

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность  
Отделение контроля и диагностики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка проекта технологической линии комплексной переработки изношенных автомобильных шин.</b>

УДК 628.4.037113.01:658.567.1:629

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Е31	Елкова Марина Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

**Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01  
Техносферная безопасность**

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>	<b>Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон</b>
Общие по направлению подготовки		
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, 2, ОПК-2). CDIO Syllabus (2.4, 4.1, 4.2.7, 4.7). Критерий 5 АИОР (п. 2.12)
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК-1). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.5)
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3, 5, 6, 7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-5, ПК-8). CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 3.1, 3.3, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.12, 2.14)
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ОПК-4). CDIO Syllabus (3.2). Критерий 5 АИОР (п. 2.11)
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-8, ОПК-1, ПК-5). CDIO Syllabus (1.1, 2.1). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8)
Профиль		
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО ( ОПК-5, ПК-5, ПК-6, ПК-7). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2, 2.4, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8), требованиями проф.стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателя, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов	Требования ФГОС ВО (ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ОПК-3, 4, 5). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5, 3.1) Критерий 5 АИОР (п. 2.6, 2.12), требованиями проф.стандарта 40.056 Профессиональный стандарт «Специалист по противопожарной профилактике»
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-16, ПК-17). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8), требованиями проф.стандартов 40.056 «Специалист по противопожарной профилактике», 40.054 «Специалист в области охраны труда»
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации	Требования ФГОС ВО (ПК-12, ПК-14, ПК-15, ПК-17, ПК-18). CDIO Syllabus (1.3, 2.1–2.5). Критерий 5 АИОР (п. 2.2–2.8)

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность  
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ А.Н. Вторушина  
 05.02.2018 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-1E31	Елковой Марине Александровне

Тема работы:

**Разработка проекта технологической линии комплексной переработки изношенных автомобильных шин.**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Технологическая линия комплексной переработки изношенных шин.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Изучить современное состояние проблемы утилизации и переработки изношенных автомобильных шин. Провести анализ сырьевой базы изношенных автомобильных шин для расчета и выбора технологического оборудования. Провести анализ использования полученного вторичного продукта.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент,	Спицын Владислав Владимирович

ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.02.2018 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	к.т.н., доцент		05.02.2018 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Е31	Елкова Марина Александровна		05.02.2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное  
 учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки (специальность) 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
 Уровень образования Бакалавриат  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2018 г.	Составление и утверждение технического задания на тему	20
26.03.2018 г.	Аналитический обзор литературных источников с целью изучения и установления влияния изношенных автомобильных шин на окружающую среду.	10
09.04.2018 г.	Изучение существующих способов утилизации и переработки изношенных автомобильных шин. Выбор рационального способа по переработке.	25
23.04.2018 г.	Обработка и анализ полученных данных и обоснование выбора рационального способа переработки изношенных автомобильных шин.	15
07.05.2018 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
21.05.2018 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Ю.В.	к.т.н., доцент		05.02.2018

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		05.02.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-1Е31	Елковой Марине Александровне

Тема: Разработка проекта технологической линии комплексной переработки изношенных автомобильных шин

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	Контроля и диагностики
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление / специальность</b>	20.03.01 Техносферная безопасность

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в электронных ресурсах компаний, занимающихся поставками оборудования для установок обратного осмоса.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	- Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование научно-исследовательской работы</i>	- Определение трудоемкости выполнения работ - Разработка графика проведения научного исследования

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Спицын Владислав Владимирович	Кандидат экономических наук, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-1Е31	Елкова Марина Александровна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1Е31	Елковой Марине Александровне

Школа	ИШНКД	Отделение	Контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, рабочая зона) и области его применения	Проект , разрабатываемый для технологической линии комплексной переработки изношенных автомобильных шин
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	<b>Вредные факторы:</b> 1. Повышенная запыленность воздуха; 2. Отклонение показателей микроклимата; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. Повышенный уровень шума; 5. Повышенный уровень вибрации; <b>Опасные факторы:</b> 1. (Механические) Движущиеся части машин и механизмов; 2. Повышенный уровень напряжения.
<b>2. Экологическая безопасность</b>	Технология производства как источник загрязнения Методы защиты атмосферы .
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Вероятные чрезвычайные ситуации и меры по их предупреждению
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	Специальные правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Е31	Елкова Марина Александровна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 86 страниц, 29 рисунков, 19 таблиц, 35 источников.

Ключевые слова: изношенные автомобильные шины, переработка автомобильных шин, загрязнение окружающей среды, резиновая крошка, утилизация.

Объектом исследования является технологическая линия комплексной переработки изношенных шин.

Цель работы – обоснование выбора и выбор технологии механической переработки изношенных автомобильных шин с получением целевого продукта - резиновая крошка.

В процессе исследования проводились обзор литературных источников по проблеме утилизации и способах переработки изношенных автомобильных шин.

В результате исследования сделано обоснование выбора рационального способа переработки изношенных автомобильных шин, проведен расчет материального баланса, предложена технологическая схема и выбрано технологическое оборудование, выполнен анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, рассмотрены вопросы безопасности и экологичности проекта.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Обоснование и выбор линии по переработке изношенных автомобильных шин фирмы Ecoster 500 производительностью 500 кг/час.

## **Список сокращений**

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ОС – окружающая среда;

ЗВ – загрязняющие вещества;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ГОСТ – государственный стандарт;

ГН – гигиенический норматив;

РТИ – резинотехнические изделия.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	12
1. Изношенные автомобильные шины и их влияние на окружающую среду.....	14
1.1 Общая характеристика проблемы изношенных автомобильных шин.....	14
1.2 Состав автомобильных шин.....	15
1.3 Экологическое влияние изношенных автомобильных шин на окружающую среду и здоровье человека.....	18
2. СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН.....	25
2.1 Физико-механические способы переработки изношенных автомобильных шин.....	26
2.2.1 Бародеструкционный способ переработки изношенных автомобильных шин.....	26
2.1.2 Способ «магнитного удара».....	27
2.1.3 Способ дробления изношенных автомобильных шин.....	28
2.1.3 Механическое разрезание изношенных автомобильных покрышек.....	29
2.1.4 Взрывоциркуляционный способ переработки изношенных автомобильных покрышек.....	29
2.1.5 Криогенный способ переработки изношенных автомобильных шин.....	30
2.2 Термические способы утилизации изношенных автомобильных шин.....	31
2.3 Физико-химические способы утилизации изношенных автомобильных шин.....	37
2.3.1 Переработка изношенных автомобильных шин методом растворения.....	37
2.3.2 Переработка изношенных автомобильных шин методом «озонного ножа».....	38
2.4 Микробиологические способы утилизации изношенных автомобильных шин.....	39
2.5 Обоснование целей и задач работы.....	40
3. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН.....	41
3.1 Обзор существующего оборудования для механической переработки изношенных автомобильных шин.....	42
3.2 Материальный баланс переработки изношенных шин.....	53
3.3 Разработка технологической схемы переработки изношенных автомобильных шин.....	54
3.4 Выбор и расчет оборудования.....	59

3.5	Возможность использования полученного вторичного продукта.....	60
<b>4.</b>	<b>ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И</b>	
	<b>РЕСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....</b>	<b>62</b>
4.1	Анализ конкурентных решений.....	62
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	65
4.2.1.	Структура работ в рамках научного исследования.....	65
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	67
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	69
4.2.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	75
<b>5.</b>	<b>СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>77</b>
5.1	Производственная безопасность.....	77
5.1.1	Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.....	79
5.1.2	Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой.....	81
5.1.3	Опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей.....	81
5.1.4	Электробезопасность.....	84
5.1.5	Пожарная безопасность.....	85
5.2	Экологическая безопасность.....	86
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	88
	Заключение.....	90
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	92

## **Введение**

Активное развитие транспорта, а также шинной промышленности в наше время приводит к значительному образованию вышедших из эксплуатации шин, проблема утилизации которых остро стоит во всех индустриально развитых странах.

Как правило, в большинстве стран отработанные автомобильные шины, из-за отсутствия приемлемых процессов и технологий, накапливается и складывается на территориях предприятий и организаций. При этом объем образования и накопления отработанных шин во всём мире достигает огромных размеров.

Ситуация с изношенными автомобильными шинами в России является достаточно сложной и проблема их утилизации решается преимущественно путем складирования, что в свою очередь противоречит действующему законодательству (распоряжение Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-р).

Помимо изъятия огромных площадей земель, складов и так далее, отработанные шины оказывают значительное воздействие на окружающую природную среду.

При захоронении использованных шин происходит загрязнение сточных вод и почв вредными продуктами их распада. В случае же с бытовыми полигонами, изношенные автомобильные шины служат местами обитания различных переносчиков заболеваний - грызунов и насекомых, а также являются источником повышенной пожарной опасности. Горение шин может нанести существенный вред окружающей среде, так как при горении образуются вредные вещества, загрязняющие атмосферу, и тушение таких пожаров, как правило, является сложной и дорогостоящей задачей.

В связи с этим важной задачей является обеспечение сбора и поиска рационального способа переработки изношенных автомобильных шин.

Необходимо отметить, что рациональное решение сбора и утилизации отходов требует значительных затрат, которые могут превысить выгоды,

получаемые при утилизации отходов. Однако всегда следует учитывать получаемый при этом экологический эффект.

Таким образом, целью данной работы является обоснование выбора и выбор технологии механической переработки изношенных автомобильных шин с получением целевого продукта - резиновая крошка.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить современное состояние проблемы утилизации изношенных автомобильных шин;
- изучить способы утилизации и переработки изношенных автомобильных шин;
- провести анализ сырьевой базы изношенных автомобильных шин для расчета и выбора технологического оборудования;
- провести анализ использования полученного вторичного продукта.

# 1. Изношенные автомобильные шины и их влияние на окружающую среду

## 1.1 Общая характеристика проблемы изношенных автомобильных шин

Мировые объёмы изношенных автомобильных шин оцениваются в 25 млн. т. При этом ежегодный прирост составляет не менее 7 млн. т. И только 23% шин из этого количества находит рациональное применение. Остальные 77% использованных автопокрышек никак не утилизируются, ввиду отсутствия рентабельного способа утилизации.

В таблице 1 приведены ориентировочные данные об объемах образования амортизированных автомобильных шин в различных странах мира [1].

*Таблица 1 - Объемы образования амортизированных автомобильных шин в различных странах мира*

Страна	Количество амортизированных автошин, млн. тонн/год
США	2,8
Япония	1,0
Европа	2,5
Россия	1,0

Отработанные автомобильные шины (шины грузовых, легковых автомобилей, сельскохозяйственных машин, тягачей, мотоциклов, а также специальных транспортных средств), как правило, подлежат утилизации. Их поставщиками выступают промышленные и частные хозяйства, а также различные организации. Шины автопарков промышленных и административных учреждений в рамках общих технических и ремонтных работ подлежат регулярной замене через каждые 1-2 года. Автопокрышки частных легковых автомобилей имеют срок службы, рассчитанный на 60-80 тыс. км, что в среднем соответствует 3 годам эксплуатации.

В России основным способом обращения с отработанными шинами является накопление их на свалках. Изношенные шины легально и

нелегально хранятся, как на смешанных свалках вместе с другими отходами, так и на свалках, предназначенных исключительно для отработанных шин. Вследствие захоронения шин на свалках, они не используются для дальнейшей переработки и таким образом изымаются из экономического оборота. Данный способ использования шин может быть приравнен к уничтожению ресурсов. С другой стороны, изношенные шины не подвергаются биологическому разложению, поэтому в принципе не могут быть запрещенными.

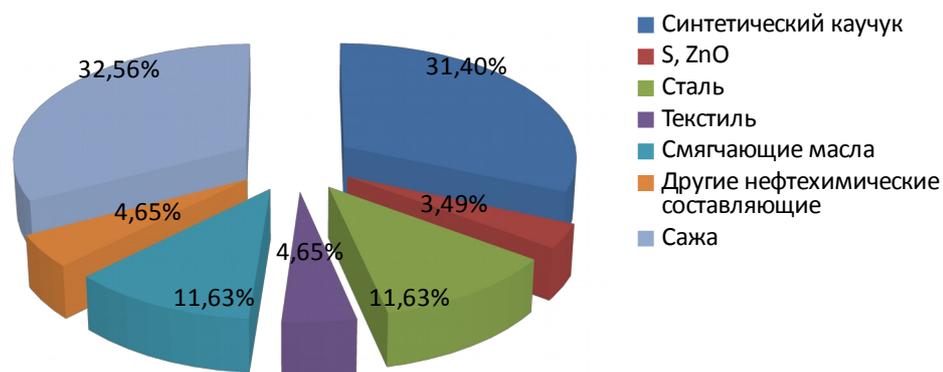
Отсутствие контроля за отходами, их самовозгорание приводит к длительным пожарам на свалках, которые через горючесть шин почти невозможно потушить. Экстенсивное захоронение изношенных шин в итоге ведет к дефициту площади для свалок и полигонов. По данным Европейской ассоциации по переработке шин (ETRA) Европейского Союза было принято решение о запрете захоронения целых шин с 2003 г., а с 2006 г. - разрезанных шин.

Бесконтрольное хранение шин на открытой местности или в водотоках повышает потенциальную опасность. Кроме того, санкционированные способы хранения, хоть имеют менее негативные последствия, чем бесконтрольное хранение, либо создают свои риски загрязнения природной среды, либо не позволяют охватить значительные объемы отходов экономически выгодным способом. Это основные причины, чтобы при любой возможности принимать меры по ограничению появления складов изношенных шин [2].

## **1.2 Состав автомобильных шин**

В эпоху современной рыночной конкуренции каждый производитель старается придать шинам такие характеристики, которые обеспечат их наименьший износ и повышенное качество, выгодно отличающее их продукцию от продукции конкурентов. В связи с этим научные отделы предприятий шинной промышленности занимаются поиском и изучением

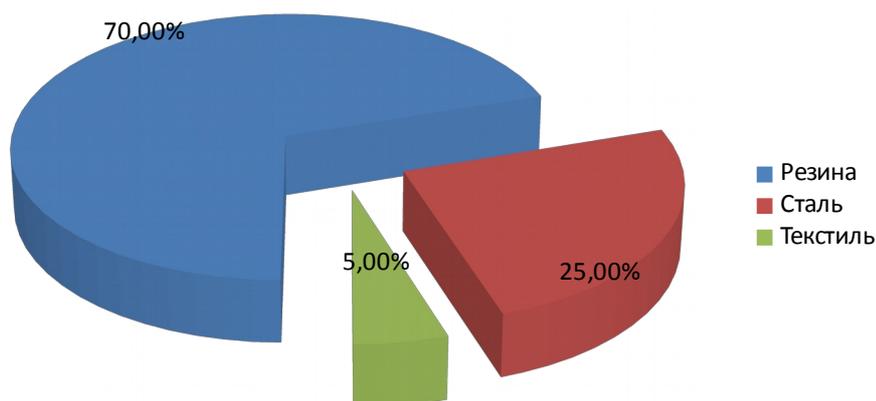
таких веществ и материалов, грамотная комбинация которых обеспечит вышеуказанные свойства. Стоит также отметить, что в большинстве случаев названия таких веществ и материалов остаётся коммерческой тайной, однако наиболее типичные компоненты автомобильных покрышек представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Типичный химический состав автомобильных шин**

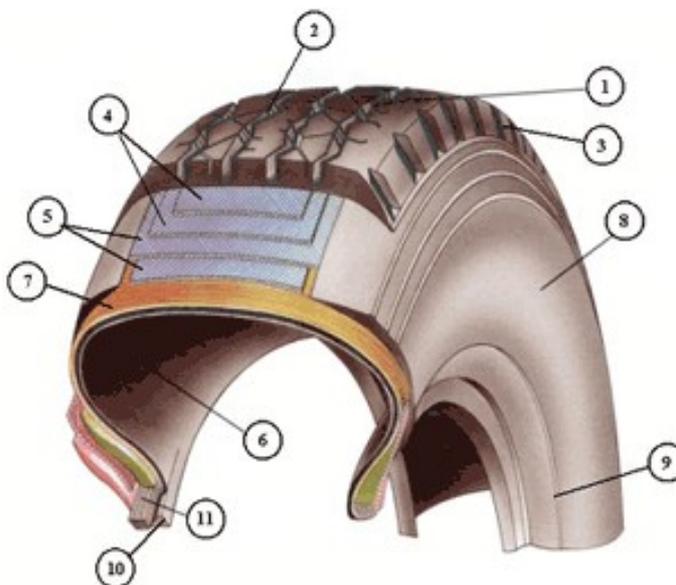
Для производства шин применяется резина, изготовленная из натуральных или синтетических каучуков, а также корд, изготовленный из металлических и текстильных нитей. С учетом износа в процессе эксплуатации, доля резины в изношенной автомобильной шине составляет порядка 65% (рис. 2).

