются до требуемой фракции только при охлаждении с применением комплекта лопастных и пальцевых роторов» [6].

«Установлено, что для достижения удовлетворительного качества измельчения резиновой крошки необходимо использование специальной конфигурации бил дезинтегратора. Повторное измельчение резинового порошка в дезинтеграторной установке не приводит к заметному увеличению тонкости помола. Это объясняется возникшими электростатическими полями, приведшими к коагуляции мельчайших частиц резины» [6].

Чтобы увеличить тонкость помола возможно производить измельчение резиновой крошки с добавлением ПАВ как гидрофильной добавки. Но применение такого способа измельчения резиновой крошки имеет следующие недостатки:

- технологический процесс значительно усложняется;

- требуется установка специального оборудования (клиновидная конфигурация);
- возникает процесс коагуляции мелких частиц резины, которые препятствуют получению тонкодисперсных резиновых порошков;
- происходит налипание резиновой крошки на билы-измельчители дезинтеграторной установки.

Для улучшения процесса получения тонкодисперсного механоактивированного резинового порошка предлагается производить измельчение и активацию резиновой крошки в дезинтеграторной установке путем введения абразивного компонента. Введение механоактивированного резинового порошка в асфальтобетонную смесь позволит повысить физико-механические свойства получаемого асфальтобетона.

При использовании песка в качестве абразивного компонента будет получен механоактивированный резинопесчаный порошок, который будет иметь губчатую и разветвленную поверхность резиновых частиц, при том технологический процесс подготовки резинового порошка не будет значительно усложнен.

2.3 Особенности смешения резиновой крошки и песка

Резиновая крошка добавляется в асфальтобетонную смесь одним из способов:

- «Мокрый» способ – это добавление резиновой крошки и вяжущего на основе модифицированного битума;
- «Сухой» способ предполагает применение резиновой крошки как агрегата, содержащего традиционный инертный материал.

Но при любом из этих способов резиновая крошка должна быть как можно меньших размеров.

Технологический процесс производства асфальта «мокрым способом»

Процесс «непрерывный мокрый» – битум, резиновая крошка и щебень смешиваются в миксере АБЗ непосредственно в ходе производства асфальта;

Процесс «периодический мокрый» – резиновая крошка вводится в битум, создавая модифицированный битум, впоследствии на основе такого битума выпускается смесь асфальта.

Технологический процесс производства асфальта «сухим способом» – способ предполагает более объемное потребление резины – в 10 раз больше, чем при «мокром» процессе. Однако «сухой» процесс имеет сложности в применении из-за необходимости более внимательного и тщательного приготовления смеси, учета специфики укладки и уплотнения, особо точного подбора состава смеси [32].

Преимущества «мокрого» способа

Опыт применения показал, что вяжущие, модифицированные резиновой крошкой, обеспечивают превосходные характеристики по сравнению с традиционными битумами, а в некоторых случаях и с полимер-модифицированными битумами.

При «мокром» процессе, в действительности, вяжущее приобретает улучшенные механические и химические свойства по сравнению с чистым битумом за счет более высокой температуры размягчения, пониженной тепловой чувствительности, повышенной устойчивости к ползучести, меньшей склонности к растрескиванию в холодное время и отличной адгезии к щебню.

Резиновая крошка из переработанных автомобильных шин используется в качестве связующего модификатора асфальта и асфальтовой смеси, добавки на разрыв градуированных и открытых основных асфальтовых смесей.

На рисунке 5 показаны три общих процесса, используемых для создания асфальтовых покрытий с применением резиновой крошки.

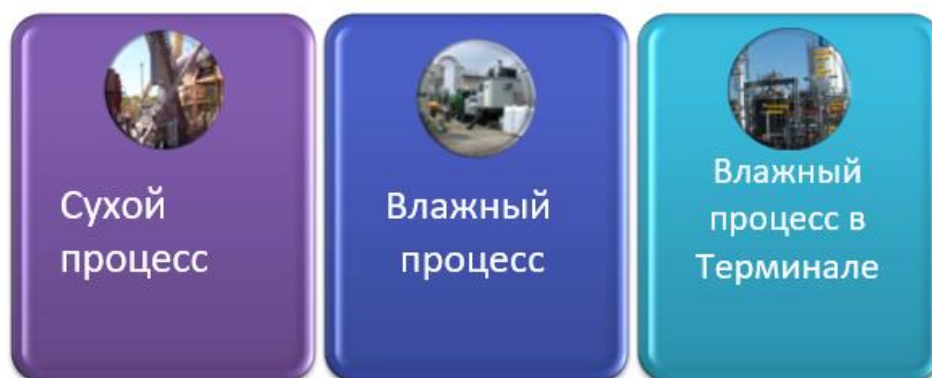


Рисунок 5 – Общие процессы создания связующих и смесей с применением резиновой крошки

Каждый из этих процессов будет производить резиновую крошку с различными свойствами и различной производительности. Производители должны понимать эти различия, чтобы они могли сделать выбор в отношении типа процесса, который будет работать лучше всего для их желаемого применения. Предприятиям рекомендуется определять свои цели при использовании резиновой крошки, с тем чтобы можно было выбрать правильный процесс для удовлетворения их потребностей. Кроме того, каждый из этих процессов имеет различные риски с точки зрения успеха [34].

Сухой процесс

Резиновая крошка, используемая в сухом процессе, считается агрегатной заменой в смеси, в отличие от связующей добавки. Сухой процесс асфальтовой резины является наименее коммерчески значимым типом асфальтовой резины. Сухая резиновая крошка добавляется по аналогии с мелиорированным асфальтовым покрытием на заводе по производству смеси. Резина, как правило, имеет размер частиц от 4,75 до 1,00 мм. Обычно используется в этом процессе криогенная резина. Для обеспечения пространства для резиновых частиц необходимы агрегатные смеси. РК подается шнеком на барабан [35].

Влажный процесс - Смешивание на месте

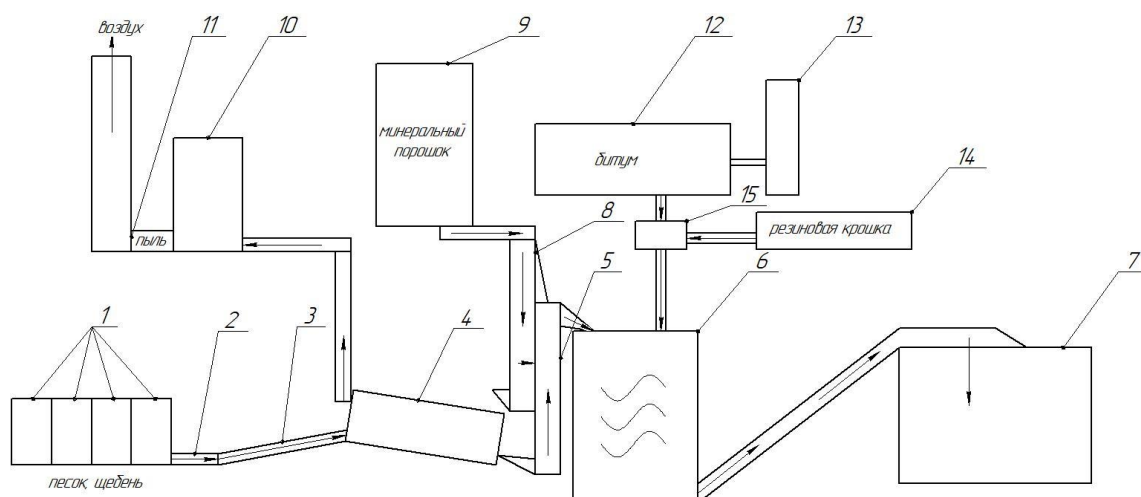
Влажный процесс со смешиванием на месте имеет самую длинную историю использования. Представляет собой смесь, смешанную в микст-бак и позволяет реагировать с асфальтовым связующим в течение определенного времени. РК смешивается при 350° до 400° по Фаренгейту (175°С до 200°С) в течение 45 до 60 минут. Температура и время зависит от базового уровня асфальтоукладного связующего класса, процента и размера частиц РК. В это время резиновые частицы поглощают некоторые световые фракции асфальта связующего и набухают. Это поглощение вызывает увеличение вязкости асфальта и связующей смеси. С увеличенным временем вязкость немного уменьшится. Это, как правило, называют «переваривание» резины в асфальтовой связующего.