Теоретическая потеря массы легковых машин оценивается в 30%, однако шины снимаются с эксплуатации раньше их полного износа, в связи с чем средняя потеря массы колеблется в пределах 20%. Что касается автомобильных шин грузовых машин, то в них потеря массы оценивается на уровне 15%.



**Рисунок 2 – Среднестатистический состав использованной автомобильной шины**

В общем плане автомобильная шина состоит из каркаса, слоев брекера, протектора, борта и боковой части. Структура автомобильной шины показано на рисунке 3.



**Рисунок 3 - Составляющие элементы автомобильной шины**

**1 - протектор; 2 - канавка протектора; 3 - боковина; 4,5 - слой прорезиненных нитей корда; 6 - корд; 7 - каркас; 8 - ширина профиля; 9 - брекер (пояс) 10 - борт 11 - уплотнительный резиновый слой**

### **1.3 Экологическое влияние изношенных автомобильных шин на окружающую среду и здоровье человека**

Проведенные исследования, установили, что высокая экологическая опасность шин обусловлена, с одной стороны, токсическими свойствами материалов, применяемых при их изготовлении, а с другой - свойствами более ста химических веществ, выделяемых в воздушную и водную среду при эксплуатации, обслуживании, ремонте и хранении шин.

В многочисленных исследованиях доказано, что неконтролируемое накопление шин на свалках приводит к загрязнению и деградации почв, в том числе и тяжелыми металлами. Например, в исследовании [3] показано, что концентрация таких металлов как цинк, кадмий и свинец превышает допустимые нормы в почвах на шинных свалках (свалка шин вблизи Лондона), а именно: содержание кадмия составляет 31 мг/кг (ПДК=3 мг/кг), свинца - 163 мг/кг (ПДК=20 мг/кг) и цинка - 174 мг/кг (ПДК=85 мг/кг). В исследованиях [3,4] обнаружено также превышение содержания таких веществ как бензол и 1,2-дихлорэтан в пробах почвы, отобранных на шинных свалках.

В полостях шин накапливаются атмосферные осадки, формирующие в толще свалки техногенный водоносный горизонт, который, просачиваясь через почву, загрязняет грунтовые воды и наземные водоемы, которые находятся недалеко от свалки. Многочисленные лабораторные испытания доказывают, что независимо от условий хранения и от размера шины (целая или измельченная), хранящихся на свалке, определенные химические соединения (например, органические соединения, полициклические ароматические углеводороды и др.) попадают в окружающую среду в результате их вымывания из шин. Так, в исследовании [5] изучались концентрации токсичных веществ, выщелачивающихся из шин (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Выщелачивание тяжёлых металлов из отработанных шин

№ пробы	Барий, мг/л	Хром, мг/л	Свинец, мг/л	Ртуть, мг/л
1	0,983	0,098	0,216	0,002
2	1,065	0,076	0,209	0,0004
3	0,950	0,092	0,114	
4		0,085	0,102	0,0003
5	0,970	0,087	0,105	0,0004
6	0,890	0,095	0,105	0,0005
7	0,921	0,087	0,116	0,0006
Норматив для ПВ*	0,1	< 0,05	< 0,010	< 0,0005
МКВ*	0,01	0,01	0,002	0,0002
* Промышленные отходы ** Минимальная концентрация определения				

Среди химических веществ, выделяющихся в наибольших количествах из шинных резин при комнатной и повышенной температурах, продукты деструкции каучуков (мономеры) являются чрезвычайно реакционноспособными и токсичными химическими соединениями, помимо которых в окружающую среду также выделяются:

- ароматические углеводороды (бензол, ксилол, стирол, толуол);
- предшественники канцерогенов (алифатические амины);
- канцерогены (сероуглерод, формальдегид, фенолы);
- оксиды, присутствующие в отработанных газах автомобильных двигателей.

Авторы [6] указывают на то, что в воздух также поступают соединения хлора, серы и азота, оксиды металлов.

*Таблица 3 – Выщелачивание органических соединений из отработанных автомобильных шин*

№ пробы	Сероуглерод, мг/л	Метилэтилкетон, мг/л	Толуол, мг/л	Фенол, мг/л
1	0,934	0,069	0,061	0,013
2	0,935	0,120	0,077	0,010
3	0,967	0,105	0,059	0,010
4	0,917	0,98	0,110	0,022
5	1,002	0,89	0,190	0,046
6	1,052	0,95	0,189	0,045
7	0,958	0,99	0,120	0,058
Норматив для ПВ, мг/л	1,0	0,5	0,05	< 0,001
МКВ*	0,005	0,1	0,005	0,01

При сжигании 1 тонны отработанных шин на открытом воздухе образуется [7]:

1. До 200 кг жидких отходов, представляющих собой смесь жидких углеводородов, которые по физико-химическим свойствам можно отождествить с нефтепродуктами.

2. До 350 кг твердых отходов в виде несгоревших остатков и золы с вкраплениями металлического корда;

3. До 450 кг газообразных продуктов, которые высвобождаются в процессе горения и загрязняют атмосферу.

Главным фактором, оказывающим негативное воздействие отработанных автомобильных шин на окружающую среду, является их горение при термической переработке, которая часто осуществляется в ненадлежащих условиях [8], а также в случаях пожаров, возникающих во время их хранения на свалках, особенно несанкционированных. Причем в последнем случае опасность представляет потенциальная возможность взаимодействия продуктов горения шин с агрессивными соединениями, которые ежедневно все больше поступают в окружающую среду в результате

антропогенной деятельности. Поэтому при горении автомобильных шин влиянию подвергается не только воздушная, но и водная, и почвенная среды.

Во время возгорания шинных отходов происходит загрязнение:

1. Атмосферного воздуха: выбросы содержат летучие органические соединения, соединения серы (сероуглерод, диоксин серы, сероводород), полициклические ароматические углеводороды (бенз(а)пирен, хризен, бенз(а)антрацен и др.), ароматические, нафтеновые и парафиновые масла; оксид углерода и оксид азота твердые частицы; легкие фракции ароматических углеводородов (такие как толуол, ксилол, бензол и т.д.).

2. Почвы: жидкими отходами (продукты термической деструкции шин) и твердыми отходами в виде несгоревших остатков и золы (табл. 4).

3. Поверхностных водных источников и грунтовых вод: высокая температура горения шин обуславливает их деструкцию с активным протеканием окислительно-восстановительных реакций, в результате чего образуется жидкая маслянистая жидкость, по своим свойствам подобная нефтепродуктам. Экологическая опасность связана с первую очередь с тем, что жидкие отходы способны просачиваться в почву и достигать водоносных горизонтов, а твердые отходы продолжают загрязнять окружающую среду еще длительное время после пожара.

На сегодняшний день главным способом обращения с отработанными шинами, помимо их складирования, является их сжигание. Значительно меньшая часть шин перерабатывается путем пиролиза или механической переработки, поскольку требует значительных финансовых затрат.

В большинстве случаев сжигание автомобильных покрышек происходит несанкционированно - или гражданами, или организациями с целью избавления от данного вида отходов или с целью получения тепла (энергии). А предприятия, которые сжигают отработанные шины легально, зачастую не имеют надлежащих финансовых ресурсов для обеспечения необходимых уровней очистки промышленных газов от загрязняющих веществ. Кроме того, некоторая часть шин попадает на свалки, где часто

наблюдаются явления самовозгорания, что и вызывает периодические горения шин.

Таблица 4 - Химический состав твердого остатка после сжигания изношенных шин на открытом воздухе

Вещество	Содержание, %		
	Образец 1	Образец 2	Среднее значение
C (общий)	0,071	0,258	0,164
Al	0,128	0,283	0,206
As	0,002		0,001
Cd	0,001	0,001	0,001
Cr	0,978	0,068	0,523
Cu	0,255	0,320	0,288
Fe	95,713	96,721	96,217
Pb	0,001	0,001	0,001
Mg	0,058	0,059	0,058
Mn	0,058	0,307	0,416
Ni	0,241	0,093	0,167
K	0,010	0,015	0,012
Si	0,340	0,246	0,293
Na	0,851	0,701	0,776
Zn	0,052	0,160	0,106
S	0,766	0,762	0,764
Всего	100,0	100,0	100,0

Стоит отметить, что образующаяся в процессе горения сера, в дальнейшем может взаимодействовать с другими веществами, что может способствовать образованию более опасных соединений. Кроме того, имеются данные, что сера самопроизвольно выделяется из шин, что связано с факторами среды, в которой они хранятся.

Учитывая, что места накопления и сжигания отработанных шин часто содержат много других веществ, например, соединений металлов, да и сами шины загрязнены пылью металлов, то сера может вступать в реакции с металлами и их соединениями:

так, для смеси порошков серы и железа даже при небольшом нагревании начинается реакция:



Также при поджоге очень бурно реагирует смесь порошков серы и цинка. При этом образуется сульфид цинка:



При обычных условиях сера может взаимодействовать с ртутью:



Сульфид железа FeS может самовозгораться на воздухе при обычной температуре, то есть является достаточно опасным. Сульфид цинка ZnS во влажном воздухе окисляется до сульфата цинка, а при нагревании на воздухе образует ZnO и SO<sub>2</sub>. Последний компонент является одной из причин образования кислотных дождей.

Сульфид ртути HgS является сильным фунгицидом и может применяться для обработки строительных конструкций для профилактики грибковых заражений, а потому его поступления в окружающую среду может повлечь негативные последствия.

При попадании вышеуказанных соединений в воду, происходит их вступление в химические реакции с растворимыми солями Na, K, Ca и др., что сопровождается образованием растворимых сульфидов этих металлов, которые относятся к сильно ядовитым соединениям серы. Так, например, нитраты входят в состав минеральных удобрений, силикаты - в состав стекла, причем эти компоненты в больших количествах встречаются на несанкционированных свалках, где также встречаются и отработанные шины.

Например, сульфид натрия и его растворы создают значительную экологическую опасность как в результате непосредственного действия так и вследствие действия сероводорода, который образуется в процессе разложения сульфидов и является одним из самых опасных токсикантов окружающей среды [9].

Сульфид натрия может отщеплять H<sub>2</sub>S в желудочно-кишечном тракте. При работе с Na<sub>2</sub>S всегда возможны отравления газообразным H<sub>2</sub>S. Уже при 0,1% (об.) сероводород вызывает тяжелые отравления, причем опасность возрастает из-за того, что после легкого отравления запах сероводорода перестает ощущаться. Присутствие в воздухе 0,8 мг/л сероводорода может стать причиной отравления с летальным исходом.

Также вышеупомянутые сульфиды могут быть подвержены другим химическим превращениям. Так, сульфид железа при обычных условиях способен взаимодействовать с концентрированными соляной и азотной кислотами (4, 5). Стоит отметить, что кислоты встречаются в окружающей среде довольно часто - и в результате кислотных осадков, и в результате сбросов и выбросов многих предприятий. Особенно часто концентрированные кислоты могут поступать в окружающую среду в последнем случае.



Образующийся при этом сероводород, относится к 3 классу опасности.

Другой продукт взаимодействия серы и металлов - сульфид цинка - способен окисляться таким образом (при нагревании):



Данная реакция может происходить в условиях горения шин на полигонах твердых бытовых отходов. Оксид цинка, в свою очередь, взаимодействует при нагревании с углеродом:



Таким образом, во время этих реакций образуются нежелательные вещества - диоксид серы и угарный газ.

Сульфид цинка также может взаимодействовать с неорганическими разбавленными кислотами с образованием токсичных сероводорода и диоксида азота:



Особое внимание стоит уделить сульфиду ртути ( $\text{HgS}$ ), который легко образуется при комнатной температуре. Он может окисляться по следующей схеме с образованием нежелательного  $\text{SO}_2$ :



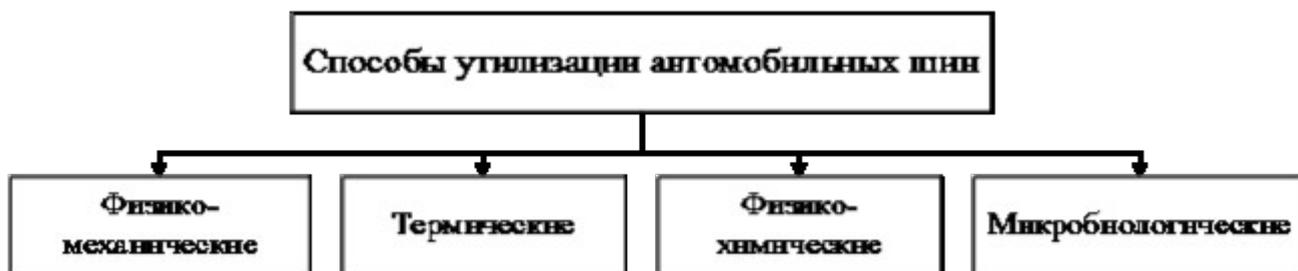
Сульфид ртути также может вступать в реакцию с CaO, который входит в состав строительных материалов, остатков минеральных удобрений и других распространенных отходов, которые в большом количестве встречаются на полигонах:



В результате вышеприведенных реакций образуется металлическая ртуть, которая относится к первому классу опасности и является чрезвычайно токсичным веществом [10].

## **2. СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН**

В общем виде все существующие на сегодняшний день способы переработки изношенных шин можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 4 [11].



**Рисунок 4 – Способы утилизации использованных автомобильных шин**

К физико-механическим способам относят: дробление, бародеструкционный способ, взрыво-циркуляционный способ, криогенный способ, способ «магнитного удара» и механическое разрезание.

К физико-химическим способам относят: растворение в органическом растворителе, разрушение покрышки озоном (технология «озонового ножа»).

К термическим способам относят: сжигание, пиролиз и газификация.

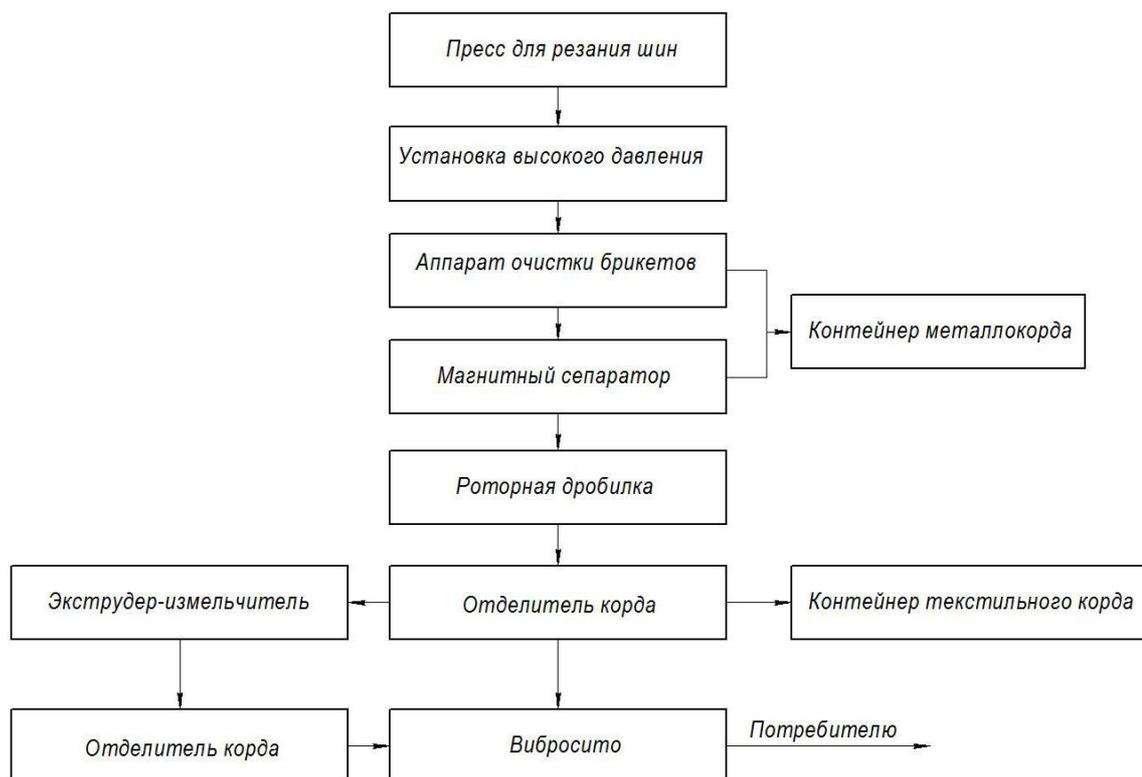
Микробиологический способ основан на деструкции шин микроорганизмами.

## 2.1 Физико-механические способы переработки изношенных автомобильных шин

### 2.2.1 Бародеструкционный способ переработки изношенных автомобильных шин

Среди физико-механических способов переработки изношенных автомобильных шин наиболее распространённой является бародеструкционная технология утилизации (рис.5).

Технология базируется на явлении «псевдооживления» резины при высоких давлениях и ее вытекании через отверстия специальной камеры. Получение резинового порошка с изношенных шин осуществляют путем их постадийного измельчения, фракционирования, магнитной сепарации и выделения текстильного корда.



**Рисунок 5 - Схема бародеструкционной технологии переработки использованных автомобильных шин**

В основе технологии положено предварительное продавливание автомобильных шин под действием давления через отверстия решетки с образованием смеси резиновых жгутов размерами 20-80 мм,

металлобрикетов, текстильного и металлического корда. При помощи магнитной сепарации из данной смеси извлекают металлический корд. Остаточная масса подается в роторную дробилку, где резина измельчается с образованием резинового порошка размером до 10 мм, из которого в дальнейшем выделяют текстильный корд. Одновременно с выделением текстильного корда осуществляют фракционирование резинового порошка на мелкую (< 3 мм) и крупную (3-10 мм) фракции.

Технологическая линия для получения резинового порошка из изношенных шин включает дробилку, первый магнитный сепаратор, мелкозернистый измельчитель и транспортные связи между устройствами (транспортёры), которые формируют линию. Линия обеспечена бародеструкционной установкой для разрушения автомобильных шин на резиновые жгуты и металлобрикеты. Линия имеет второй магнитный сепаратор, первое и второе барабанное оборудование для выделения текстильного корда и фракционирования резинового порошка [12].

Недостаток данного способа переработки заключается в существенном загрязнении резиной получаемого металлического корда, что в свою очередь затрудняет его дальнейшее использование.

### **2.1.2 Способ «магнитного удара»**

Особенность данного метода заключается в использовании высоковольтной импульсной установки (4 кВт), которая позволяет способом «магнитного удара» отсоединять металлокорд от резины (металл отскакивает от резины, как капли воды от раскаленной сковородки).

Актуальность предложенного метода заключается в том, что после такого «удара» полностью отделяется металлокорд, а потом уже происходит процесс измельчения резины. Таким образом, удастся не только полностью переработать вторичное сырье, но и значительно уменьшить износ задействованного в этом процессе механического оборудования, а также существенно снизить энергопотребление. Металл и резину можно

использовать без всякой дальнейшей обработки по назначению. К примеру, резиновая крошка полностью заменяет каучук [13].

С экономической точки зрения перерабатывающий завод, работающий по данной технологии, по подсчетам специалистов, может выпускать от 400 до 1800 кг модифицированной резиновой крошки в час. Расход электроэнергии при этом составляют 0,3 - 0,5 кВт в час. Подсчитано, что при стоимости регенерата до 50 центов за килограмм производство окупается в течение полутора лет.

### **2.1.3 Способ дробления изношенных автомобильных шин**

Способ дробления заключается в том, что с помощью дробилки автомобильные шины измельчают на мелкие частицы и в конечном этапе фасуют в мешки. Далее эти частицы покрышек попадают на предприятия строительной промышленности [14].

Технология измельчения покрышек обеспечивает возможность получать различные фракции произвольных размеров: крошку, гранулы и хлопья.

Результаты переработки измельчения покрышек являются нетоксичными, лишены неприятного запаха и возможности гниения. Зачастую их используют для изготовления циновки, ковров для детских и спортивных площадок.

Поскольку продукты измельчения шин не пригодны для жизни вредителей то их также применяют для мульчирования растений в садах и вазонах. Мульча из продуктов переработки покрышек является более эффективной, чем из древесины, так как последнюю сносит ветром, поскольку она в 5 раз тяжелее обычной, кроме того она не уплотняется и поэтому может использоваться долгое время.

### **2.1.3 Механическое разрезание изношенных автомобильных покрышек**

Необходимость механической резки шин возникает уже на стадии их транспортировки от места накопления к месту переработки. Дело в том, что количество специализированных перерабатывающих предприятий в нашей стране весьма ограничено, а автопредприятия, на которых в основном накапливаются отработанные шины, сильно сосредоточены даже в пределах одного региона, поэтому при организации переработки возникает необходимость массовой транспортировки отработанных шин на значительные расстояния. При этом нужно также учитывать, что большой объем в конструкции автомобильных шин занимает полужакрытая поверхность, заполненная воздухом, в результате чего транспортировка шин является крайне невыгодной. Поэтому вопрос снижения затрат на транспортировку отработанных шин будет приобретать все большую актуальность.

Успешное решение этой проблемы лежит на поверхности, а именно, в необходимости предварительного механического разрезания изношенных шин с незначительными энергозатратами. Данный процесс заключается в отрезании от шин боковых сторон и полос протекторной части, что позволяет в ту же транспортную емкость заключать по весу в 3-3,5 раза больше резинового сырья, чем при укладке целых неразрезанных шин [15]. Данный подход способствует значительному уменьшению расходов на транспортировку.

### **2.1.4 Взрывоциркуляционный способ переработки изношенных автомобильных покрышек**

Данный способ по сравнению с другими базируется на принципиальной замене способа разрушения из традиционного

механического воздействия на взрывное с циркуляцией продуктов взрыва. Без сомнения, эта технология позволила осуществить прорыв в сфере переработки покрышек [16].

Применение взрывоциркуляционного способа позволяет перерабатывать металлокордные автомобильные покрышки в тонкодисперсный активный резиновый порошок.

Технология включает разрушение предварительно охлажденных до температуры минус 70-80°C автопокрышек под действием взрыва во взрывоциркуляторе, представляющим собой бронеканеру специальной конструкции. Использование взрывоциркулятора обеспечивает полную безопасность проведения взрывных работ (снижение нагрузки на конструкцию в 7-10 раз), продолжительный срок службы (не менее 10 лет без капитального ремонта) при низком уровне шума (не более 60 дБ).

Преимуществом данного метода переработки автомобильных шин, по сравнению с другими с альтернативными методами (озонирование, термодеструкция) является:

- низкое удельное энергопотребление при более высокой степени измельчения и производительности процесса;
- существенное снижение капитальных и эксплуатационных затрат;
- экологическая чистота процесса: отсутствие органических растворителей, сточных вод, озоноразрушающих соединений, высокую степень очистки дымовых газов (98-99,9%).

### **2.1.5 Криогенный способ переработки изношенных автомобильных шин**

Криогенный способ заключается в том, что шины сначала замораживают, а затем разрушают. За счет замораживания процесс разрушения и отделения металлокорда упрощается. При этом измельчение материалов происходит не только на поверхности, но и по всему объему из-за

наличия микродефектов, которые в хрупком состоянии будут первичными очагами разрушения.

В качестве хладагента широкое распространение получил жидкий азот, преимуществом которого является сравнительно быстрое охлаждение резиновой смеси до температуры хрупкости, которая с учетом состава резиновой смеси должна составлять от  $-80$  до  $-90^{\circ}\text{C}$ . Стоит однако отметить, что в практических условиях вследствие потерь холода резиновые смеси охлаждают до температуры  $-100-120^{\circ}\text{C}$ . Охлаждение до таких глубоких температур позволяет снизить работу разрушения в 2-2,5 раза.

Преимуществом криогенного метода является:

- экологичность;
- высокая производительность;
- значительное (в 1,5-2,5 раза) снижение расхода энергии на дробление по сравнению с измельчением при обычных температурах;
- возможность получения мелкодисперсной крошки;
- пониженная взрыво- и пожароопасность процесса.

Однако данный метод обладает и весьма существенными недостатками:

- высокая стоимость хладагента;
- необходимость создания эксплуатация технически сложных систем охлаждения;
- высокие эксплуатационные расходы.

## **2.2 Термические способы утилизации изношенных автомобильных шин**

Представителями данного метода утилизации использованных автомобильных покрышек является пиролиз и сжигание. Сжигание - один из термических способов переработки автомобильных шин (рис. 6), являющийся также одним из самых простых способов их переработки, заключающийся в высокотемпературном окислении, в основном в барабанных печах на цементных заводах.

Процесс сжигания покрышек сопровождается выделением тепла, применяемого для обеспечения технологических процессов или для выработки электроэнергии. Недостатком данного способа переработки является малая энергоэффективность, так как при изготовлении одной покрышки расходуется энергия, содержащаяся в 35 л нефти, а при сжигании выделяется энергия, эквивалентная 8 л нефти. также существенным недостатком данной технологии является образование большого количества опасных загрязняющих веществ: диоксид серы, бенз(а)пирен, бифенил, флуорантен, антрацен, фураны и диоксины.



**Рисунок 6 – Схема сжигания изношенных автомобильных шин**

Как видно из рисунка 6, тепло, выделяющееся в печи при сжигании шин, поступает в котел-утилизатор для выработки пара, который в дальнейшем применяется для выработки электроэнергии или в других технологических процессах.

Автомобильные покрышки имеют теплоту сгорания от 28 до 41 МДж/кг и по этому показателю превышают уголь, приближаясь к мазуту (табл. 5) [17].

*Таблица 5 – Теплотворная способность, содержание углерода и серы для разнообразных видов топлива*

Вид топлива	Содержание углерода в горючей массе, %	Низшая теплота сгорания	Содержание серы, %
Мазут	81-85	40-42	до 1,5
Природный газ	70-75	30-34	-
Уголь	75-90	20-27	0,4-4,5
Автомобильная	78-82	28-41	1-1,3

покрышка			
----------	--	--	--

Малое содержание серы в автомобильных покрышках свидетельствует о меньшей экологической нагрузке на окружающую среду при их сжигании, по сравнению с углём.

Что касается углерода, то его содержание в шинах в некоторых случаях меньше, чем в угле, однако это говорит и о меньшем образовании углекислого газа при их сжигании (табл. 6).

*Таблица 6 – Выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании угля и автомобильных шин*

Вид топлива	Выбросы CO <sub>2</sub> на 1 т сырья, кг
100% уголь	317
100% автомобильные покрышки	190

Таким образом, при сжигании использованных автомобильных шин образуется на 60% меньше углекислого газа, чем при сжигании угля.

Более перспективным методом термической переработки шин является использование низкотемпературного пиролиза - термического разложения органических веществ без доступа воздуха, при котором в органическом сырье протекают глубокие деструктивные изменения.

Пиролизные технологии отличаются по своему температурному режиму (высокие, средние и низкие температуры) и типу реактора (сжигание в вихревой топке и вращающийся трубчатый реактор).

Наиболее широкое распространение получили такие установки пиролиза, как модульная установка УПП и установка FORTAN [18].

Технология УПП заключается в том, что сперва шины подвергают измельчению, после чего измельченные куски шин подаются в рабочую камеру реактора, где происходит их осушка, удаление остатков воздуха и водяного пара, а также нагрев без доступа воздуха при температуре 350-500°С в углеводородной среде. В результате пиролиза из 1 т отходов на выходе можно получить следующие продукты:

- жидкую фракцию углеводородного сырья - 450-500 кг (углеводороды насыщенного и ненасыщенного ряда  $C_5-C_{30}$ )
- твердую фракцию углеводородного сырья - 350-410 кг (пирокарбон)
- газовую фракцию углеводородного сырья - 140-150 кг (газовая составляющая: метан, CO и  $CO_2$ ).

Преимущество данной установки заключается в следующем:

- в её универсальности;
- в простоте аппаратного оформления;
- в возможности переработки шин с текстильным, вязким и металлическим кордом;
- в энергетической автономности процесса (все элементы оборудования обогреваются газами, образующимися в процессе пиролиза);
- в экологической чистоте процесса (все побочные продукты используются в замкнутом технологическом цикле).

В результате переработки резиносодержащих и полимерных отходов образуется продукция, которую можно использовать как энергетическое сырье в бытовых и промышленных условиях.

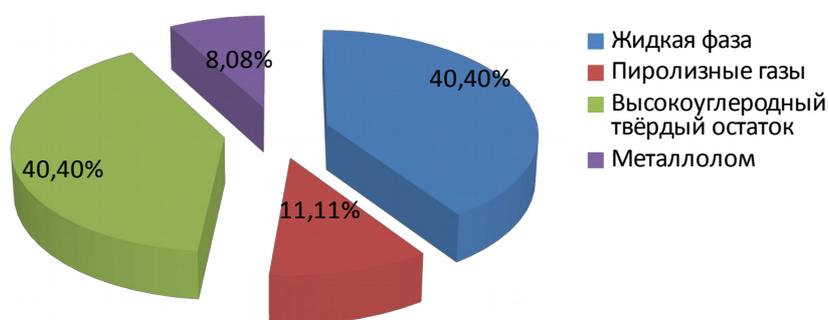
Переработка отработанных автомобильных шин с помощью установки FORTAN происходит с целью их утилизации и получения ценных продуктов - жидкого топлива, горючего газа, полукокса и металла. С помощью данной технологии можно утилизировать отработанные автошины, резиновые отходы, пластиковые и медицинские отходы и отходы нефтепереработки.

В состав установки входит ретортная печь, реторты, конденсатор-холодильник, сборник-сепаратор жидких продуктов и газо-жидкостной сепаратор.

Загрузка реторты сырьём осуществляется вне печи в вертикальном или горизонтальном положении. После этого реторту устанавливают в печь и при помощи быстроразъемного соединения подключают к трубопроводу холодильника-конденсатора.