Обычно добавление резиновой крошки составляет от 15% до 22% по весу асфальта и резиновой смеси. Минимум 15% был первоначально установлен для максимального использования переработанных шин и не изменилась. Используется размер РК от 2,0 до 1,4 мм [36].

Влажный процесс - Терминал Blend

Смесь производится на терминале и отправляется на завод по производству смеси. Резиновая крошка в этом процессе используется, как правило, меньшего помола, размером меньше, чем 0,6 мм. Меньшие резиновые частицы используются, чтобы помочь улучшить стабильность хранения. В некоторых системах резина полностью усваивается в асфальте без каких-либо твердых частиц. Связующих используется 5% до 10% по весу общего связующего.

На рисунке 6 представлена схема производства асфальтобетонной смеси с добавлением резиновой крошки.



1 – бункеры-дозаторы, 2 – сборный конвейер, 3 – конвейер сушильного барабана, 4 – сушильный барабан, 5 – «горячий» элеватор, 6 – смешительная башня, 7 – накопительный бункер, 8 – элеватор минерального порошка, 9 – силос минерального порошка, 10 – пылеуловитель, 11 – пылесос-вентилятор, 12 – битумный бак-цистерна, 13 – нагреватель битума, 14 – емкость с механоактивированной резиновой крошкой, 15 – смеситель битума и резиновой крошки

Рисунок 6 – Схема технологического процесса изготовления асфальтобетона

2.4 Предложение технологии по получению асфальтобетонной смеси при использовании резиновой крошки, полученной на базе ООО«ЭкоРесурсПоволжье»

Предлагается внедрить технологию получения асфальтобетонной смеси с использованием получаемой на предприятии резиновой крошки. Но прежде, чем вводить резиновую крошку стоит отметить, что даже самый мелкий помол резиновой крошки (размер 1 мм и менее), не позволяет ей раствориться в битуме, находясь в виде набухшей дисперсии. То есть крошка не становится однородной и эластичной в структуре вяжущего, потому что «вулканизированный каучук распределен не в виде макромолекул между мицеллами битума, а в виде крупных агрегатов или «центров эластичности», мало влияющих на упругость и эластичность вяжущего» [9].

Для того, чтобы резиновая крошка полностью отдала свои свойства в изготавливаемый асфальтобетон необходимо произвести деструкцию структуры резиновой крошки. Эта задача решается путем механоактивации шинной резины в дезинтеграторах-измельчителях.

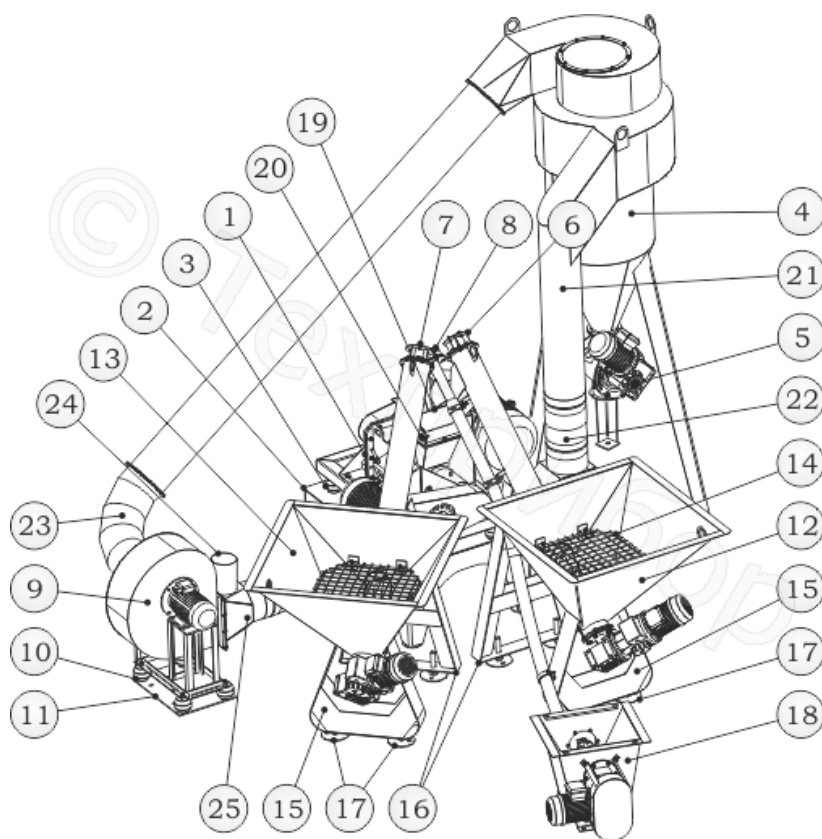
Предлагается к установке «комплекс измельчения - активирующего смешения «ТОР-4500 С+ПОТОК» (рисунок 7), который работает следующим образом: сырье загружается в расходные бункеры (12) и (13) винтовых конвейеров-питателей (6) и (7), установленные на опоры (15) и (16), оснащенные регулируемыми по высоте опорами (17). В расходных бункерах (12) и (13) установлены защитные решетки (14).

Малые добавки в свою очередь загружаются в расходный бункер (18) рецептурного микродозатора «ПОТОК 3-16 ГШ» (8). Далее, сырьевые компоненты регулируемые потоками подаются в загрузочную горловину (19) дезинтегратора (1) и пройдя магнитную решетку неавтоматического железоотделителя (20) поступают в камеру помола, а именно, в центральную часть малого ротора-импеллера дезинтегратора (1). Получив удар частицы перерабатываемого сырья, отбрасываются от центра малого ротора-импеллера к его периферии, где сталкиваются с ударными элементами большого ротора-импеллера, вращающегося во встречном направлении, активно перемешиваясь при этом. Образующаяся смесь воздушным потоком выносятся из корпуса дезинтегратора (1) по транспортному воздуховоду (21) в циклон (4), где происходит отделение твердой фазы от воздуха, после чего продукт помола выгружается шлюзовым затвором (5) в дальнейшую технологию. Для предотвращения передачи вибрации между дезинтегратором (1) и транспортным воздуховодом (21) установлен гибкий рукав (22)» [37].

«Отработанный» воздух из верхней части циклона (4) по возвратному воздуховоду (23) поступает на вход пылевого вентилятора (9) и далее через коллектор (25) возвращается в камеру помола дезинтегратора (1). Для удаления из частично замкнутой пневматической системы «лишнего» воздуха, в верхней части коллектора (25) установлен патрубок (24), который должен

соединяться с отдельной аспирационной установкой (например, рукавным фильтром) производительностью не менее 1500 м³/ч» [37].

«Управление работой комплекса измельчения - активирующего смешения «ТОР-4500 С+ПОТОК» осуществляется с выносного электрического пульта, оборудованного частотными преобразователями для регулирования производительности (объемного расхода) винтовых конвейеров-питателей (6) и (7), а также рецептурного микродозатора «ПОТОК 3-16 ГШ» (8), что позволяет получать смеси заданного вещественного состава» [37].



1 – дезинтегратор модели «ГОРИЗОНТ – 380185Z», 2 – рама-основание, 3 – резиновые виброизоляторы, 4 – циклон, 5 – шлюзовой затвор, 6, 7 – винтовые конвейеры-питатели, 8 – рецептурный микродозатор «ПОТОК 3-16 ГШ», 9 – пылевой вентилятор, 10 – на резиновые виброизоляторы, 11 – площадка

Рисунок 7 – Дезинтегратор-измельчитель

В таблице 14 приведены технические характеристики рассматриваемого дезинтегратора-измельчителя.

Таблица 14 – Технические характеристики дезинтегратора-измельчителя

Параметр	Значение
Производительность, м ³ /ч	3-5
Установленная мощность, кВт	37
Габаритные размеры (L×B×H), мм	1750×1250×1080
Масса, кг	810
Напряжение питания, В	380
Крупность питания не более, мм	12
Расположение роторов	горизонтально-соосное
Направление вращения роторов	навстречу

Таким образом в дезинтегратор-измельчитель в расходные бункеры помещается резиновая крошка размером 1 мм и менее и песок в пропорции 1:2.

Предлагаемый к производству асфальтобетон имеет следующий состав, приготовленный на основании асфальтобетона типа Б по ГОСТ 9128-97:

- щебень – 42,0 – 43,0 %;
- песок – 35,0 – 36,0%;
- минеральный порошок – 12,8 – 13,2%;
- вязкий нефтяной битум – 5,5 – 6,0%;
- механоактивированная резиновая крошка – 1%;
- механоактивированный песок – 2%.

«Предлагаемый асфальтобетон включает в свой состав щебень, песок, минеральный порошок, вязкий нефтяной битум, а вместо резиновой крошки крупностью 1,2 мм включает смесь механоактивированной резиновой крошки и песка, обработанную совместно в дезинтеграторе, при этом масса резиновой

крошки в смеси составляет, по меньшей мере, 1% и относится к массе песка, по меньшей мере, как 1:2.

При этом размер фракций механоактивированной резиновой крошки составляет от 0,071 мм до 0,100 мм» [39].

«Механоактивированная резиновая крошка имеет следующие показатели и свойства:

- при относительно низких энергозатратах образуются тонкодисперсные порошки, которых фракции со средним диаметром 0,1-0,2 мм составляют 60-70%;
- форма частиц резиновой крошки обеспечивает хорошую текучесть таких порошков;
- в результате дезинтеграции происходит так называемая активация частиц, включающая ряд эффектов: образование статического заряда, влияющего на упаковку молекул при вторичной переработке; образование активных свободных радикалов; образование ювенальной поверхности макрочастиц, улучшающей их когезию» [40].

Применяемая механоактивированная резиновая крошка способствует улучшению коррозионной устойчивости асфальтобетона за счет повышения закрытой пористости.

Добавление механоактивированной резиновой крошки и механоактивированного песка не требует дополнительного оборудования и вводится с асфальтобетонную смесь по принятой технологии.

2.5 Расчет материального баланса получения механоактивированной резиновой крошки

Произведем расчет материального баланса изготовления механоактивированной резиновой крошки на базе существующего и предлагаемого оборудования для того, чтобы получить информацию по

объемам расхода поступающего на переработку сырья и объемов получения механоактивированной резиновой крошки на выходе.

В процесс переработки отработанных автомобильных шин в резиновую крошку происходят потери в виде текстильного и металлического кордов, а также взвешенных частиц резины. Это составляет 20-25 % от всей массы сырья. Для того, чтобы осуществилась механоактивация, необходимо добавлять песок. Таким образом, принимаем первоначальную массу поступающего сырья 1160 кг – 1000 кг отработанные автомобильные шины, 160 кг песка.

На рисунке 8 приведена схема материальных потоков получения механоактивированной резиновой крошки.

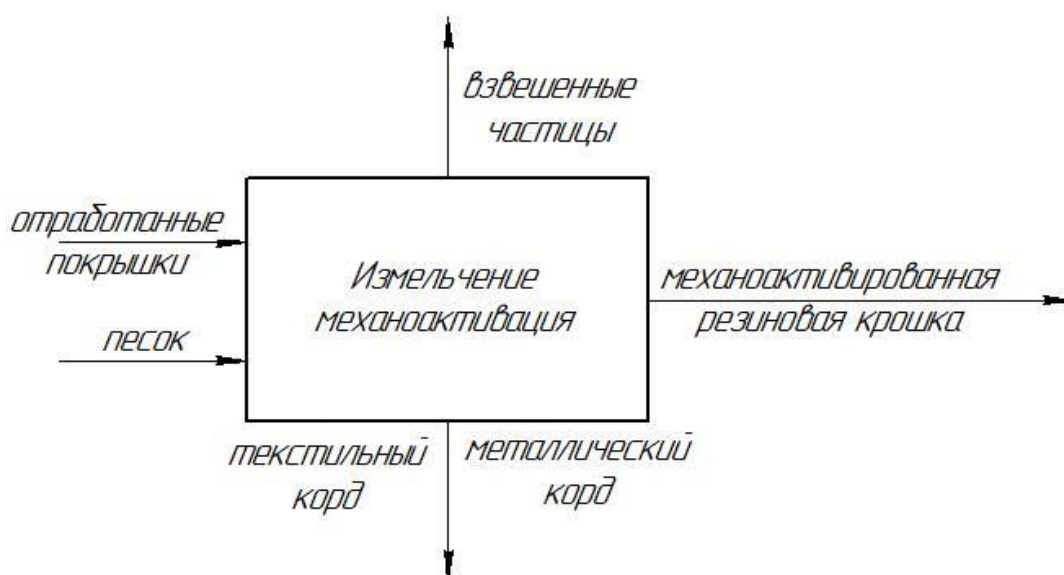


Рисунок 8 – Материальные потоки процесса изготовления механоактивированной резиновой крошкой

Уравнение материального баланса имеет вид (2.1):

$$G_{\text{отр.шин}} + G_{\text{песок}} = G_{\text{МАрез.кр.}} + G_{\text{вз.част.}} + G_{\text{корды}}, \quad (2.1)$$

где $G_{\text{отраб.шин}}$ – общая масса поступивших отработанных шин;

$G_{\text{песок}}$ – масса добавляемого песка;

$G_{\text{МАрез.кр}}$ – масса получаемой механоактивированной резиновой крошки;

$G_{\text{взвеш.част.}}$ – масса взвешенных частиц;

$G_{\text{корды}}$ – масса текстильного и металлического кордов.

Массу получаемой механоактивированная резиновой крошки находим по формуле (2.2):

$$G_{\text{МАрез.кр}} = (G_{\text{отраб.шин}} + G_{\text{песок}}) - (G_{\text{вз.част.}} + G_{\text{корды}}), \quad (2.2)$$

Согласно имеющимся данным взвешенных частиц составляет 5% от общей массы перерабатываемого материала, в соотношении 0,3:0,7. По формуле (2.3) найдем количество выделившегося пара и воздуха:

$$G_{\text{вз.част.}} = (G_{\text{отраб.шин}} + G_{\text{песок}}) \cdot 0,05 \cdot 0,3, \quad (2.3)$$

$$G_{\text{вз.част.}} = 1160 \cdot 0,05 \cdot 0,3 = 17,4 \text{ кг}$$

Произведем расчет потерь при удалении текстильного и металлических кордов, которые составляют 20%, по формуле (2.4):

$$G_{\text{корды}} = (G_{\text{отраб.шин}} + G_{\text{песок}}) \cdot 0,2 \cdot 0,7, \quad (2.4)$$

$$G_{\text{корды}} = 1160 \cdot 0,2 \cdot 0,7 = 162,4 \text{ кг}$$

Рассчитаем массу получаемого получаемой механоактивированной крошки

$$G_{\text{МАрез.кр}} = (1000 + 160) - (17,4 + 162,4) = 980,2 \text{ кг}$$

На основании проведенных расчет составим материальный баланс (таблица 15).

Таблица 15 – Материальный баланс производства механоактивированной резиновой крошки

Приход			Расход		
Компонент	Масса, кг	Содержание, %	Компонент	Масса, кг	Содержание, %
Отработанные шины	1000	86,21	Механо-активированная резиновая крошка	980,2	84,5
Песок	116	13,79	Взвешенные частицы	17,4	1,5
			Текстильный, металлический корды	162,4	14
Итого:	1160	100	Итого:	1160	100

2.6 Экспериментальные особенности процесса смешения

Для проведения экспериментального исследования предлагается подготовить 3 образца асфальтобетонной смеси типа Б марки П, отличающихся своим компонентным составом по весу:

- 1 образец: щебень – 45%; песок – 31%; минеральный порошок – 14%; битум БНД 60/90 – 6%;
- 2 образец: щебень – 45,0 %; песок – 33%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 6%; резиновая крошка – 3%;
- 3 образец: щебень – 43,0 %; песок – 35,5%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 5,5%; механоактивированная резиновая крошка – 2%; механоактивированный песок – 1%.