Реторту устанавливают как в горячую, так и в холодную печь. Для растопки печи твердое топливо загружается на колосники через дверь печи и воспламеняется. Интенсификацию процесса горения обеспечивают путем наддува воздуха под колосниками, интенсификацию перемешивания газов в печи и регулирование температуры обеспечивают наддувом воздуха через воздушное сопло горелочного оборудования. Пиролизный газ поступает в горелочное устройство и воспламеняется. По мере увеличения потока газа наддув воздуха под колосниками уменьшают. Окончание процесса пиролиза определяют по мере уменьшения потока газа. Для получения высококачественного полукокса процесс ведут до окончания выделения газа.

В качестве критерия оптимальности ведения процесса принимают максимальный выход жидкой фракции и выход газа. При этом оптимальная температура ведения процесса колеблется в диапазоне от 350 до 400°C и сопровождается выходом продуктов, представленных на рис. 7.



**Рисунок 7 – Выход продуктов пиролиза**

Получаемые в процессе пиролиза продукты являются весьма ценными и находят дальнейшее применение (табл.7).

*Таблица 7 - Основные направления использования продуктов, получаемых при пиролизе*

Наименование продукта	Назначение продукции
Жидкая фаза	Применяется в качестве жидкого топлива для котлов, заменитель мазута. Получение различных нефтепродуктов,

	таких как ДТ, бензин, смолы, масла и т.д.
Углеродсодержащий твердый остаток	Использование в качестве твердого топлива, а также сырья для производства модифицированного жидкого топлива; в качестве адсорбента, наполнителя при изготовлении новых резинотехнических изделий.
Пиролизный газ	Используется частично 30-50% для работы установки, остальная часть сжигается в теплогенераторах (собственные нужды).
Металлолом (металлокорд)	Имеет в своем составе высококачественную сталь. Применяется для последующей переработки в металл.

Основным недостатком переработки шин методом пиролиза является неэффективность и нерентабельность производственного процесса в виду необходимости предварительного деления шины на её составные части.

В виду того, что высокие производственные расходы сопряжены с достаточно низким качеством продукции, переработка изношенных автомобильных шин пиролизом в ближайшее время будет нерентабельным с экономической точки зрения.

Одним из способов переработки углеродсодержащих веществ и материалов, которым относятся автомобильные шины, является их газификация. В процессе газификации водород и углерод исходного топлива из твёрдой фазы переводятся в газовую в виде монооксида углерода и молекулярного водорода (их смесь называется синтез-газом). Такой газ является ценным химическим сырьём в процессах органического синтеза. Также его можно применять для получения электроэнергии в комбинированном парогазовом цикле, который обладает высокой эффективностью (до 60%).

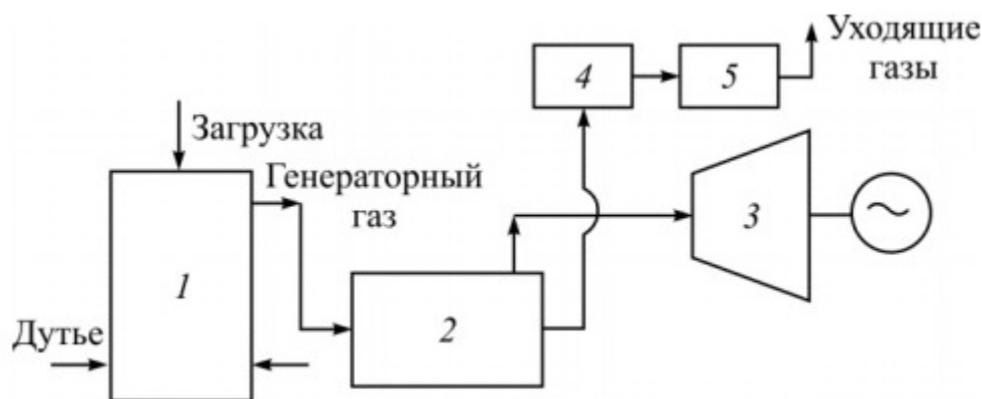


Рисунок 8 – Структурная схема процесса газификации: 1 – газогенератор; 2 – котел-утилизатор; 3 – турбина; 4 – испарительный скруббер; 5 – рукавный фильтр

При утилизации шин таким способом в воздух выбрасываются такие вещества, как  $H_2S$  и  $HCl$ , но их можно нейтрализовать с помощью известных методов.

## 2.3 Физико-химические способы утилизации изношенных автомобильных шин

### 2.3.1 Переработка изношенных автомобильных шин методом растворения

Достаточно интересным является метод переработки автомобильных шин путем их растворения в органическом растворителе (Патент РФ № 2220986). Данный способ включает в себя термоожижение шин при запуске в органическом растворителе при температуре выше  $270^{\circ}C$  и давлении до 6 МПа, отделение полученной жидкой фракции от нерастворенного продукта, дистилляцию жидкой фракции. При этом особенностью технологии является разделение поддающейся дистилляции жидкой фазы на две фракции - с температурой кипения до  $220^{\circ}C$  и выше  $220^{\circ}C$  [20].

При массовом отношении органического растворителя к отходам более 1:10, жидкая фракция с температурой кипения до  $220^{\circ}C$  подвергается каталитическому риформингу, и в дальнейшем используется в качестве целевого продукта, а другая, подвергнутая каталитическому риформингу часть жидкой фракции, с температурой кипения до  $220^{\circ}C$  используется в

качестве растворителя и возвращается на термоожижение новой партии отходов.

В результате переработки автомобильных шин таким способом получают:

- бензиновую фракцию с октановым числом – 100, температурой кипения 180°C, не содержащую свинец и серу;
- мазут, по своим показателям соответствующий ГОСТ 1058-99 (М-40) с массовой долей содержания серы – 0,6%;
- технический углерод, содержащий 92-99% чистого углерода;
- металлолом.

Разрушение покрышки озоном (технология «озонового ножа») базируется на разрушении резины фоновым озоном, который содержится в атмосфере.

Продуктом переработки шин с использованием технологии "озонового ножа", очень чистый (без посторонних примесей) химически активный измельченный порошок, который используют в производстве новых резиновых изделий, композиционных материалов на основе полимеров, а также термопластичных резин.

### **2.3.2 Переработка изношенных автомобильных шин методом «озонного ножа»**

Разрушение покрышки озоном (технология «озонового ножа») базируется на разрушении резины фоновым озоном, который содержится в атмосфере.

Продукт переработки шин с использованием технологии "озонового ножа" - очень чистый (без посторонних примесей) химически активный измельченный порошок, применяющийся в производстве новых резиновых изделий, композиционных материалов на основе полимеров, а также термопластичных резин.

Преимуществом данной технологии утилизации покрышек по сравнению с технологией механического измельчения является:

- уменьшенные в 5-10 раз энергетические затраты;
- сокращение этапов процесса переработки, что в свою очередь уменьшает производственные площади и количество занятого персонала в 1,5 - 2 раза;
- отсутствие износа элементов основного оборудования, и как следствие - уменьшение эксплуатационных расходов;
- высокое качество конечного продукта (меньшее количество посторонних примесей),
- универсальность технологии, возможность ее применения для переработки резиновых изделий (конвейерных лент, трубопроводов высокого давления гидросистем)
- низкая себестоимость переработки в 2,0-2,5 раза;
- уменьшение вредных выбросов в атмосферу, в виду проведения процесса при комнатной температуре.

#### **2.4 Микробиологические способы утилизации изношенных автомобильных шин**

Одним из способов утилизации шин является микробиологические. Данный процесс на протяжении многих лет вызывает огромный интерес у большинства учёных, большое количество исследований которых были направлены на изучение деградации, как резиновых эластомеров, так и вулканизированных резиновых изделий.

Резина может быть детоксифицирована, девулканизирована и деградирована различными грибковыми и прокариотическими организмами.

Гриб *Recinicium bicolor*, а также бактериальные виды *Rhodococcus rhodochrous*, *Corynebacteria* spp. и *Escherichia* способны успешно справиться с переработкой покрышек. Однако для промышленного внедрения данная

технология изучена не до конца, та и скорость переработки шин микроорганизмами достаточно мала [21].

Таким образом, исходя из вышесказанного, наиболее рациональными с экологической точки зрения являются механические методы переработки изношенных автомобильных шин. Причиной тому является отсутствие образования и выбросов в окружающую среду вредных и канцерогенных веществ, по сравнению, например, с сжиганием и пиролизом. Также удобством механической переработки шин является достаточная простота процесса и его безопасность, так как не используются высокотоксичные и взрывоопасные вещества и материалы, как в случае с бародеструкционным, криогенным и методом озонного ножа.

Помимо экологичности и относительной простоты технологического процесса, механическая переработка привлекательна и с экономической точки зрения, так как применяемое оборудование не требует значительных капиталовложений по сравнению со спецоборудованием, применяемым в других технологиях.

## **2.5 Обоснование целей и задач работы**

Изношенные автомобильные шины являются достаточно ценным отходом (вторичным сырьем). Как уже было отмечено, в настоящее время разработано достаточно большое количество методов переработки данного вида отходом, характеризующиеся теми или иными преимуществами.

Все термические методы переработки изношенных автомобильных шин сопряжены с образованием большого количества загрязняющих веществ, для обеспечения полного улавливания которых требуется внедрения дорогостоящего очистного оборудования. Таким образом, при использовании автомобильных шин в качестве топлива, переработки методом пиролиза и т.д. под угрозой во-первых находится экологическая безопасность процесса, что является недопустимым, а во-вторых увеличиваются финансовые затраты (установка очистного оборудования, экологические платежи т.д.).

Использование физико-химических способов переработки автомобильных шин является ещё не до конца изученным. Так, например, технология "озонного ножа" является достаточно перспективной, однако её недостаточная изученность затрудняет широкое внедрение.

Что касается бародеструкционного метода переработки шин, то его использование приводит к ухудшению качества резины в порошке из-за повышения ее температуры при высоких давлениях. Кроме того, глубокого разделения металлического и текстильного корда не происходит, а эксплуатация технологического оборудования является достаточно сложной.

В связи с этим способ наибольшее распространение в мире получил способ механической переработки шин. Данный способ популярен благодаря тому, что резина защищена от термических окислений, нет эффекта частичной девулканизации (размягчения и приобретения пластичного состояния); сравнительно невысокое энергопотребление, что в первую очередь сказывается на себестоимости. Получаемый в процессе механической переработки продукт - резиновая крошка является достаточно востребованным продуктом, применяемых во многих отраслях народного хозяйства.

### **3. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН**

Проведенный в предыдущей главе анализ способов переработки изношенных автомобильных шин способствовал выявлению наиболее оптимального способа, преимущества которого сводились бы к экологичности, пониженной энергоёмкости, низким капитальным затратам, спросу на получаемый продукт, к сравнительно короткому сроку пуска производства. Все эти требования легко можно обеспечить путём использования механических способов переработки использованных автомобильных шин.

Исходя из этого, важной задачей является анализ существующего оборудования и технологических схем, применяемых для поэтапной переработки шин механическим способом, с целью рационализации этого процесса.

В нашей стране порядок обращения, а также требования к безопасной утилизации отработавших шин регламентируется ГОСТ Р 54095-2010 Ресурсосбережение. Требования к экобезопасной утилизации отработавших шин [22].

### **3.1 Обзор существующего оборудования для механической переработки изношенных автомобильных шин**

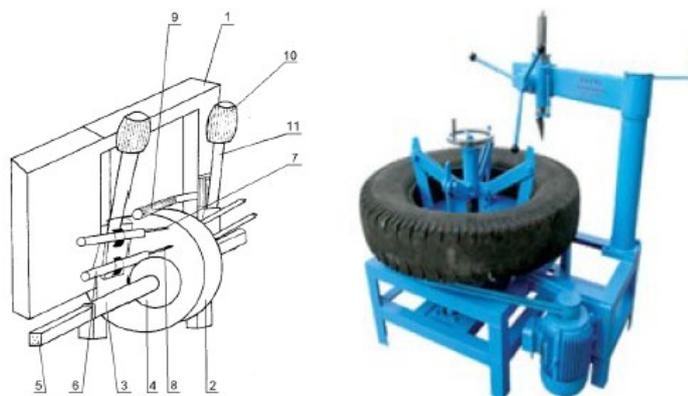
Как правило, первостепенной задачей при переработке утилизируемых шин является удаление тем или иным способом наиболее прочных элементов - бортовых проволочных колец, так как отсутствие данного этапа приводит к более интенсивному износу применяемого оборудования, особенно его режущего инструмента [23].

Переработка шин, в составе которых отсутствует металлический корд, а также шин, содержащих его только в брекере, не сопряжена с особыми трудностями при удалении бортовых проволочных колец. Для проведения данной операции достаточно широкое распространение получила автоматическая машина типа DE-BEADER [24], обеспечивающая удаление стального проволочного кольца благодаря двум профилированным зубчатым вальцам, вращающимся однонаправленно и нажимающим на борт шины. Это в свою очередь приводит к выдавливанию бортового кольца из борта покрышки или боковины (рис.10).



**Рисунок 10 - Оборудование для выжимания бортовой проволоки**

Широко известным является также оборудование, в основе которого положен принцип вырезания боковин и бортовых колец при помощи ножей кинжального типа [25], погружаемых в боковину вращающейся покрышки (рис.11, 12).



**Рисунок 11 - Оборудование для вырезания бортовых колец и боковин из изношенных автомобильных шин**

**1 – станина; 2 – крышка; 3 – вал; 4 – прецизионный диск; 5 – пневмоцилиндр; 6 – гидроцилиндр, обеспечивающий перемещение ножа; 7,8 – аксиально-подвижные ножи; 9 – приводной валок; 10 – устройства регулировки высоты; 11 – направляющие**



**Рисунок 12 - Станки для вырезания бортовых колец (слева) и боковин (справа) из покрышек, производимые фирмой «ЕЕСО»**

Выдавливание проволоки из вырезанных бортовых колец или боковин обеспечивается на оборудовании типа DE-BEADER и «ЕЕСО» [26] (рис. 13). Работа последнего представителя заключается в одновременном вращении и натяжении бортового кольца или боковины, сопровождающимся срезанием резинокордного массива с проволочного кольца V-образным ножом.



**Рисунок 13 - Станок для извлечения стальной бортовых проволоки из предварительно вырезанных боковин или бортовых колец**

Другим классом аппаратов, в основе которых положен принцип выдёргивания колец из бортов автомобильных шин крючкообразным зубом, является станок, представленный на рисунке 14.



**Рисунок 14 - Станок для вытягивания проволочных бортовых колец из покрышек: 1 - стальная плита с профильным отверстием; 2 - бортовое проволочное кольцо; 3 - шина; 4 - зуб; 5 - тяга**

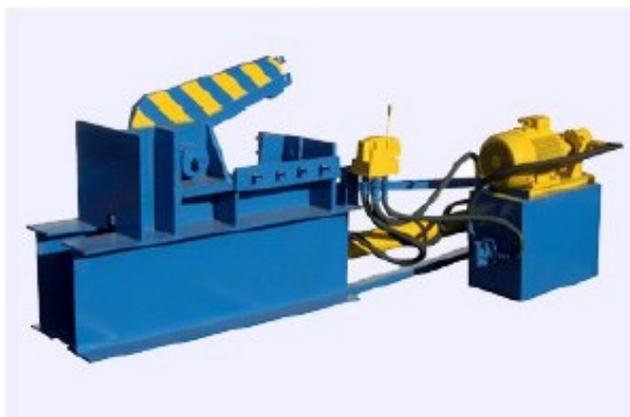
Среди аналогов подобного оборудования можно также выделить установку УИК 13-22,5, разработанную ОАО «ЯрЗОМ» [27] или станок «Дантист» (агрегат SK T) [28] технологической линии SK TRS1200 для переработки изношенных автопокрышек (Тайвань).