Процесс подготовки образцов был проведен согласно ГОСТ 9128-2013. До изготовления образцов песок, щебень, минеральный порошок были просушены, из битума удалена вся влага (обезвоживание). Далее минеральные компоненты (песок, минеральный порошок и щебень) компоненты нагрели до 150°C, битум подогревали отдельно, постепенно добавляли к минеральным компонентам и перемешивали. Полученную смесь поместили в лабораторную мешалку (рисунок 9) для равномерного перемешивали в течение 5 минут.



Рисунок 9 – Смеситель

Далее полученная смесь перекладывалась в специальные цилиндрические формы, в которых был вставлен нижний вкладыш. Смесь равномерно распределяли по форме шпателем, затем сверху устанавливался прижимной вкладыш. Форму поместили на нижнюю плиту пресса (рисунок 10), довели верхнюю плиту до формы, включили электродвигатель и довели давление пресса до 40 МПа, выдержали в течение 3 минут, сняли нагрузку, извлекли полученные образцы из формы выжимным приспособлением.



Рисунок 10 – Формовочный пресс

На рисунке 11 представлен полученный образец асфальтобетона.



Рисунок 11 – Полученный образец асфальтобетона

Для определения водонасыщения образцы были взвешены на весах с приспособлением для гидравлического взвешивания, затем помещены в вакуум-прибор (рисунок 11) с водой (температура 20°C), в котором создавалось и поддерживалось давление в 2 кПа, выдерживались в течение 1 часа. Затем образцы извлекали, вытирали сухой тканью и взвешивали. Полученной увеличением массы свидетельствует о водонасыщении образцов.



Рисунок 12 – Вакуум-прибор для водонасыщения образцов

Для определения прочностных характеристик асфальтобетонов применялся пресс (рисунок 12). Предварительно образцы были выдержаны при температурах 0°C, 20°C, 50°C, в течение 1 часа выдержали в водяной бане (рисунок 13).

Каждый образец устанавливали в центре нижней плиты прессы, опустили верхнюю плиту на 2 мм выше верхнего края образца. Далее включали электродвигатель прессы и подавали нагрузку, поршень перемещался со скоростью 3 мм/мин.



Рисунок 13 – Гидравлический пресс для испытания образцов на прочность



Рисунок 14 – Водяная баня

Проведенные лабораторные испытания полученных образцов асфальтобетонных смесей осуществлялись по Методикам испытаний в соответствии с ГОСТ 9128-2013, ГОСТ 12801-98. Составлены протоколы

(Приложение А). Сводные результаты по протоколам представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Результаты экспериментальных исследований

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9128-2013	Образцы		
		Состав № 1 (по ГОСТ 9128-2013) щебень – 45%; песок – 31%; минеральный порошок – 14%; битум БНД 60/90 – 6%;	Состав № 2 (резиновая крошка) щебень – 45,0 %; песок – 33%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 6%; резиновая крошка – 3%	Состав № 3 (механоактивированная резиновая крошка) щебень – 43,0 %; песок – 35,5%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 5,5%; механоактивированная резиновая крошка – 2%; механоактивированный песок – 1%
Водонасыщение, % по объему	1,5 – 4,0	1,7	1,8	1,7
Прочность при сжатии, МПа, R _{вод}		3,9	4,0	4,5
20°С, не менее	2,2	4,0	4,1	4,5
50°С, не менее	1,0	1,8	2,1	2,5
0°С, не более	12,0	9,1	9,0	9,6
Водостойкость, не менее	0,85	0,90	0,98	1,0
Сдвигоустойчивость по:				

Продолжение таблицы 16

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9128-2013	Образцы		
		Состав № 1 (по ГОСТ 9128-2013) щебень – 45%; песок – 31%; минеральный порошок – 14%; битум БНД 60/90 – 6%;	Состав № 2 (резиновая крошка) щебень – 45,0 %; песок – 33%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 6%; резиновая крошка – 3%	Состав № 3 (механоактивированная резиновая крошка) щебень – 43,0 %; песок – 35,5%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 5,5%; механоактивированная резиновая крошка – 2%; механоактивированный песок – 1%
Коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,81	0,90	0,93	0,96
Сцеплению при сдвиге при 50°С, МПа, не менее	0,35	0,39	0,40	0,44
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при 0°С и скорости деформирования 50 мм/мин, МПа	3,0 – 6,5	4,2	4,1	4,5

Продолжение таблицы 16

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9128-2013	Образцы		
		Состав № 1 (по ГОСТ 9128-2013)	Состав № 2 (резиновая крошка)	Состав № 3 (механоактивированная резиновая крошка)
		щебень – 45%; песок – 31%; минеральный порошок – 14%; битум БНД 60/90 – 6%;	щебень – 45,0 %; песок – 33%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 6%; резиновая крошка – 3%	щебень – 43,0 %; песок – 35,5%; минеральный порошок – 13%; битум БНД 60/90 – 5,5%; механоактивированная резиновая крошка – 2%; механоактивированный песок – 1%
Сцепление битума с минеральной частью асфальтобетонной смеси	Соответствие требованиям ГОСТ 12801. р. 24	выдерживает	выдерживает	выдерживает

Опираясь на полученные данные, можно сделать выводы, что образец, в который введена механоактивированная резиновая крошка с механоактивированным резиновым порошком обладает водонасыщением как образец, изготовленные по ГОСТ, а по водостойкости – превышает значения, что свидетельствует о лучшем отталкивании воды от смеси, что позволит не растрескиваться асфальтобетону и сохранять свои прочностные характеристики при минусовых температурах и перепадах. Улучшение характеристики 3 образца по параметру прочность позволит лучше выдерживать нагрузки на поверхность асфальтобетонной смеси при

температурах от 0°С до 50 °С. Трещиноустойчивость образца с механоактивированными резиновой крошкой и песком выдали высокие показатели по сопротивлению деформированию и растяжению, что свидетельствует о высоких показателях пластичности.

Но стоит заметить, что увеличение объемов содержания резиновой крошки в составе асфальтобетонной смеси приводит к ухудшению указанных в таблице 16 характеристик, так как уменьшается содержание «твердых» компонентов и битума.

2.7 Расчет материального баланса изготовления модифицированного асфальтобетона

Рассчитаем материальный баланс производства асфальтобетонной смеси с использованием механоактивированной резиновой крошки и песка.

Проведение расчета необходимо для определения объемов расхода поступающего сырья и объемов получения конечного продукта.

При изготовлении асфальтобетонной смеси происходит испарение влаги, которая находится в общем объеме материалов, удаление воздуха и мелкие частицы минерального порошка, песка, резиновой крошки. Данная смесь составляет порядка 10 –15% от общей массы. Принимаем, что первоначально общий объем поступающего сырья для асфальтобетонной смеси составляет 100%, а на конечном этапе – 85%. Для расчетов принимаем изначальный вес всех компонентов смеси – 1000 кг.

На рисунке 15 представлена схема материальных потоков изготовления асфальтобетонной смеси с резиновой крошкой.

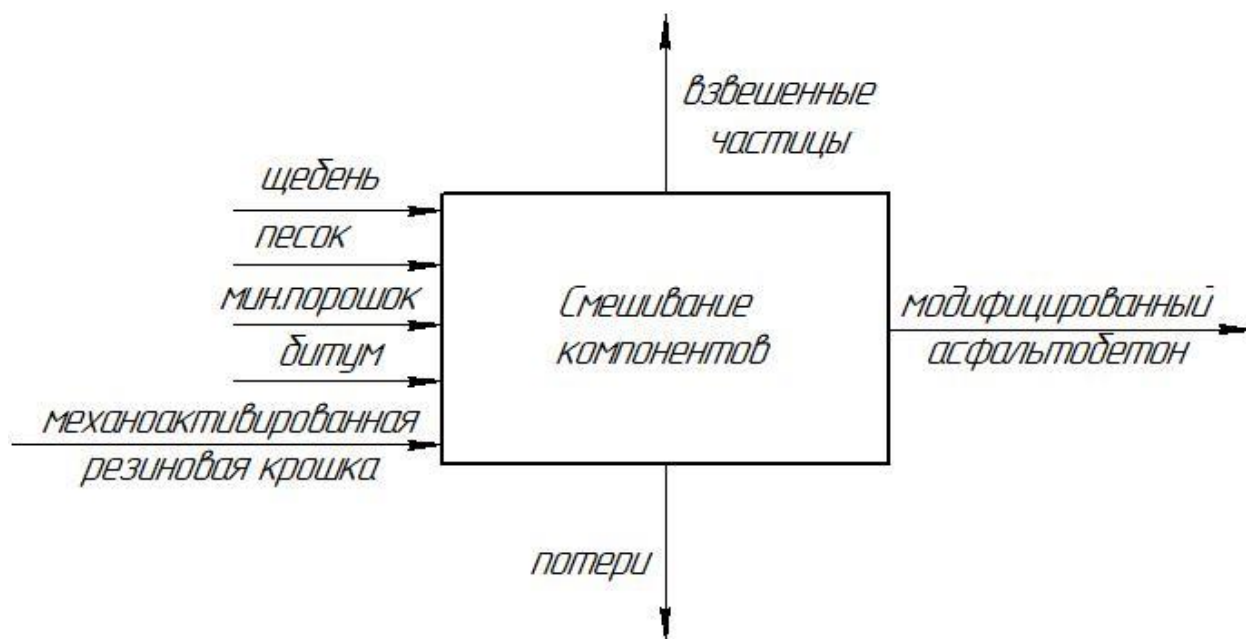


Рисунок 15 – Материальные потоки процесса изготовления асфальтобетонной смеси с механоактивированной резиновой крошкой

Уравнение материального баланса имеет вид (2.5):

$$G_{\text{общая}} = G_{\text{МАБ}} + G_{\text{мел.фр.}} + G_{\text{ГВС}} , \quad (2.5)$$

где $G_{\text{общая}}$ – общая масса поступивших материалов;

$G_{\text{МАБ}}$ – масса получаемого модифицированного асфальтобетонная;

$G_{\text{мел.фр.}}$ – масса мелкой фракции материалов (песок, минеральный порошок, резиновая крошка);

$G_{\text{ГВС}}$ – масса выделяемой газовойоздушной смеси.

Массу получаемого модифицированного асфальтобетона находим по формуле (2.6):

$$G_{\text{МАБ}} = G_{\text{общая}} - (G_{\text{мел.фр.}} + G_{\text{ГВС}}) , \quad (2.6)$$

Согласно имеющимся данным газоздушная смесь составляет 7% от общей массы перерабатываемого материала, в соотношении 0,3:0,7. По формуле (2.7) найдем количество выделившегося пара и воздуха:

$$G_{\text{ГВС}} = G_{\text{общая}} \cdot 0,07 \cdot 0,3, \quad (2.7)$$

$$G_{\text{ГВС}} = 1000 \cdot 0,07 \cdot 0,3 = 21 \text{ кг}$$

Произведем расчет потерь мелкой фракции материалов, которые составляют 8%, по формуле (2.8):

$$G_{\text{мел.фр.}} = G_{\text{общая}} \cdot 0,08 \quad (2.8)$$

$$G_{\text{мел.фр.}} = 1000 \cdot 0,08 = 80 \text{ кг}$$

Рассчитаем массу получаемого модифицированного асфальтобетона

$$G_{\text{МАБ}} = 1000 - (21 + 80) = 899 \text{ кг}$$

На основании проведенных расчет составим материальный баланс (таблица 17).

Таблица 17 – Материальный баланс производства модифицированного асфальтобетона

Приход			Расход		
Компонент	Масса, кг	Содержание, %	Компонент	Масса, кг	Содержание, %
Щебень	430	43,00	Модифицированный асфальтобетон	899	89,90
Песок	355	35,50	Газовоздушная смесь	21	0,21
Минеральный порошок	130	13,00	Мелкие фракции	80	0,80
Битум	55	5,50			
Механоактивированная резиновая крошка	20	2,00			
Механоактивированный песок	10	1,00			
Итого:	1000	100	Итого:	1000	100

2.8 Расчет экономической эффективности производства механоактивированной резиновой крошки

Для производства механоактивированной резиновой крошки на базе ООО «ЭкоРесурсПоволжье» необходимо приобрести дезинтегратор. Для того, чтобы определить экономическую эффективность от его внедрения произведем расчеты.

Расчет затрат на сырье для производства механоактивированной крошки производится на 1 тонну продукта по формуле (2.9):

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n_i} M_{c_i} \cdot C_{c_i}, \quad (2.9)$$

где Z_c –затраты на сырье, руб.;

M_{c_i} – количество компонентов, кг;

Π_{c_i} – цена за 1 т компонента, руб.

Закупку резиновой крошки предприятие не будет осуществлять, необходимо приобретение песка. Таким образом, затраты на сырье будут составлять:

$$Z_c = 0,33 \cdot 360 = 118,8 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на приобретение и монтаж оборудования складываются из прямых затрат на его приобретение и сопутствующих затрат: формула (2.10):

$$K_{\text{п.об}} = K_{\text{об}} + K_{\text{соп}}, \quad (2.10)$$

где $K_{\text{п.об}}$ – капитальные затраты на оборудование;

$K_{\text{об}}$ – прямые затраты на приобретение оборудования;

$K_{\text{соп}}$ – сопутствующие затраты на оборудование.

Прямые капитальные вложения на приобретение дезинтегратора составляют $K_{\text{об}} = 45000$ руб.

Затраты на доставку и монтаж оборудования принимаются по укрупнённым нормам в процентах от стоимости оборудования:

– доставка – 2 % ($K_{\text{дост}}$);

– монтаж оборудования – 10...15% ($K_{\text{монт}}$);

– пуско-наладочные работы – 2...3% ($K_{\text{пн}}$);

Сопутствующие капитальные затраты на оборудование рассчитываются по формуле (2.11):

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{об}} \frac{K_{\text{дост}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{пн}}}{100\%}, \quad (2.11)$$

$$K_{\text{соп}} = 45000 \cdot \frac{2 + 10 + 2}{100\%} = 6300 \text{ руб}$$

$$K_{\text{п.об}} = 45000 + 6300 = 51300 \text{ руб.}$$

В статье расходов на содержание и эксплуатацию оборудования учтены следующие затраты:

- амортизация оборудования (при отсутствии данных принята норма амортизации 15% от стоимости оборудования). Амортизацию оборудования рассчитали по формуле 2.12:

$$H_{\text{ам}} = 0,15 \cdot C_{\text{об}}, \quad (2.12)$$

$$H_{\text{ам}} = 0,15 \cdot 45000 = 6750 \text{ руб.}$$

- текущий ремонт и содержание оборудования (затраты на запасные части, материалы и накладные расходы) – составляет 30% от амортизации оборудования;
- износ и восстановление инструментов и приспособлений – 5% от амортизации оборудования;
- прочие расходы – 1% от амортизации оборудования.

Полученные данные свели в таблицу 18.

Таблица 18 – Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Наименование статей	Сумма, руб., $P_{\text{об}}$
Амортизация оборудования. $H_{\text{ам}} = \%$	6750
Текущий ремонт и содержание оборудования	4050
Износ и восстановление инструментов	337,5
Прочие расходы	67,5
Итого:	11205

Затраты содержание и эксплуатацию оборудования исходя на 1 т продукции находится по формуле (2.13):

$$P_{\text{об.уд}} = \frac{P_{\text{об}}}{M} \quad (2.13)$$

$$P_{\text{об.уд}} = \frac{11205}{420,5} = 26,65 \text{ руб}$$

Далее проведем расчет расходов на топливо и энергию. Годовой расход электроэнергии рассчитывается по формуле (2.14):

$$P_{\text{Э.год}} = \frac{\sum N_{\text{дв}} \cdot K_{\text{здв}} \cdot K_{\text{зN}} \cdot \Phi_{\text{эф}}}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{с}}} \quad (2.14)$$

где, $\sum N_{\text{дв}}$ – суммарная мощность электродвигателей;

$K_{\text{здв}}$ – коэффициент загрузки электродвигателей по времени;

$K_{\text{зN}}$ – коэффициент загрузки электродвигателей по мощности (0,7...0,9);

$\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателей (0,85...0,95);

$\eta_{\text{с}}$ – КПД электросети завода (0,9...0,95).

$$P_{\text{Э.год}} = \frac{\sum 37 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 3760}{0,85 \cdot 0,9} = 127299,35 \text{ Вт/год} = 127,3 \text{ кВт/год}$$

Расход электроэнергии на одну тонну продукции находится по формуле (2.15):

$$P_{\text{Э.дв}} = \frac{P_{\text{Э.год}}}{M} \quad (2.15)$$

$$P_{\text{Э.дв}} = \frac{127,3}{420,5} = 0,31 \text{ кВт/кг}$$

Расчет фонда заработной платы не производится в виду того, что не требуется введение дополнительной штатной единицы, осуществлять загрузку и приемку материалов будет уже действующий сотрудник.