**Рисунок 15 - Станок для извлечения бортовых колец из покрышек УИК 13-22,5**

Однако стоит отметить, что вышеуказанные аппараты не предназначены для извлечения бортовых колец из покрышек, в каркасе которых имеется металлокорд. В связи с этим для эффективного их использования необходимо предварительное разрезание бортового кольца или подрезания борта покрышки на дополнительном оборудовании.

Для дальнейшего отделения металла от резины, шины, уже без бортовых колец, измельчают на мелкие куски, используя одну или комплекс машин. Для обеспечения процесса измельчения автомобильных шин распространение получили специальные измельчители, которые возможно загружать либо целыми небольшими шинами, либо предварительно разрезанным на куски при помощи гильотинных ножниц большими шинами (рис. 16).



**Рисунок 16 - Гильотинные ножницы для резки шин**

Данные измельчители (шредеры), представляющие собой двух- или четырёхвалковые дробилки, оснащены мощными зубчатыми вальцами, способными разорвать покрышку на мелкие куски (рис. 17).



**Рисунок 17 - Шредер-измельчитель**

Основные разновидности рабочих органов шредеров - зубчатые валы, представлены на рисунке 18.



**Рисунок 18 - Разновидности рабочих органов шредеров**

Мощность, потребляемая шредерами, достигает 150-200 кВт, что говорит об экономической целесообразности данного оборудования только при больших объёмах перерабатываемого сырья.

Распространённой является технологическая линия, состоящая из станка для вырезания бортовых колец (рис. 11), дисковых ножниц, обеспечивающих разрезание покрышки на ленту (рис. 19) и станка для рубки ленты на куски (чипсы) (рис.20). Работа линии заключается в следующем: на первом этапе происходит вырезание одного посадочного кольца из шины; после чего дисковыми ножницами она разрезается на по спирали на ленту, ширина которой составляет 3-5 см, после чего в конце ленты вырезается второе посадочное кольцо. Полученная таким образом лента заправляется в станок, обеспечивающий её рубку на чипсы размером 5x5 см. Вырезанные бортовые кольца отправляются на машину типа DE-BEADER (рис. 10) для выдавливания бортовой проволоки.



**Рисунок 18 - Дисковые ножницы для разрезания шины на ленту**



**Рисунок 20 - Станок для рубки ленты на чипсы**

Применение данного оборудования целесообразно при небольших объёмах перерабатываемого сырья, что объясняется их простотой и малым энергопотреблением.

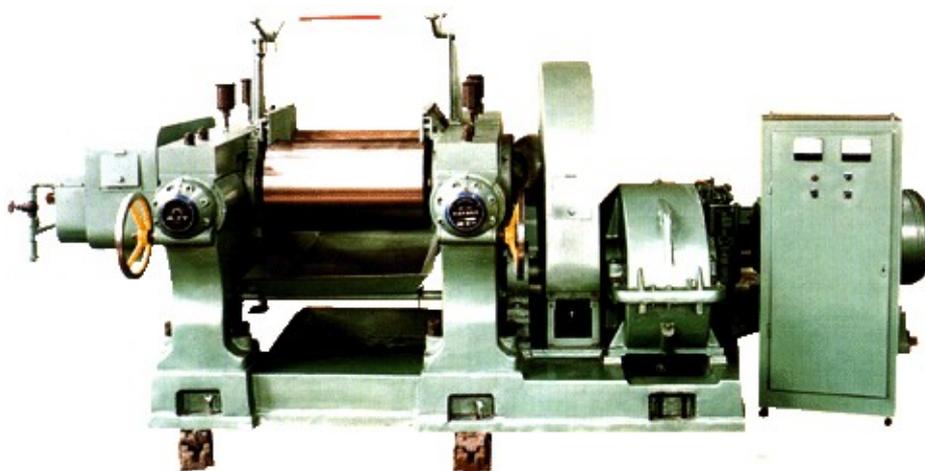
Так называемые чипсы, полученные в ходе переработки покрышек, поддаются дальнейшему измельчению для получения гранул. Для этого резину и корд (металлический и текстильный) отделяются на специальных дробилках и грануляторах, оснащенных магнитными и аэросепараторами.

Широкое распространение в линиях, производящих резиновую крошку (гранулы), получили валковые машины, а именно стандартные дробильные и истирающие вальцы. В данных аппаратах, чипсы, проходя через зазор между валками дробильных вальцов (рис. 21), расслаиваются, дробятся и

отделяются от металлического и текстильного корда. Измельчение резиновой крошки происходит уже на истирающих вальцах (рис. 22).



**Рисунок 21 - Дробильные вальцы для переработки резины**



**Рисунок 22 - Истирающие вальцы линии переработки резины в крошку**

Вальцы широко используются в различных видах производств, поэтому они и нашли применение в переработке шин, как наиболее доступное и не требующее особых переделок оборудование.

В области переработки автомобильных шин распространение также получили шнековые грануляторы, способствующие получению гранул из резиновых чипсов. Подача смеси в зону дробления, состоящую из вала специальной формы и гильзы, в таком грануляторе (рисунок 23) обеспечивается шнеком-дозатором. При этом начальная часть вала выполнена в виде шнека, а конечная часть и внутренняя часть гильзы имеют форму конуса с нарезкой в виде продольных канавок на поверхности. Поданная шнеком-дозатором смесь захватывается шнеком рабочего вала и проталкивается в кольцевой зазор между гильзой и конусом рабочего вала.

При помощи нарезки на рабочих поверхностях резина измельчается до размера от 0,1 до 10 мм, отделяется текстиль и металл.



**Рисунок 23 - Шнековый гранулятор для переработки резиновых чипсов**

Фирмой «Amandus Kahl» был разработан способ измельчения старых покрышек в крошку при помощи прессов-грануляторов с плоской матрицей (рис. 24) [30]. Измельчение резиновых чипсов происходит между цилиндрическими бегунковыми роликами и выполненной в виде перфорированного диска матрицы круглой формы. При откате бегунков по кругообразной траектории матрицы возникают усилия среза, а получаемые с помощью автоматически регулируемой гидравлики пресса усилия прессования расщепляют частицы покрышек и отделяют различные компоненты друг от друга. По окончании процесса измельчения из резинометаллической смеси при помощи магнита выделяется стальная проволока.

Первое просеивание способствует отделению тонких частиц, размером менее 8 мм, поступающих на очистку. Более грубая фракция, а также резинометаллическая смесь возвращается на гранулирование. После гранулирования измельченный продукт разделяется на линии многоступенчатой сортировки и просеивания на различные фракции.



**Рисунок 24 - Пресс-гранулятор с плоской матрицей производства фирмы «Amandus Kahl»**



**Рисунок 25 - Продукты переработки изношенных автомобильных шин**

Проанализировав вышеприведенные способы, а также оборудование, применяемой для измельчения изношенных автомобильных шин можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразным способом переработки автомобильных шин механическим методом является использование РИЭШ-технологии, в основе которой положена концепция «последовательной разделки» автомобильной шины на составляющие ее элементы и последующей их отдельной переработкой [31].

Некоторое приведенное выше оборудование как раз основано на данном принципе, позволяющем получить целый ряд технико-экономических преимуществ:

- например, станок для вырезания бортовых колец, содержащих прочную бортовую проволоку, способствует исключению интенсивного износа оборудования, в особенности его режущего инструмента, при переработке целиковых покрышек;

- снижение энергетических затрат на обеспечение предварительного дробления и отслоение металлокорда возможно достичь путем использования машин для нарезания небольших кусков (чипсов) из целиковых шин или их фрагментов;

- предварительную разделку покрышек на части целесообразно также применять для увеличения коэффициента использования грузоподъемности транспортных средств при транспортировании отработанных автомобильных шин к местам их утилизации [32].

Кроме того, известно, что при производстве покрышек используются различные по составу резиновые смеси с разными деформационными свойствами отдельных их частей. Например, боковины покрышки должны быть эластичными, для обеспечения комфортной езды, долговечности и работоспособности шины, а протектор – износостойким. Ясно, что предварительное разделение покрышек на фрагменты позволяет избежать смешения разнородных по составу резин, если перерабатывать разные фрагменты в разных потоках и получать при этом продукты переработки шин (резиновую крошку) с разными химико-технологическими свойствами. Сказанное в равной мере относится как к покрышкам типа ЦМК, содержащих металлокорд в бреkerе и в каркасе, так и к покрышкам с текстильным каркасом.

В качестве примера РИЭШ-технологии можно привести набирающую популярность технологическую линию по переработке изношенных автомобильных шин Ecoster.

### 3.2 Материальный баланс переработки изношенных шин

Механическая переработка шин, в результате, которого получается крошка, является производством нацеленным на максимально возможное сохранение полезных свойств, которые были привнесены в исходный материал при его первоначальном производстве.

Наблюдавшийся в России на протяжении последних десятилетий рост парка автомобилей стал закономерной причиной обострения проблемы утилизации использованных шин. Недостаточное количество предприятий в России, оказывающих услуги по переработке шин, отсутствие централизованной системы сбора во многих регионах приводит к тому, что ежегодно в каждом крупном регионе образуются около 50 тыс. тонн изношенных шин. При этом в 2017 году объём ежегодно образующихся в России шинных отходов достиг уже более 1000 тысяч тонн [33].

В таблице 9 представлены темпы роста рынка отработанных шин в России.

*Таблица 9 - Ёмкость рынка отработанных шин в нашей стране*

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019
Ёмкость рынка отработанных шин по России, тыс.т	935,2	986,6	1041	1100	1160
Темп роста рынка, %	5	5	5	5	5

Ежегодно в Томской области утилизации подлежат около 6000 т шин. При этом в самом Томске, где количество автотранспорта ежегодно растёт более чем на 3000 единиц, количество подлежащих утилизации автомобильных покрышек, резиновых камер достигает порядка 4500 т или 180000 штук. Однако при этом основная их часть "теряется" на полигонах ТБО и несанкционированных свалках (около 60%).

Произведём расчёт требуемой производительности технологической линии переработки изношенных автомобильных шин.

В виду того, что потеря шин составляет 60%, то общая масса, подлежащих переработке шин в Томске составит:

$$M_{\text{общ}} = M_y - M_{\text{п}} = 4500 - 4500 \cdot 0,6 = 1800 \text{ т} \quad (12)$$

где  $M_y$  - количество подлежащих утилизации автомобильных покрышек, т/год;

$M_{\text{п}}$  - количество "потерянных" автомобильных покрышек.

На основании теоретических данных установлено, что технологические линии для переработки автомобильных шин в крошку имеют расчётную производительность 500-600 кг/час по загрузке.

Для обеспечения бесперерывной работы производства в течение года (320 раб.дней) определим требуемую продолжительность рабочего дня:

$$t = M_{\text{общ}} / (n \cdot V) = 1800 / (320 \cdot 0,5) = 11,5 \text{ ч} \quad (13)$$

где  $n$  - количество рабочих дней в году;

$V$  - производительность линии, т/ч.

Таким образом, для обеспечения годовой работы предприятия принимаем линию Ecosterp 500.

Для дальнейших расчётов в качестве примера примем предприятие, занимающееся переработкой 2000 т изношенных автомобильных шин в год с получением резиновой крошки. Материальный баланс производства, исходя из рис. 2, представлен в табл.10.

*Таблица 10 - Материальный баланс производства резиновой крошки из изношенных автомобильных шин*

Масса сырья, т	Выпуск крошки, т	Металлокорд, т	Текстильный корд, т
1800	1260	450	90

### **3.3 Разработка технологической схемы переработки изношенных автомобильных шин**

Разработка технологической схемы переработки изношенных автомобильных шин выполнялась на основании ГОСТ Р 54095-2010.

Технологический процесс состоит из двух этапов:

1 этап - подготовка шин к дроблению:

- проведение визуального осмотра шин на предмет посторонних включений (гвозди, осколки, камни, шипы и т.д.);

- удаление посадочного кольца (толстой бортовой проволоки) и разделка шин на 6-8 частей;

- подача фрагментов шин транспортером во второй блок.

2 этап - дробление до конечных фракций и удаление посторонних примесей:

- поэтапное измельчение чипсов в резиновую крошку;

- удаление текстиля и металла;

- разделение крошки на фракции;

- упаковка.

Согласно ГОСТ Р 54095-2010 в результате переработки шин можно получить крошку трёх типов крупности, мм:

- грубая крошка: 7,0-25,0;

- средняя крошка: 2,0-7,0; 0,5-2,0;

- тонкая крошка: 0,0-0,5.

Грубая крошка находит применение в качестве топливного ресурса, а также для производства звукопоглощающих барьеров.

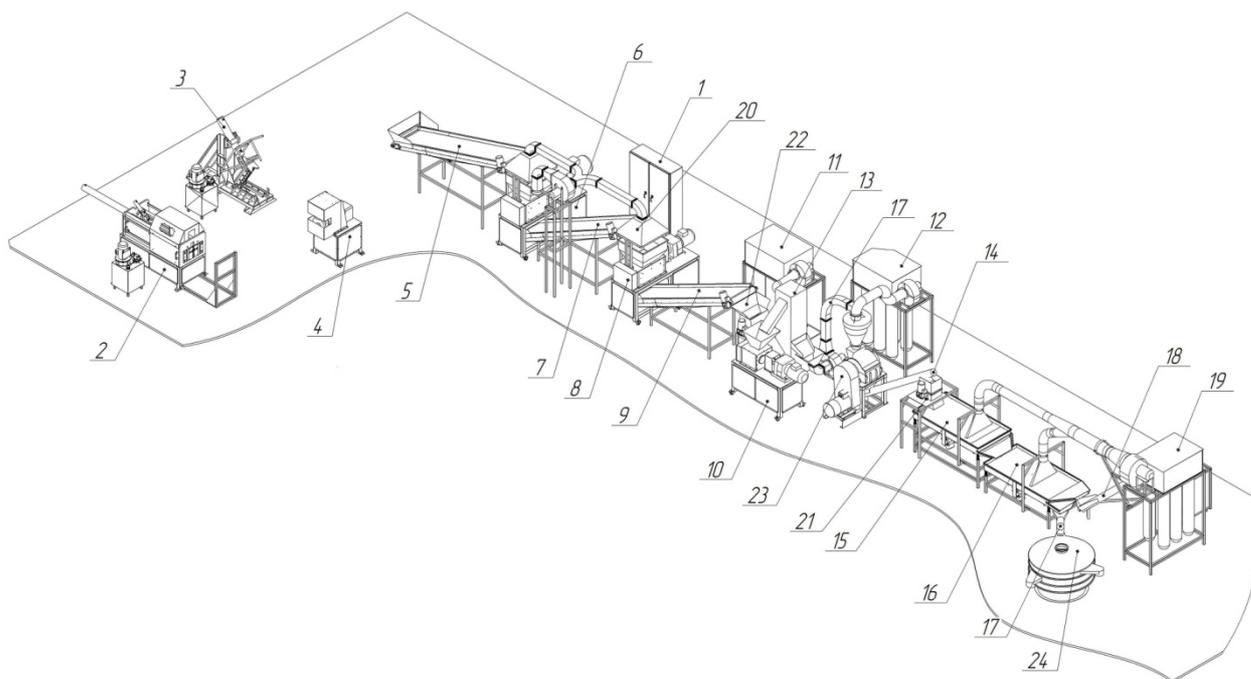
Средняя крошка с размером фракции 2,0-7,0 мм применяется в дренажных системах; в качестве легкого наполнителя в основаниях дорог; игровых площадок; оснований для трамвайных и железнодорожных путей.