По статье цеховых расходов учитываются следующие затраты:

- амортизация зданий (норма амортизации зданий принимается по данным базового предприятия или 2% его стоимости);
- содержание зданий (стоимость содержания одного квадратного метра здания определяется по данным базового предприятия).

Результаты расчётов сводятся в таблицу 19.

Таблица 19 – Расчёт цеховых расходов

Наименование статей расхода	Сумма, руб., $P_{ц}$
Амортизация зданий	15000
Содержание зданий	3000
Итого:	18000

Расчет цеховых расходов на 1 т продукции:

$$P_{\text{Об.уд}} = \frac{18000}{420,5} = 42,81 \text{ руб.}$$

Анализ себестоимости одной тонны продукции сводит все рассчитанные величины и производит окончательный расчет для нахождения себестоимости одной тонны продукции. Данные приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Себестоимость продукции

Наименование статей	Сумма, руб.
Сырьё и материалы	118,8
Энергия	1,3
Цеховые расходы	42,81
Полная себестоимость	162,91

Расчёт экономической эффективности

Стоимость годовой продукции определяется произведением цены единицы продукции на ее количество (формула 2.16):

$$R = Ц \cdot N \quad (2.16)$$

где R – стоимость продукции, рублей.

Для расчета прибыли берем стоимость продукции как 120% от ее себестоимости.

$$R = 162,91 \cdot 1,2 \cdot 420,5 = 82204,39 \text{ руб}$$

Прибыль рассчитывается по формуле (2.17):

$$Pr = R - C_{\pi} \quad (2.17)$$

Рентабельность производства находится по формуле (2.18):

$$РП = \frac{R - C_{\pi}}{C_{\pi}} \quad (2.18)$$

Индекс доходности рассчитывается по формуле (2.19):

$$\text{ИД} = \frac{R}{Ц \cdot M} \quad (2.19)$$

$$\text{ИД} = \frac{82204,39}{162,91 \cdot 420,5} = 1,2$$

$$\text{Пр} = 82204,39 - (162,91 \cdot 420,5) = 13700,74 \text{ руб}$$

$$\text{РП} = \frac{82204,39 - (162,91 \cdot 420,5)}{(162,91 \cdot 420,5)} = 0,2 \text{ руб/руб}$$

Далее определим налог на прибыль по формуле (2.20):

$$H_{\text{пр}} = \frac{\text{Пр}_{\text{ож}} \cdot K_{\text{нал}}}{100} \quad (2.20)$$

где $K_{\text{нал}}$ – ставка налога на прибыль (20%).

$$H_{\text{пр}} = \frac{13700,74 \cdot 20}{100} = 2740 \text{ руб}$$

Определим чистую ожидаемую прибыль по формуле (2.21):

$$\text{Пр}_{\text{чист}} = \text{Пр}_{\text{ож}} - H_{\text{пр}} \quad (2.21)$$

$$\text{Пр}_{\text{чист}} = 13700 - 2740 = 10960 \text{ руб}$$

После определения чистой прибыли определили расчётный срок окупаемости капитальных вложений (инвестиций), необходимых для осуществления проектируемого варианта, по формуле (2.22):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общ}}}{\text{Пр}_{\text{чист}}} \quad (2.22)$$

где $T_{\text{ок}}$ – срок окупаемости капитальных вложений.

$$T_{ок} = \frac{51300}{10960} = 1,6 \text{ года}$$

Полученные данные представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Показатели экономической эффективности

Наименование показателя	Сумма за 1 т продукции, руб.
Ожидаемая прибыль	82204,39
Налог на прибыль	2740
Чистая прибыль	10960
Рентабельность производства	1,6 года

В заключении составили таблицу технико-экономических показателей (таблица 22).

Таблица 22 – Технико-экономические показатели представленной разработки

Показатели	Значение показателя
Производственная мощность	420,5 т/год
Себестоимость продукции	162,91 руб./т
Капитальные вложения	51300 руб.
Чистая прибыль	10960 руб./т
Срок окупаемости	1,6 года

Выводы к главе 2

Резиновая крошка является модификатором смеси и выступает как компонент наполнителя. В результате этого резинобитумный асфальт не теряет мелкозернистые материалы под воздействием солнца, как стандартный асфальт.

Рассмотренный метод проведения механоактивации получаемой резиновой крошки путем введения песка в качестве абразивного компонента. Механоактивацию производят в дезинтеграторах, являющимися измельчителями-активаторами интегрально-ударного принципа работы.

Получаемый модифицированный механоактивированной резиновой крошкой асфальтобетон имеет улучшенные физико-механические и технологические свойства, которые выражаются в длительной водостойкости по насыщению, повышению предела прочности при сжатии.

Проведенные расчеты материальных балансов по получению механоактивированной резиновой крошки и производству модифицированного за счет нее асфальтобетона показывают, что, несмотря, на существующие потери, технологические процессы позволяют получить на выходе продукт в достаточном количестве для обеспечения нужных объемов на рынке для его производства.

По результатам расчетов экономической эффективности предлагаемого способа усовершенствования свойств резиновой крошки получено, что при капитальных вложениях размеров 51300 руб. предприятие сможет получать прибыль до 1960 руб. с одной тонны перерабатываемого материала, при этом стоимость механоактивированной резиновой крошки будет составлять 162,91 руб./т, что ниже стоимости песка и битума. Это позволит предприятиям-изготовителям асфальтобетона затрачивать меньше средств на приобретение материалов для изготовления конечного продукта.

Заключение

Переработанная резина используется в новых автомобильных покрышках, в топливе, полученном из шин, в гражданском строительстве и в изделиях, в формованных резиновых изделиях, в сельском хозяйстве, в рекреационных и спортивных целях, а также в модифицированных асфальтовых покрытиях.

Одним из важных направлений в области создания и усовершенствования технологий дорожного строительства является применений вторичных материалов и ресурсов в связи с возрастающими объемами накопления отходов и невысокой долей их утилизации.

Большое развитие получили исследования по повышению долговечности и качества дорожных покрытий путем усовершенствования битумов с внесением разного рода добавок. Целью таких исследований является улучшение качеств асфальтного покрытия, а именно: влагостойкости, снижения образования трещин, стойкости при повышенных температурах, морозоустойчивости, однородности.

Проведенный анализ научных материалов позволяет сделать вывод, что самым эффективным методом повышения качества асфальтобетонных покрытий является внесение резиновой крошки в битумные смеси, благодаря которой такие покрытия имеют улучшенные физико-механические свойства.

Для модернизации нефтяных битумов в их состав вводится резиновая крошка по структуре приближенная к порошку, которая получается методом механического измельчения.

Преимущества использования модифицированного каучуком асфальта приобретают все больший опыт и получают признание, и включение шин в асфальт, вероятно, увеличится. Технология, свидетельствующая об успехе, продемонстрирована на дорогах, построенных в последние 40 лет. Прорезиненная асфальтовая смесь, полученная с помощью так называемого

«мокрого процесса», который включает использование битумов с модифицированной резиновой крошкой.

Резиновая крошка имеет высокую эластичность и улучшает деформируемость и пластичность при использовании в асфальтобетонных смесях.

Проведенные расчеты экономической эффективности показывают, что основными затратами на производство механоактивированной резиновой крошки будут: покупка и установка дезинтегратора, закупка песка, амортизационные расходы. Введение дополнительных штатных единиц персонала не требуется.

По полученным результатам видно, что производство механоактивированной резиновой крошки выгодно для ООО «ЭкоРесурсПоволжье» при ее реализации на заводы, производящие асфальтобетонные смеси, так как стоимость получаемого сырья ниже рыночной стоимости речного песка и битума, что удешевляет производство асфальтобетона. При загрузке дезинтегратора в 2 рабочие смены возможно сокращение срока окупаемости оборудования.

Переработка отработанных автомобильных покрышек в механоактивированную резиновую крошку позволяет снизить нагрузку на окружающую среду и улучшить качество асфальтобетонного покрытия.

По результатам расчетов экономической эффективности предлагаемого способа усовершенствования свойств резиновой крошки получено, что при капитальных вложениях размеров 51300 руб. предприятие сможет получать прибыль до 1960 руб. с одной тонны перерабатываемого материала, при этом стоимость механоактивированной резиновой крошки будет составлять 162,91 руб./т, что ниже стоимости песка и битума. Это позволит предприятиям-изготовителям асфальтобетона затрачивать меньше средств на приобретение материалов для изготовления конечного продукта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство 1289872 СССР, MRUG 08 L 95/00 Способ приготовления резинобитумного вяжущего / Н.А. Орехов, Н.М. Сергеева, И.Л. Жайлович. и др., Бюл. № 6. – 1987.–98 с.
2. Волкова В.А. Рынок утилизации отходов / В.А. Волкова // Национальный исследовательский университет. – Высшая школа экономики., 2018. – 81 с.
3. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108509> (дата обращения 10.11.2020).
4. Доклад Министерства лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области «Пески строительные». [Электронный ресурс]. URL: https://priroda.samregion.ru/category/prirodopolzovanie/nedropolzovanie/peski_stroitelnie/ (дата обращения 15.12.2020).
5. Иванова Т.Л. Модификация дорожного асфальтобетона резиновыми порошками механоактивационного способа получения [Текст]: дис. на соиск. степ. канд. техн. наук / Т.Л. Иванова; СибАДИ – Омск, 2009. – 192 с.
6. Исследование и внедрение технологии приготовления минерального порошка из известняка-ракушечника в дезинтеграторной установке / Всесоюзный научно-технический информационный центр. –М., 1983.–88 с.
7. Исследование эффективности измельчения резиновых отходов в модельном измельчителе, рекомендации на изготовление опытно-производственной дезинтеграторной установки для получения резиновой крошки требуемой дисперсности: отчет о научно-исследовательской работе, тема № 113-03 / В.С. Прокопец, Е.А. Бедрин. – Омск: СибАДИ, 2004.
8. Курденкова И.Б. Структура и свойства асфальтобетона на модифицированных твердыми полимерами минеральных материалах:

автореф. дис . . . канд. техн. наук: 05.23.05 / И.Б. Курденкова; науч. рук. д-р, проф. И.В. Королев; МАДИ. -М., 1999. - 19 с.

9. Маркетинговые исследования DISCOVERY Research Group. [Электронный ресурс]. - URL: <https://drgroup.ru/> (дата обращения: 23.12. 2019).

10. Маркетинговые исследования Research Techart. [Электронный ресурс]. – URL: <https://research.techart.ru/> (дата обращения: 21.12. 2019).

11. Можно ли на свалку? Или захоронение ТКО и промышленных отходов // «Справочник эколога» №12 2016. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.profiz.ru/eo/12_2016/proekt_zahoronenie/ (дата обращения: 26.12. 2019).

12. Никольский В.Г. Интегральная технология переработки изношенных автопокрышек с получением активного порошка / В.Г. Никольский, С.А. Вольфсон, Т.В. Дударева, И.А. Красоткина // Наука–производству. – 2002. – № 3(53). – С. 13–21.

13. Оценка экспертов отраслевой ассоциации «Шиноэкология», данные о запуске новых мощностей в СМИ. [Электронный ресурс]. – URL: <http://shinoecologia.ru/> (дата обращения: 14.12. 2019).

14. Патент RU 2 365 553 C1 Асфальтобетон, содержащий механоактивированную резиновую крошку. Автор(ы): Прокопец Валерий Сергеевич (RU), Иванова Татьяна Леонидовна (RU). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/99/2365553/patent-2365553.pdf> (дата обращения 10.07.2020).

15. Патент RU 2 489 464 C1 Способ приготовления резинобитумной композиции. Автор(ы): Корнейчук Гордей Кириллович (RU). [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2489464C1_20130810 (дата обращения 10.07.2020).

16. Патент RU 2 365 553 C1 Асфальтобетон, содержащий механоактивированную резиновую крошку Автор(ы): Прокопец В.С., Иванова Т.Л. [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/236/2365553.html> (дата обращения 20.12.2020).

17. Патент RU 2353603 Сырьевая смесь для изготовления легкого бетона. Автор(ы): Сапронова Ирина Александровна (RU), Щепочкина Юлия Алексеевна (RU), Федосов Сергей Викторович (RU), Боброва Алла Александровна (RU). [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/235/2353603.html> (дата обращения 10.07.2020).

18. Патент RU 2415165 C1 Резинированная щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь. Автор(ы): Черсков Роман Михайлович (RU), Дьяков Константин Анатольевич (RU), Саенко Сергей Сергеевич (RU), Чернов Сергей Анатольевич (RU). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/45/2415165/patent-2415165.pdf> (дата обращения 10.07.2020).

19. Патент RU2162475C2 Способ получения битумной композиции и битумная композиция. Автор(ы): Жонг ЛИАНГ Жи, Т. Вудхэмс Раймонд. [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2162475C2/ru> (дата обращения 10.07.2020).

20. Патент RU2630529 C1 Способ получения модифицированного битумного вяжущего для дорожных покрытий (варианты). Автор(ы): Андриенко Владимир Георгиевич (RU), Горлов Евгений Григорьевич (RU), Горлова Евгения Евгеньевна (RU), Донченко Валерий Анатольевич (RU), Моисеев Валерий Андреевич (RU), Моисеев Андрей Валерьевич (RU), Омелюк Николай Михайлович (RU), Дун Жуйкунь (CN) [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2630529C1_20170911 (дата обращения 10.07.2020).

21. Передовой зарубежный опыт. Оценка эксплуатационных характеристик асфальтобетона : информационный сборник / [С. В. Полякова, Н. Н. Рубинская, О. Д. Сандомирская, Ю. В. Тактарова] ; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. дорожный науч.-ис- следовательский ин-т. — Казань : Бук, 2019. – 154 с.

22. Прокопец В.С. Модификация дорожного асфальтобетона резиновыми порошками механоактивационного способа получения: монография / В.С. Прокопец, Т.Л. Иванова. – Омск: СибАДИ, 2012. –116 с.

23. Прокопец В.С. Повышение эффективности дорожно-строительных материалов механоактивационным модифицированием исходного сырья [Текст]: автореф. дис. на соиск. степ. док. техн. наук / В.С. Прокопец; СибАДИ. – Омск, 2005. – 34 с.

24. Разгон Д.Р. Вторичное использование и переработка изношенных шин. 2004/1/7 [Электрон. ресурс] : [статья] / Д.Р. Разгон. Режим доступа: <http://www.recyclers.ru/modules/section/article.php?articleid=26> (дата обращения: 20.01.2007)

25. Рекомендации по применению битумно-резиновых композиционных вяжущих материалов для строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог (для опытного применения) Министерство транспорта Российской Федерации Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор) Москва 2003 [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294844/4294844873.htm> (дата обращения 18.12.2020)

26. Слепой Б.М. Исследование некоторых свойств асфальтобетона с добавлением резины / Б.М. Слепой и др. // Труды Союздорнии. -Вып. 34. –М.: Транспорт, 1969. – С. 83–90.

27. Соловьев Е.М. Получение резиновых порошков при положительных температурах и их влияние на основные свойства резин / Е.М. Соловьев, В.Б. Павлов, Н.С. Ениколопов // Каучук и резина. – 1987. – №4. – С. 6–9.

28. Сферы применения резинового гранулята и крошки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.waste.org.ua/modules.php?name=Pages&pa=showpage&pid=27> (дата обращения: 02.11.2020)

29. ТР 147-03 Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций из литых бетонных смесей / Правительство Москвы комплекс

архитектуры, строительства, развития и реконструкции города ГУП «НИИМосстрой» 2004 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293853/4293853727.htm> (дата обращения 15.07.2020).

30. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7-ФЗ. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 13.12. 2019).