Крошка с размером фракции 0,5-2,0 мм применяется в качестве наполнителя асфальтовых смесей; при изготовлении промышленной продукции; в качестве элемента нижней части ковровых покрытий; формованных и прессованных изделий; в железнодорожном и трамвайном строительстве; при

изготовлении элементов обуви (подошвы); элементов тормозных накладок и т.д.

Тонкая крошка применяется при производстве покрышек, кабелей, ремней, композиционных составляющих для шин, фрикционных материалов, материалов для дорожного покрытия и т.д.

Анализ литературных данных, а также рынка оборудования для механической переработки изношенных автомобильных шин позволяет сделать выбор в пользу линии по переработке шин Ecoster 500, получающих широкое распространение в нашей стране. Технологическая линия представляет собой последовательный ряд узлов и механизмов (рис.26) [34].



**Рисунок 26- Технологическая линия механической переработки изношенных автомобильных шин в резиновую крошку: 1 - контрольный пульт управления; 2 - вырыватель; 3 - гидравлические ножницы; 4 - станок для резки шин; 5 - ленточный конвейер №1; 6 - шредер №2; 7 - ленточный конвейер №2; 8 - шредер №3; 9 - ленточный конвейер №3; 10 - измельчитель №1; 11 - вытяжная система сепаратора тонкой очистки; 12 - вытяжная система роторной дробилки; 13 - сепаратор тонкой очистки; 14 - шнек; 15 - вибростол №1; 16 - вибростол №2; 17 - пневмотрасса сепаратор-дробилка; 18 - шнек; 19 - вытяжная система вибростолов; 20 - система**

**пылеулавливания; 21 - магнитный сепаратор вибростола; 22 - магнитный сепаратор измельчения; 23 - роторная дробилка; 24 - вибросито двухуровневое**

Отработанные автошины, отработанные изделия из резины складываются на специальной площадке возле производственного здания.

Затем автопогрузчики доставляют автопокрышки и резину в главные ворота производственно-бытового здания, в котором уже установлена линия станков и оборудования по переработке отработанных шин и ОРИ (отработанные резиновые изделия).

Грузовая или легковая шина вручную или с помощью подъемного механизма устанавливается на вырыватель (2), который извлекает бортовую проволоку из посадочного кольца. Извлеченная бортовая проволока складывается для прессовки и вывоза. На выходе: чистая бортовая проволока (которую можно сдать на металлолом) и резиновая составляющая шины. Производительность – 15-40 покрышек в час. Примерно 400-800 кг/час.

Далее шина подается на гидравлические ножницы (3), предназначенные для разрезания шин на 2-8 частей. Производительность до 1500 кг/час. Станок может перерабатывать шины с толстой бортовой проволокой.

Далее разрезанные на части шины поступают на станок для резки шин (4), предназначенный для производства крупных чипсов массой около 2,5 кг и толщиной не более 40 мм. Производительность до 1000 кг/час.

После этого чипсы подаются на ленточный конвейер №1 (5), предназначенный для подачи крупных чипсов массой около 2,5 кг и толщиной не более 40 мм в шредер первичного измельчения (6), предназначенный для измельчения чипсов массой около 2,5 кг и толщиной не более 40 мм до чипсов размером 50x50 мм. Далее измельченные чипсы на ленточном конвейере №2 (7) транспортируются к шредеру среднего измельчения (8), предназначенного для измельчения чипсов размером 50x50 мм до размера 15x15 мм. Измельченные чипсы далее на ленточном конвейере

№3 (9) направляются к магнитному сепаратору (10), предназначенному для отделения металлокорда от резиновых чипсов размером 15x15 мм и поступают в измельчитель №1 (11), предназначенный для измельчения резиновых чипсов размером 15x15 мм до резиновой крошки размером менее 8 мм и измельчитель №2 (11), предназначенный для измельчения резиновых чипсов размером около 8 мм до резиновой крошки размером 0,1-4,5 мм.

Далее резиновая крошка поступает в систему аспирации (12), которая предназначена для транспортировки резиновой крошки от измельчителей №1 и №2 к виброситу и возврата от вибросита к измельчителям №1 и №2 для повторного измельчения, а также для отделения резиновой крошки от текстильного корда, после чего крошка поступает на вибросито, предназначенное для разделения резиновой крошки на три фракции: более 8 мм, 4-8 мм и 0,1-4,5 мм и подачи их к возвратным пневмотрассам измельчителей №1 и №2 в системе аспирации и шнековому транспортеру (14), обеспечивающему подачу крошки в магнитный сепаратор (22), предназначенный для отделения металлокорда от резиновой крошки размером 0,1-4,5 мм.

Далее для грубой очистки крошки размером 0,1-4,5 мм от текстиля она поступает на вибростол №1 (15) и далее на вибростол №2 (16), предназначенный для очистки резиновой крошки размером 0,1-4,5 мм от текстиля и разделения ее на фракции 0,1-2 мм и 2-4,5 мм.

Благодаря вытяжной системе вибростолов (19) удаляется скапливающийся на них текстильный корд в систему пылеулавливания 20.

После завершения технологического процесса, готовая продукция, (резиновая крошка различной фракции) складированная в мешки, автопогрузчиками через вторые ворота, доставляется на склад готовой продукции.



### 3.4 Выбор и расчет оборудования

Технологическая линия Ecostep 500 включает в себя достаточно большое количество оборудования, весь перечень и назначение которого представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Перечень и назначение оборудования входящего в состав линии Ecostep 500

Наименование оборудования	Назначение оборудования	Количество
Контрольный пункт управления	Управление автоматизированной линией переработки	1
Вырыватель	Извлечение бортовой проволоки из посадочного кольца	1
Гидравлические ножницы	Разрезание шин на 2-8 частей	1
Станок для резки шин	Производство крупных чипсов, толщиной не более 40 мм	1
Ленточный конвейер №1	Подача чипсов после станка в шредер первичного измельчения	1
Шредер первичного измельчения	Измельчение крупных чипсов до размеров 50x50 мм	1
Ленточный конвейер №2	Транспортировка чипсов от шредера первичного измельчения к шредеру среднего измельчения	1
Шредер среднего измельчения	Измельчение чипсов до размера 15x15 мм	1
Ленточный конвейер №3	Транспортировка чипсов после шредера среднего измельчения к магнитному сепаратору	1
Магнитный сепаратор	Отделение металлокорда от чипсов среднего измельчения	1
Измельчитель №1	Измельчение чипсов среднего измельчения до резиновой крошки крупностью не <8 мм	1
Измельчитель № 2	Измельчение чипсов среднего измельчения до резиновой крошки крупностью 0,1-4,5 мм	1
Система аспирации	Транспортировка резиновой крошки от измельчителей к виброситу и обратно для повторного измельчения, а также отделение текстильного корда	1
Вибросито	Повфракционное разделение резиновой крошки: I - >8 мм; II - 4-8 мм; III - 0,1-4,5 мм	1
Шнековый транспортер	Транспортировка крошки крупностью 0,1-4,5 мм в магнитный сепаратор	1
Магнитный сепаратор	Отделение металлокорда от резиновой	1

	крошки крупностью 0,1-4,5 мм	
Вибростол №1	Грубая очистка резиновой крошки крупностью 0,1-4,5 мм от текстиля	1
Вытяжная система №1	Очистка воздуха от пыли и текстильного корда, поступающего из циклонов аспирационной системы, расположенных над вибростомом	1
Вытяжная система №5	Очистка воздуха от пыли и текстильного корда, поступающего из циклонов аспирационной системы, расположенных над измельчителями	1
Вибростол №2	Очистка резиновой крошки крупностью 0,1-4,5 мм от текстиля и разделение её на фракции 0,1-2 мм и 2-4,5 мм	1
Вытяжная система №2	Удаление текстильного корда, скопившегося на вибростолах	1
Вытяжная система №3	Удаление текстильного корда, скопившегося на вибростоле №3	1
Вытяжная система №4	Удаление текстильного корда, скопившегося на вибростоле №4	1
Система пылеулавливания	Очистка воздуха от пыли	1

### 3.5 Возможность использования полученного вторичного продукта

Производство резиновой крошки востребовано на рынке и пригодно для использования в различных производственных сферах.

Применение резиновой крошки (рис. 27):

- При производстве резиновых блочных изделий (резиновая брусчатка, маты, сегменты, резиновые коврики, РТИ), методом горячего формования с полиуретановым связующим.

- При производстве бесшовных покрытий методом напыления резиновой крошки на полиуретановой основе (кровля, гидроизоляция, напольные покрытия).

- При производстве бесшовных покрытий методом ковровой укладки резиновых гранул с полиуретановым связующим.

- При производстве девулканизированной резины. Сырьё для производства резиновых смесей и изделий.

- При производстве резиново-битумных мастик и смесей для производства дорожного полотна.

- В качестве сорбента в нефтяной промышленности.

- Наполнитель «крошка резиновая для спортивных снарядов».
- Наполнитель спортивных покрытий с искусственной травой [35].



**Рисунок 27 - Пример использования резиновой крошки - изготовление резинового покрытия и плитки**

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **4.1 Анализ конкурентных решений**

В данной работе проведен анализ способов переработки изношенных автомобильных шин.

Механическая переработка автомобильных покрышек в крошку не приводит к изменению физико-химического состава резины. Также в связи с тем, что крошка является продуктом переработки (утилизации) шин, рыночная цена на нее в 3-4 раза ниже, чем на первичное резиновое сырье. Исходя из этого крошка является недорогим, высококачественным продуктом утилизации покрышек.



Рисунок 28 - Образец резиновой крошки

Актуальность создания производства по переработке автомобильных шин состоит из двух составляющих. Первая составляющая заключается в производстве продукта, востребованного на рынке и готового для применения в различных сферах производства товаров и услуг. Вторая составляющая заключается в решении проблемы загрязнения окружающей среды - переработка опасных отходов, сокращение территорий, выделенных под полигоны, сохранение природных ресурсов.

В нашей стране рынок представлен достаточно большим количеством компаний-производителей резиновой крошки, что объясняется региональной структурой переработки изношенных автомобильных шин и других резиносодержащих отходов в нашей стране. Наиболее крупными представителями бизнеса в данной отрасли являются ЗАО "Волжский регенератно-шиноремонтный завод" и «ЭкоСтар Технолоджи». Как правило, полученный продукт либо используется производителем в основном производстве, либо продаётся производителям другой продукции (игровые площадки, спортивные покрытия и т.д.) по структуре отношений B2B (Business to business).

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Линия по переработке шин «EcoStep 500» представляет собой автоматическую линию, предназначенную для измельчения изношенных

автомобильных шин с металлическим и тканевым кордом в резиновую крошку.

Линия обеспечивает переработку до 3000 тонн автопокрышек в год, с получением до 1800 тонн резиновой крошки.

Преимуществом линии «EcoStep 500» является её гибкость, автоматизированность, что в свою очередь требует минимальное количество персонала, а также возможность благодаря производителю линии полностью сбывать полученную продукцию. Производителем линии является Россия.

Производственные мощности ЗАО "Волжский регенератно-шиноремонтный завод" позволяют перерабатывать ежегодно около 40 000 тонн изношенных шин и резиносодержащих отходов.

Основное преимущество линии на данном предприятии - её производительность. В то же время недостатками линии является отсутствие возможности переработки текстильного корда, что не решает проблемы полноценного переработки изношенных автомобильных шин, как отхода, а также значительное энергопотребление. Поставщиком оборудования для завода выступило НПО СИБПРОММАШ.

Технологическая линия переработки автомобильных покрышек «ЭкоСтар Технолоджи» имеет производительность более 3 000 т автопокрышек в год. В результате утилизации шин образуется товарное вторичное сырьё: резиновая крошка, отходы чёрных металлов и текстильное волокно. Производитель линии - Сифания-Экотехника (Беларусь). Преимуществом данной линии, по сравнению с «EcoStep 500» является её цена, однако при этом существенным недостатком является отсутствие представителей производителя линии в России, что создает проблемы для гарантийного обслуживания.

*Таблица 12 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)*

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8

Производительность линии	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
Расход электроэнергии, кВт·ч/год	0,15	5	3	5	0,75	0,45	0,75
Дисперсный состав продукта	0,05	5	5	4	0,25	0,2	0,25
Цена производственной линии	0,3	4	4	5	1,2	1,2	1,5
Гарантийное обслуживание технологической линии	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Гарантированный сбыт продукции	0,25	5	4	3	1,25	1	0,75
Итого	1	28	24	24	4,55	3,9	4,15

где  $\phi$  – линия EcoStep 500;

$k_1$  - ЗАО "Волжский регенератно-шиноремонтный завод";

$k_2$  - «ЭкоСтар Технолоджи».

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot E_i \quad (13)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Основным преимуществом использования технологической линии «EcoStep 500» является в первую очередь поддержка производителя крошки производителем линии, заключающаяся в гарантированном сбыте продукции и гарантийном обслуживании технологической линии. Также весьма важным аспектом является её экономичное электропотребление, что положительно отражается на себестоимости продукции.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

*Таблица 13 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей*

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы ВКР	1	Составление темы ВКР и её утверждение	Научный руководитель
	2	Составление плана ВКР и его утверждение	Студент Научный руководитель

*Продолжение таблицы 13*

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследования	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Литературный обзор	Студент
	5	Выбор направления исследования	Научный руководитель, студент
	6	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретические исследования	7	Сравнение существующих способов переработки изношенных автомобильных шин и выделение наиболее рационального способа переработки	Студент
	8	Обзор существующего оборудования для механической переработки изношенных автомобильных шин	Студент
	9	Подбор рациональной технологической схемы для механической переработки изношенных автомобильных шин с целью получения резиновой крошки	Студент
Разработка раздела "Социальная ответственность"	10	Получение задание на разработку раздела	Консультант
	11	Разработка раздела "Социальная ответственность"	Студент
Разработка раздела	12	Получение задание на разработку	Консультант

"Экономическая часть"		раздела	
	13	Анализ конкурентных технических решений. Подготовка раздела	Студент
Обобщение и оценка результатов ВКР	14	Оформление работы	Студент
	15	Защита ВКР	Студент

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основную часть стоимости разработки, в большинстве случаев образуют трудовые затраты, в связи с чем важной задачей является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Оценка трудоемкости выполнения научного исследования осуществляется экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Расчёт среднего (ожидаемого) значения трудоёмкости осуществляется по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{мин\ i} + 7t_{макс\ i}}{5} \quad (14)$$

где  $t_{ож\ i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{мин\ i}$  - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{макс\ i}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_i = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (15)$$

где  $T_{pi}$  - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн;

$Ч_i$  - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта - горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (16)$$

где  $T_{ki}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  - продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{раб} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 119 - 14} = 1,57 \quad (17)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Общий расчёт представлен в виде табл.4.3.