31. Шинный рынок: итоги и перспективы. Cordiant. 2016 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docplayer.ru/27051859-Kruglyy-stol-shinnyy-rynok-itogi-i-perspektivy.html> (дата обращения: 20.12. 2019).

32. Шинные Рынки. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ustires.org/scrap-tire-markets> (дата обращения: 27.12. 2019).

33. Шульдякова К.А. Утилизация изношенных автомобильных шин в России // Молодой ученый. – 2016. – №26. – С. 739-742. [Электронный ресурс]. - URL <https://moluch.ru/archive/130/35973/> (дата обращения: 20.12.2019).

34. В. Muñoz-Sánchez, M.J. Arévalo-Caballero, M.C. Pacheco-Menor, Influence of acetic acid and calcium hydroxide treatments of rubber waste on the properties of rubberized mortars, Mater. Struct. 50 (2017) 75, <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0912-7>.

35. B.S. Thomas, R.C. Gupta, Long term behaviour of cement concrete containing discarded tire rubber, J. Clean. Prod. 102 (2015) 78–87, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.072>.

36. Global Tire Recycling Market Share, Size, Trends Analysis | Forecast 2024, (n.d.). <https://www.goldsteinresearch.com/report/global-tire-recycling-industry-market-trends-analysis> (accessed April 8, 2019).

37. Martin Forrest. Developments in Recycling and Re-use of Waste Rubber. 2017. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/304570696_Recycling_and_Re-use_of_Waste_Rubber (дата обращения: 17.12. 2019).

38. Raju Francis *Recycling of Polymers: Methods, Characterization and Applications* / Ed. by Raju Francis. John Wiley & Sons, 2017. [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.wiley.com/en-us/Recycling+of+Polymers%3A+Methods%2C+Characterization+and+Applications-p-9783527338481> (дата обращения: 20.12. 2019).

39. Raffoul, R. Garcia, D. Escolano-Margarit, M. Guadagnini, I. Hajirasouliha, K. Pilakoutas, Behaviour of unconfined and FRP-confined rubberised concrete in axial compression, *Constr. Build. Mater.* 147 (2017) 388–397, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.175>.

40. S. Kaewunruen, D. Li, Y. Chen, Z. Xiang, Enhancement of dynamic damping in eco-friendly railway concrete sleepers using waste-tyre crumb rubber, *Materials (Basel)* 11 (2018) 1169, <https://doi.org/10.3390/ma11071169>.

Приложение А

Протоколы лабораторных испытаний

ООО «АСФ-ДорСтрой»

445004, Самарская область, г. Тольятти,
Хрящевское шоссе, 9 тел: (8482) 55-84-86

Аттестат аккредитации № ИЛР (Ц) – 0133
Срок действия с 13.03.2020 г. по 13.03.2025 г.

ПРОТОКОЛ лабораторных испытаний асфальтобетонных смесей

Наименование предприятия: **ООО «АСФ-ДорСтрой»**
Наименование материала: Мелкозернистый плотный тип Б марки II
Место отбора проб: Лабораторный замес
Дата отбора проб: 22.04.2021 г.
Дата проведения испытания: 23.04.2021 г.
Методики испытаний: в соответствии с ГОСТ 9128-2013; 12801-98
Условия проведения испытаний: температура воздуха + 22 °С, относительная влажность помещения 65 %

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ

№ п/п	Наименование показателей	Требования ГОСТ 9128-2013	Фактические показатели
		мелкозернистая плотная типа Б марки II	мелкозернистая плотная типа Б марки II
		дор-клим зона III	дор-клим зона III
1.	Водонасыщение, % по объему	1,5 — 4,0	1,7
2.	Прочность при сжатии, Мпа R _{вод} 20°С, не менее 50°С, не менее 0°С, не более	2,2	4,0
		1,0	1,8
		12,0	9,1
3.	Водостойкость, не менее	0,85	0,98
4.	Сдвигоустойчивость по: коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,81	0,90
	сцеплению при сдвиге при 50°С, Мпа, не менее	0,35	0,39
5.	Трещиностойкость по: пределу прочности на растяжение при расколе при 0°С и скорости деформирования 50 мм/мин, Мпа	3,0 — 6,5	4,2
6.	Сцепление битума с минеральной частью а/бетонной смеси	Соответствие требованиям ГОСТ 12801, р. 24	выдерживает

Заключение: Асфальтобетонная смесь соответствует требованиям ГОСТ 9128-2013.



ООО «АСФ-ДорСтрой»

445004, Самарская область, г. Тольятти,
Хрящевское шоссе, 9 тел: (8482) 55-84-86

Аттестат аккредитации № ИЛР (Ц) – 0133
Срок действия с 13.03.2020 г. по 13.03.2025 г.

ПРОТОКОЛ лабораторных испытаний асфальтобетонных смесей

Наименование предприятия: ООО «АСФ-ДорСтрой»
Наименование материала: Мелкозернистый плотный тип Б марки II
Место отбора проб: Лабораторный замес
Дата отбора проб: 22.04.2021 г.
Дата проведения испытания: 23.04.2021 г.
Методики испытаний: в соответствии с ГОСТ 9128-2013; 12801-98
Условия проведения испытаний: температура воздуха + 22 °С, относительная влажность помещения 65 %

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ

№ п/п	Наименование показателей	Требования ГОСТ 9128-2013	Фактические показатели
		мелкозернистая плотная типа Б марки II	мелкозернистая плотная типа Б марки II (с резиновой крошкой)
		дор-клим зона III	дор-клим зона III
1.	Водонасыщение, % по объему	1,5 — 4,0	1,8
2.	Прочность при сжатии, Мпа R _{вод}		4,0
	20°С, не менее	2,2	4,1
	50°С, не менее	1,0	2,1
	0°С, не более	12,0	9,0
3.	Водостойкость, не менее	0,85	0,98
4.	Сдвигоустойчивость по: коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,81	0,93
	сцеплению при сдвиге при 50°С, Мпа, не менее	0,35	0,40
5.	Трещиностойкость по: пределу прочности на растяжение при расколе при 0°С и скорости деформирования 50 мм/мин, Мпа	3,0 — 6,5	4,1
6.	Сцепление битума с минеральной частью а/бетонной смеси	Соответствие требованиям ГОСТ 12801, п.24	выдерживает

Заключение: Асфальтобетонная смесь соответствует требованиям ГОСТ 9128-2013.



ООО «АСФ-ДорСтрой»

445004, Самарская область, г. Тольятти,
Хрящевское шоссе, 9 тел: (8482) 55-84-86

Аттестат аккредитации № ИЛР (Ц) – 0133
Срок действия с 13.03.2020 г. по 13.03.2025 г.

ПРОТОКОЛ лабораторных испытаний асфальтобетонных смесей

Наименование предприятия: ООО «АСФ-ДорСтрой»
Наименование материала: Мелкозернистый плотный тип Б марки II
Место отбора проб: Лабораторный замес
Дата отбора проб: 22.04.2021 г.
Дата проведения испытаний: 23.04.2021 г.
Методики испытаний: в соответствии с ГОСТ 9128-2013; 12801-98
Условия проведения испытаний: температура воздуха + 22 °С, относительная влажность помещения 65 %

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ

№ п/п	Наименование показателей	Требования ГОСТ 9128-2013	Фактические показатели
		мелкозернистая плотная типа Б марки II	мелкозернистая плотная типа Б марки II (с механоактивированной резиновой крошкой)
		дор-клим зона III	дор-клим зона III
1.	Водонасыщение, % по объему	1,5 — 4,0	1,7
2.	Прочность при сжатии, Мпа Rввод		4,5
		20°С, не менее	2,2
		50°С, не менее	1,0
	0°С, не более	12,0	9,6
3.	Водостойкость, не менее	0,85	1,0
4.	Сдвигоустойчивость по: коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,81	0,96
	сцеплению при сдвиге при 50°С, Мпа, не менее	0,35	0,44
5.	Трещиностойкость по: пределу прочности на растяжение при расколе при 0°С и скорости деформирования 50 мм/мин, Мпа	3,0 — 6,5	4,5
6.	Сцепление битума с минеральной частью а/бетонной смеси	Соответствие требованиям ГОСТ 12801, р. 24	выдерживает

Заключение: Асфальтобетонная смесь соответствует требованиям ГОСТ 9128-2013.