Таблица 14 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ												Исполнители				Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$				Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$			
	$t_{min}$ , чел-дни				$t_{max}$ , чел-дни				$t_{ожl}$ , чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4								
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					1	2	3	4	1	2	3	4
Составление темы ВКР и её утверждение	1				2				2								2				3			
Составление плана ВКР и его утверждение	2	2			3	3				3							2	3			5			
Подбор и изучение материалов по теме		10				21				15								15				24		
Литературный обзор		10				20				14								14				22		
Выбор направления исследования	2	2			3	3			3	3								3				5		
Календарное планирование работ по теме	1	1			2	2			2	2							1	1			2			
Сравнение существующих способов переработки изношенных автомобильных шин и выделение наиболее рационального способа переработки		10				20				14								14				22		
Обзор существующего оборудования для механической переработки изношенных		10				20				14								14				22		



Продолжение таблицы 14

Название работы	Трудоемкость работ												Исполнители				Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$				Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$				
	$t_{min}$ , чел-дни				$t_{max}$ , чел-дни				$t_{ож}$ , чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	1	2	3	4	1	2	3	4	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4													
Подбор рациональной технологической схемы для механической переработки изношенных автомобильных шин с целью получения резиновой крошки		5				10					7						7						11		
Получение задание на разработку раздела			1				2					2							2						3
Разработка раздела "Социальная ответственность"		5				10					7							7						11	
Получение задание на разработку раздела				1				2					2							2					3
Анализ конкурентных технических решений. Подготовка раздела		5				7					6							6						9	
Оформление работы		3				6					4							4						6	
Защита ВКР		1				1					1							1						2	

По результатам таблицы 14 строим календарный план-график (табл.15).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 15 - Календарный план-график проведения научно-исследовательской работы по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дн	Продолжительность выполнения работ												
				Фев.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление темы ВКР и её утверждение	Научный руководитель	3													
2	Составление плана ВКР и его утверждение	Студент, научный руководитель	5													
3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	24													
4	Литературный обзор	Студент	22													
5	Выбор направления исследования	Студент	5													
6	Календарное планирование работ по теме	Студент, научный руководитель	2													
7	Сравнение существующих способов переработки изношенных автомобильных шин и выделение наиболее рационального способа переработки	Студент	22													
8	Обзор существующего оборудования для механической переработки изношенных автомобильных шин	Студент	22													

Продолжение таблицы 15

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал. дн	Продолжительность выполнения работ													
				Фев.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	
9	Подбор рациональной технологической схемы для механической переработки изношенных автомобильных шин с целью получения резиновой крошки	Студент	11														
10	Получение задание на разработку раздела	Консультант	3														
11	Разработка раздела "Социальная ответственность"	Студент	11														
12	Получение задание на разработку раздела	Консультант	3														
13	Анализ конкурентных технических решений. Подготовка раздела	Студент	14														
14	Оформление работы	Студент	6														
15	Защита ВКР	Студент	2														

#### **4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

При планировании бюджета НТИ важной задачей является обеспечение полного и достоверного отражения всех видов расходов, которые связаны с выполнением НТИ. В ходе формирования бюджета НТИ применяется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Стоит отметить, что во время выполнения ВКР никаких материальных затрат не производилось.

В результате было установлено, что наиболее оптимальным способом их переработки является механический способ с получением вторичного продукта в виде резиновой крошки при помощи технологической линии «EcoStep 500».

Стоимость оборудования с учетом доставки и установки составляет 12 млн. руб.

#### **Вывод**

Целью данной работы являлось обоснование выбора и выбор технологии механической переработки изношенных автомобильных шин с получением целевого продукта - резиновая крошка.

В результате анализа данных о технологии производства резиновой крошки и её производителях в нашей стране был сделан выбор в пользу линии фирмы Ecostep, преимуществом которой является её

производительность, надёжность, гарантийный сбыт продукции, а также получение продукта высокого качества.

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данной работы является разработка рационального способа переработки изношенных автомобильных шин. В результате изучения литературных данных было установлено, что наиболее рациональным как с экономической, так и с экологической точки зрения способом переработки изношенных автомобильных шин является их механическая переработка с получением конечного продукта – в виде резиновой крошки. Производство резиновой крошки востребовано на рынке и пригодно для использования в различных производственных сферах: от производства покрытий для спортивных площадок, до использования её в качестве сорбента в нефтяной промышленности.

### 5.1 Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных производственных факторов, возникающих в технологическом процессе при производстве резиновой крошки, приведены в табл. 16 согласно ГОСТ 12.0.003-74\* [36] и СанПиН 2.2.4.3359-16 [37].

Таблица 16 - Опасные и вредные производственные факторы

Наименование фактора	Источник возникновения фактора	Нормируемый параметр и его нормативное значение	Нормативный документ, регламентирующий допустимый уровень параметра
Запыленность воздуха	Измельчители покрышек	ПДК <sub>р.з.</sub> =2 мг/м <sup>3</sup>	ГН 2.2.5.1313-03 [38]
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	Наличие теплообменного оборудования	t <sub>к</sub> =17-19°C t <sub>г</sub> =19-21°C φ=60-40% v=0,2 м/с	СНиП 2.04.05-91 [39]

*Продолжение таблицы 16*

Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой	Отсутствие или недостаток средств освещения	КЕО=0,3% Е=150-500	СНиП 23-05-95
Механические	Движущиеся части машин и механизмов	Безопасность эксплуатации оборудования	ГОСТ 12.3.002-2014 [40]
Повышенный уровень шума	Вентиляторы, двигатели приводов	L<80 дБА	СанПиН 2.2.4.3359-16
Повышенный уровень напряжения 220, 380 В	Вентиляторы, электродвигатели	U <sub>доп</sub> = 2,0 В; I <sub>до</sub> = 0,3 мА	ГОСТ 12.1.038-82 [41]
Повышенный уровень вибрации	Вентиляторы, электродвигатели	L = 100 дБ	СанПиН 2.2.4.3359-16

Во время технологического процесса деятельности предприятия по производству резиновой крошки, как уже было отмечено, образуется пыль, которая может попасть в воздух рабочей зоны в случае нарушений технологического процесса, аварий на производстве.

Запыленность воздуха рабочей зоны оказывает прямое влияние на безопасность труда. Пыль резиновая может оказывать на организм человека раздражающее и токсическое действие.

В первую очередь резиновая пыль влияет на органы дыхательной системы. Она вызывает ощущение тяжести в груди, першение в горле, кашель. При высоких концентрациях может способствовать развитию и обострению хронических болезней бронхолегочной системы: от астмы и бронхита до онкологических новообразований.

Используя ГОСТ 12.1.007-76 [42] и ГОСТ 12.1.005-88 [43] устанавливаем класс опасности вещества и их предельно допустимую концентрацию ПДК в воздухе рабочей зоны.

*Таблица 17 - Характеристика загрязняющих веществ*

Наименование загрязнителя	Класс опасности	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Пыль	III	2

### **5.1.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего**

Метеорологические условия рабочей среды (микроклимат) оказывают влияние на процесс теплообмена и характер работы. Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий способствует резкому ухудшению его самочувствия, снижению производительности труда, а также приводит к возникновению и развитию заболеваний.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма и даже к тепловому удару. Низкая температура воздуха, напротив, может вызвать местное или общее охлаждение организма, а также стать причиной простудного заболевания либо обморожения.

Значительное влияние на процессы терморегуляции организма человека оказывает влажность воздуха. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведёт к переохлаждению организма. Низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек путей работающего.

Подвижность воздуха эффективно способствует теплоотдаче организма человека и положительно проявляется при высоких температурах, но отрицательно низких.

Метеорологические условия в производственных помещениях выбраны в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 2.2.4.3359-16 с учетом энергозатрат организма на выполнении работ и периода года. Выбираем допустимые параметры микроклимата, приведенные в табл. 9. Так как переработка шин связана с их перемещением, то категория работ согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 устанавливается Пб.

*Таблица 18 - Оптимальные величины параметров микроклимата на рабочих местах производственных помещений*

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	Пб	17-19	60-40	0,2
Тёплый		19-21	60-40	0,2

Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года приведены в таблице 19.

*Таблица 19 - Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах производственных помещений*

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура, воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже	диапазон ниже		для диапазона температур воздуха ниже	для диапазона температур воздуха
Холодный	Пб	15,0-16,9	19,1-22,0	15-75	0,2	0,4
Тёплый		16,0-18,9	21,1-27,0	15-75	0,2	0,5

Для обеспечения нормализации параметров микроклимата предусмотрены следующие мероприятия: теплоизоляция поверхностей аппаратов и трубопроводов, имеющих высокую температуру, герметизация технологического оборудования, вентиляция и отопление в холодный период года в соответствии со СНиП 2.04.05-91.

### **5.1.2 Опасные и вредные производственные факторы, связанные со световой средой**

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, а также на состояние психофизиологических факторов. Также отсутствие естественного света может привести к явлению «светового голодания». «Световое голодание» - это состояние организма, обусловленное дефицитом ультрафиолетового облучения и проявляющееся в нарушении обмена веществ и снижении резистентности организма.

В помещении, где проводится технологический процесс деятельности производства резиновой крошки, в светлое время суток предусмотрено естественное освещение, в темное время - искусственное. Естественное освещение - боковое, двустороннее, через боковые проемы в наружных стенах помещения.

Переработка автомобильных покрышек, сопровождается лишь общим наблюдением за технологическим процессом. Таким образом, разряд зрительных работ - VII.

Таким образом, нормированное значение КЕО при боковом освещении составляет 0,3%; значение освещенности  $E=150-500$  лк.

Для общего и местного освещения помещений следует использовать источники света с цветовой температурой от 2400 К до 6800 К. Интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 320-400 нм не должна превышать  $0,03 \text{ Вт/м}^2$ . Наличие в спектре излучения длин волн менее 320 нм не допускается.

### **5.1.3 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей**

Вибрация в большей или меньшей степени может временно активизировать или постоянно подавлять определенные психические процессы организма человека. Физиопатологические последствия могут

проявляться в форме нарушения функции зрения, вестибулярного аппарата, координирующей функции коры головного мозга, нервной или пищеварительной системы, системы кровообращения.

Значительные уровни вибрации в диапазоне частот 4-10 Гц могут приводить к проявлению у человека болевых ощущений, а также к дискомфорту, что связано с резонансными колебаниями системы «грудь-живот». Резонансы головы могут привести к снижению остроты зрения из-за смещения изображения объекта относительно сетчатки глаза, а также вызывать возрастание ошибок оператора.

Особо опасными являются вибрации с частотой, совпадающей с собственной частотой внутренних органов человеческого организма - 6-9 Г. Такие вибрации могут вызвать механическое повреждение или даже разрыв этих органов.

Нижний уровень толерантности по отношению к вибрации наблюдается при частоте 5 Гц: при этой частоте резонанс отдельных органов тела наиболее интенсивен. Наибольшее нарушение остроты зрения наблюдается при воздействии вибрации в диапазоне частот 10-25 Гц. Наиболее серьезные нарушения двигательных функций отмечены при вибрациях ниже 5 Гц.

Вибрация не только ухудшает самочувствие человека и снижает производительность труда в среднем на 10-15%, но и очень часто приводит к профессиональным заболеваниям (костно-суставным поражениям, виброблезни). Эффективное лечение профзаболеваний возможно только на ранних стадиях, причем восстановление нарушений органов происходит крайне медленно, а в особо тяжелых случаях в организме наступают необратимые изменения, приводящие к инвалидности [1].

Воздействие сильного шума может способствовать возникновению акустической травмы (острой и хронической). Возникновению острой акустической травмы способствует образование и преобладание резких звуков большой силы, что в свою очередь может привести к разрыву

барабанной перепонки, боле в ухе и другим опасным последствиям при 145 дБА. Гораздо чаще встречается хроническая акустическая травма. Её развитию способствует преобладание в помещении шума выше допустимого, но в целом кажущегося терпимым. Долгое постоянное пребывание в таком помещении приводит к притуплению слуха, в виду того, что органы слуха подвержены действию фактора утомления.

Основными источниками шума и вибрации в помещении, где проводится технологический процесс деятельности предприятия по производству резиновой крошки путем механического измельчения изношенных автомобильных шин, является механическое оборудование и двигатели приводов. Согласно ГОСТ 12.1.003-83\* [39] допустимый уровень шума в производственном помещении - не более 80 дБА.

Если уровень шума превышает допустимый, то проводят мероприятия по его нормализации:

- улучшение уровня эксплуатации материалов;
- использование демпфирующих материалов;
- звукоизоляция установки кожухами.

Машины и механизмы, применяемые в данном технологическом процессе вызывают определенные механические колебания, передаваемые на тело человека. Гигиеническое нормирование вибрации проводят по ГОСТ ГОСТ 12.1.012-2004 [40].

С целью профилактики виброшумового заболевания для работников с вибрирующим оборудованием, рекомендуется специальный режим работы (ограничение времени контакта с виброинструментом, дополнительные перерывы и т.д.).

Также существуют методы снижения вредных вибраций от работающего оборудования:

- устранение резонансных режимов работы оборудования;

- при создании машин следует отдавать предпочтение кинетическим и технологическим схемам, которые бы устраняли или уменьшали до минимума динамические процессы;

- вентиляторы, насосы и другое оборудование предпочтительно закреплять на пружинах-виброизоляторах.

#### **5.1.4 Электробезопасность**

В отношении опасности поражения людей электрическим током производственное помещение относится к помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность согласно ПУЭ 2009.

Оборудование, применяемое в производственном процессе относится к классу II - оборудование, в котором защита от поражения электрическим током обеспечивается применением двойной или усиленной изоляции.

К персоналу, работающему на производстве должны предъявляться следующие требования:

- возраст - с 18 лет;

- группа допуска по электробезопасности - II:

1) Элементарные технические знания об электроустановке и ее оборудовании.

2) Отчетливое представление об опасности электрического тока, опасности приближения к токоведущим частям.

3) Знание основных мер предосторожности при работе в электроустановках.

4) Практические навыки оказания первой помощи пострадавшим.

Персонал не имеющий или со средним специальным образованием допуск к работе положен после 72 часовой программы обучения.

Мероприятия нормализации электробезопасности:

- контроль и профилактика повреждений изоляции;

- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования, достигаемые защитным заземлением, занулением, защитным отключением.

- организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Для обеспечения защиты рабочих от поражения электрическим током и защиты электрооборудования и установок от напряжения применяются заземления оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.030-81 [44].

### **5.1.5 Пожарная безопасность**

Согласно документам СП 12.13130.2009 [45] рабочее помещение по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 [46] пожарная безопасность обеспечивается системами предотвращения пожара и противопожарной безопасности, а также организационно-техническими мероприятиями.

Размещение первичных средств пожаротушения в производственных зданиях и на территории предприятия обеспечивается за счёт установки специальных пожарных щитов с набором: пенных огнетушителей - 2, углекислотных огнетушителей - 1, ящиков с песком - 1, плотного полотна (асбест, войлок) - 1, ломов - 2, багров - 3, топоров - 2.

Установка пожарных щитов должна производиться на видных и легкодоступных местах, как можно ближе к выходам из помещений. Территории предприятий обеспечиваются пожарными щитами (из расчета один щит на площадь до 500 м).

Мероприятия системы предотвращения пожара:

- 1) применение негорючих веществ;
- 2) ограничение количества горючих веществ и их размещения;
- 3) противопожарные разрывы между зданиями;
- 4) периодическая очистка помещений и территорий;
- 5) изоляция горючих веществ.

Предусмотрено наличие внутреннего и наружного водопровода с пожарными кранами, для сообщения о пожаре - электрическая пожарная сигнализация и телефонная связь.

Для предотвращения пожара используют первичные средства пожаротушения - переносной порошковый огнетушащий ОП-5 - 2 шт., а также ящик с песком, лопату, щит, согласно ППБ 01-03.

## 5.2 Экологическая безопасность

Механическое измельчение изношенных автомобильных шин с получением резиновой крошки при использовании современного высокотехнологичного оборудования от компании Ecoster не сопряжено с образованием каких-либо загрязняющих веществ. Единственным загрязнителем согласно ГОСТ Р 54095-2010 "Ресурсосбережение. Требования к экобезопасной утилизации отработавших шин" является пыль, удельное образование которой составляет 0,2 кг/ч. Наличие на производстве пылеулавливающего оборудования препятствует поступлению пыли в окружающую среду.

Таким образом, при производительности линии 500 кг/ч будет образовываться следующее количество пыли:

$$M = N \cdot m = 500 \cdot 0,2 = 100 \text{ кг/ч или } 27,78 \text{ г/с} \quad (16)$$

где N - производительность технологической линии, кг/ч;

m - удельное образование пыли, кг/ч.

При правильной реализации производства, оно также не сопряжено с образованием каких-либо отходов.

Также процесс механической переработки изношенных автомобильных шин с образованием сточных вод и воздействием на гидросферу.

Таким образом можно установить, что производство резиновой крошки является достаточно экологически чистым производством.

Для минимизации выбросов загрязняющих веществ при производстве резиновой крошки технологическая линия Ecoster оснащена пылеулавливающим оборудованием (циклонами).

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Механическая переработка изношенных автомобильных шин не относится к взрывопожароопасным и химически опасным производствам.

Среди возможных чрезвычайных ситуаций следует отметить возможность возникновения пожара вследствие неисправности в электрических сетях.

Правила пожарной безопасности устанавливают общие требования пожарной безопасности на территории Российской Федерации и являются обязательными для исполнения всеми предприятиями, учреждениями и организациями (независимо от форм собственности, вида деятельности и ведомственной принадлежности), их работниками, а также гражданами.

Для уменьшения опасности возникновения и распространения пожаров большое значение имеет грамотное устройство и расположение помещений и выходов из них. Обязательным является наличие вентиляции, так как при ее отсутствии в случае возгорания будет сильное задымление помещений, что затруднит борьбу с пожаром. Обязательно наличие оповещающей пожарной сигнализации в производственном помещении (на данном этапе сигнализация не установлена). Производственный участок также должен быть оснащен средствами пожаротушения. В здании должна обеспечиваться быстрая безопасная эвакуация людей в случае возникновения пожара. Пожарную опасность представляют электрические устройства в случае перегрузки или короткого замыкания. Для предотвращения этого должен быть проведен правильный монтаж сетей и агрегатов, а их эксплуатация должна обеспечиваться в соответствии с правил их эксплуатации.

Для предупреждения рабочих об опасности поражения электрическим током используют знаки: "Стой - опасно для жизни", "Не влезай - убьет".

При обнаружении очага загорания или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т. п.) должен: незамедлительно сообщить об этом по телефону «01» или «010» (для мобильной связи). При этом назвать наименование объекта, место взрыва, пожара, а также свою фамилию; принять меры по эвакуации людей (согласно плану эвакуации, изображенному на рис. 29), тушению пожара и сохранности материальных ценностей.

*План эвакуации производства переработки шин*

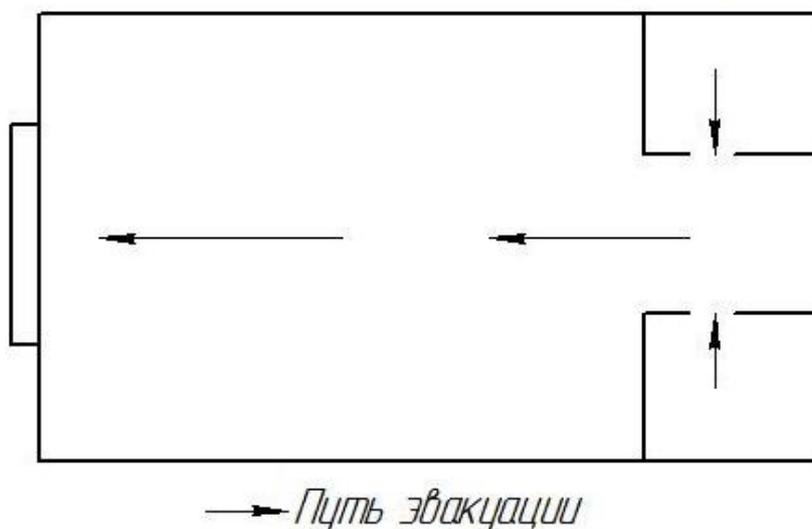


Рисунок 29 - План эвакуации при пожаре

#### **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Трудовые отношения с работниками производства резиновой крошки должны регламентироваться . Для обслуживания технологической линии нужно 3 человека.

согласно условия труда на производстве классифицируются как допустимые (2 класс), так как данное производство сопряжено с повышенным шумом.

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может

находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса:

1) Рабочее место должно обеспечивать максимальную надежность и эффективность работы.

2) Рабочее пространство должно быть достаточным, позволять осуществлять все необходимые движения и перемещения при эксплуатации и обслуживании оборудования.

3) В рабочем пространстве должна быть «зона свободной досягаемости», то есть участок, на котором сконцентрировано все оборудование: инструменты, материалы, приспособления, которыми приходится часто пользоваться.

## **Заключение**

Активный рост парка автомобилей во всех развитых странах способствует постоянному накоплению изношенных автомобильных шин, отрицательное воздействие которых на окружающую среду заключается в отчуждении больших площадей земель под их складирование, а также в выделении химических веществ в окружающую среду. В связи с этим важной задачей является поиск рационального способа переработки изношенных автомобильных шин.

В ходе работы было изучено влияние изношенных автомобильных шин на окружающую среду, характеризующееся отчуждением значительных площадей земель для их хранения, загрязнением атмосферы газообразными веществами при их сжигании, а также загрязнением почвы и водных источников. Анализ состава изношенных автомобильных шин показал, что с учетом износа шина на 65-70% состоит из резины, являющейся ценным вторичным сырьём. Также на 25% шина состоит из металлического корда, реализация которого в процессе их переработки является рациональным решением с экономической точки зрения.

Для поиска наиболее рационального способа переработки изношенных автомобильных шин в работе был проведен литературный анализ существующих на сегодняшний день способов. В результате было установлено, что наиболее целесообразным как с экономической, так и с экологической точки зрения способом переработки автомобильных шин является механическая переработка, в результате которой получается товарный продукт - резиновая крошка. Производство резиновой крошки востребовано на рынке и пригодно для использования в различных производственных сферах:

- при производстве резиновых блочных изделий (резиновая брусчатка, маты, сегменты, резиновые коврики, РТИ), методом горячего формования с полиуретановым связующим;

- при производстве бесшовных покрытий методом напыления резиновой крошки на полиуретановой основе (кровля, гидроизоляция, напольные покрытия);
- при производстве бесшовных покрытий методом ковровой укладки резиновых гранул с полиуретановым связующим;
- при производстве девулканизированной резины. Сырьё для производства резиновых смесей и изделий;
- при производстве резиново-битумных мастик и смесей для производства дорожного полотна;
- в качестве сорбента в нефтяной промышленности;
- наполнитель «крошка резиновая для спортивных снарядов»;
- наполнитель спортивных покрытий с искусственной травой.

В виду того, что в Томске ежегодно подлежит утилизации порядка 4500 т изношенных шин, открытие предприятия, занимающегося их переработкой, является экономически выгодным решением.

В ходе анализа оборудования, применяемого для переработки изношенных автомобильных шин механическим способом, был остановлен выбор на технологической линии Ecostep500, обеспечивающей необходимую производительность. Преимуществом линии «EcoStep 500» является её гибкость, автоматизированность, что в свою очередь требует минимальное количество персонала, а также возможность благодаря производителю линии полностью сбывать полученную продукцию. Производителем линии является Россия.

Переработка изношенных автомобильных шин в резиновую крошку является экологически безопасным производством. Выделяющаяся в процессе измельчения шин пыль, улавливается циклонами, которыми снабжена выбранная линия. При этом производство является достаточно безопасным и не требует для обслуживания большого количества работников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасова Т. Ф. Экологическое значения и решение проблемы переработки изношенных автошин / Т. Ф. Тарасова, Д. И. Чапалда // Вестник ОГУ. – Т. 2. Естественные и технические науки. – 2006. – № 2. – С. 130-135.
2. Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов : учебник [Текст] / Б. Б. Бобович. - Гриф МО. - Москва : СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 445 с.
3. Березюк А. П. Проблема отработанных автомобильных шин и их переработка // V-й Всеукраинский съезд экологов с международным участием (Экология / Ecology-2015), 23-26 сентября, 2015 Сборник научных трудов. - Винница ООО «Нилан-ЛТД», 2015. - С. 184
4. Березюк А. П. Анализ способов утилизации отработанных автомобильных шин / А. П. Березюк, В. А. Ищенко // Материалы Международной научной конференции «От завещания к сбалансированного природопользования», 20-22 марта, 2013 - Донецк 2013 . - С. 105-106.
5. Волюнкина Е.П., Кудашкина С.А., Незамаев А.В., Журавлева Н.В. Использование отработанных автомобильных покрышек / Волюнкина Е.П., Кудашкина С.А., Незамаев А.В., Журавлева Н.В. // Экология и промышленность России. - 2001. № 1. - С. 40-44.
6. Горовец В.Г. Утилизация шин. Проблема и ее аспекты / Горовец В.Г. // Автотранспортное предприятие, - 2005. № 4. - С. 40-41.
7. Иванов, К. С. Современные экологические проблемы утилизации отрабо-тавших автомобильных шин / К. С. Иванов, Т. Б. Сурикова // Материалы Между-народной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторострое-ние в России». – М. : МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 54-58.
8. Третьяков О.Б. Воздействие шин на окружающую среду и человека / О.Б Третьяков, В.А. Корнев, Л. В. Кривошеева. М.: НЕФТЕХИМПРОМ, 2006. – 154 с.

9. Иванов, К. С. Воздействие автомобильных шин на окружающую среду: приоритетные направления развития науки и технологий / К. С. Иванов, Т. Б. Су-рикова // Доклады XI Всероссийской научно-технической конференции. – Тула : Изд-во «Инновационные технологии», 2012. – С. 26-28.
10. Клищенко В.П., Пославский А.П., Сорокин В.В. Методы комплексной утилизации отработанных изделий транспортных средств из резины и резиносодержащих отходов // Прогрессивные технологии в транспортных системах. 2011. № 1. С. 135-141.
11. Булат А.Ф., Иванов В.А., Рублюк О.В. Новые подходы к решению проблемы утилизации изношенных шин. Третий Международный симпозиум „Безопасность жизнедеятельности в XXI веке”, Всеукраинский научно-технический журн. «Технополис», г. Днепрпетровск, 2003 г. —С. 39–40.
12. Кураков, П. А. К вопросу о выборе способа переработки автомобильной резины // Автотранспортное предприятие. – 2008. № 12. – С. 25 – 27.
13. Дрейер А. А. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка /А. А. Дрейер, А. Н. Сачков, К. С. Никольский, Ю. И. Маринин, А. В. Миронов. – М.: Москва. – 1997 г. – 230 с.
14. Никольский В.Г Автомобильные шины / Никольский В.Г. // Вторичные ресурсы. - 2002. №. - С. 48-51.
15. Никольский В.Г., Внукова Л.В., Вольфсон С.А., Дударева Т.В., Красоткина И.А. Современные технологические линии переработки изношенных автопокрышек / Никольский В.Г., Внукова Л.В., Вольфсон С.А., Дударева Т.В., Красоткина И.А. Институт химической физики им. Н.Н.Семенова РАН.
16. Горовец В.Г. Утилизация шин: зарубежный опыт / Горовец В.Г. // Автотранспортное предприятие. -2005.- С. 44-46.
17. Леонов В.Е., Сиворина А.Г. Утилизация автомобильных шин / В.Е. Леонов, А.Г. Сиворина // Безопасность жизнедеятельности. - 2002. -С. 30-32.

18. Старков, С. В. Анализ технологий переработки шин [Электронный ре-сурс] / С. В. Старков. – Режим доступа: <http://www.new-garbage.com/?part=27>

19. Технология «озонного ножа». Новые возможности утилизации шин [Электронный ресурс] / «ОК Tech»; Российская Федерация. – Режим доступа: [http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/9bb/Ok\\_tech.pdf](http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/9bb/Ok_tech.pdf)

20. Касаткин, М. М. Проблемы переработки амортизованных автомобиль-ных (авиационных) шин и отходов резины / М. М. Касаткин. – М. : Изд-во «Сиг-налЪ», 2000. – 56 с.

21. Чуенко А. И. деструкция цельнолитых резиновых шин микроскопическими грибами / А. И. Чуенко, А. Суббота, Н.М. Жданова / Микробиологический журнал. - Том 72, №5. - 2010. - С. 30-35.

22. Колхир, К. Ф. Промышленные методы дробления изношенных покрышек с применением вальцовочных машин / К. Ф. Колхир, И. А. Шохин, С. А. Вильниц // Производство шин, РТИ и АТИ. / ЦНИИТЭ нефтехим. – 1969. – №3. – С. 18-19.

23 Колхир, К. Ф. Промышленные методы дробления изношенных покрышек с помощью дисковых мельниц и роторных машин / К. Ф. Колхир, И. А. Шохин, С. А. Вильниц // Производство шин, РТИ и АТИ. / ЦНИИТЭ нефтехим. – 1969. – №4. – С. 11-13.

24. Белозеров, Н. В. Технология резины / Н. В. Белозеров. – 2-е изд. стереот. – М. : Химия, 1967. – 660 с.

25. Рашевский, Н. Д. Переработка изношенных автомобильных шин с метал-локордом / Н. Д. Рашевский, В. С. Кроник, В. А. Мороз, И. П. Неелов // Экология и промышленность России. – 2000. – №12. – С. 17-20.

26. Технология переработки покрышек в крошку [Электронный ресурс] / ООО «ГРУППА ЭКСПЛОТЭКС»; Российская Федерация. – Режим доступа: <http://explotex.ru>

27. Тарасов, В. И. Оборудование для переработки изношенных шин и измельчения вулканизатов: обзорная информация / В. И. Тарасов, И. Ф.

Щербаков, Н. Е. Кошелев, О. Н. Просветова. – М. : ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1983. – 40 с.

28. Оборудование для переработки шин в крошку [Электронный ресурс] / ООО «КамЭкоТех»; Российская Федерация. – Режим доступа: <http://ket-nkamsk.narod.ru/index.html>

29. Оборудование для завода по утилизации автомобильных покрышек [Электронный ресурс] / ООО «Турботехмаш» и ООО «Консит-А»; Российская Федерация. – Режим доступа: <http://www.consit.ru/rti.shtml>

30. Резиновая крошка. Изделия. Утилизация покрышек [Электронный ресурс] / ОАО «Тушинский машиностроительный завод»; Российская Федерация. – Режим доступа: <http://www.oao-tmz.ru/node/22>

31. Одинокова И.В. Аспекты утилизации автомобильных шин / Одинокова И.В. // Автотранспортное предприятие. - 2004. № 11. - С. 48-50.

32. Соколов А.Е. Разработка и исследование процессов и оборудования для предварительного измельчения шин, подлежащих утилизации / Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. — Ярославль, ЯГТУ, 2014. — 275 с.

33. Шашов Л.О. Мобильный комплекс по переработке отходов автомобильных покрышек и по производству резиновой тротуарной плитки / Л.О. Шашов. - Ижевск, ИГЗ УГУ, 2017. - 322-325

34. Линия по переработке шин «EcoStep 500» [Электронный ресурс] / «EcoStep»; Российская Федерация. – Режим доступа: <http://www.eco-step.ru/equioment/zavod/ecostep500>

35. ГОСТ Р 54095-2010 Ресурсосбережение. Требования к экобезопасной утилизации отработавших шин