

Мусина Елена Васильевна Студент КГУ, Курск ул. Радищева 33

E-mail: elena.ryabinina-koryagina@mail.ru

Мезенцева Екатерина Ивановна Студент КГУ, Курск ул. Радищева 33

E-mail: Mezentseva_katya5@mail.ru

Тарасова Марина Юрьевна Студент КГУ, Курск ул. Радищева 33

E-mail: marinat2003t@gmail.com

МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация: В статье рассматриваются современные методы переработки резиновых изделий, направленные на эффективное использование ресурсов и снижение экологического воздействия. Обсуждаются химические, механические, биологические и термические способы переработки, а также их преимущества и недостатки. Здесь так же рассмотрены и инновационные технологии, такие как низкомолекулярный пиролиз и биологическая переработка, анализируются экономические аспекты переработки резины и потенциальная выгода от использования вторичных материалов в производстве. Статья подчеркивает важность интеграции устойчивых практик переработки в промышленности для достижения целей по охране окружающей среды и ресурсосбережению.

Ключевые слова: Шины, покрышки, пиролиз, механическое дробление, криогенная переработка, биологическая переработка, девулканизация, мягчитель, девулканизат, водонейтральный метод, термомеханический метод, паровой метод, регенерация.

Целью работы является обзор методов переработки резины во вторичное материальное сырье.

Задачи:

1. Сделать обзор научной литературы по данной теме;
2. Познакомиться с методами переработки изношенных автомобильных шин;
3. На основе анализа полученных данных сформулировать и изложить основные методы и методики переработки изношенных автомобильных шин.

Объект исследования - изношенные автомобильные шины.

Предметом исследования является методы переработки изношенных автомобильных шин.

Резиновые изделия за счет своих уникальных свойств (в первую очередь хорошей растяжимости и эластичности) распространены во всех сферах человеческой деятельности. Ассортимент готовой продукции весьма обширен, но большая часть приходится на долю автомобильных шин, обуви и резинотехнических изделий.

В нашей стране, и в том числе в Курской области, ежегодно растет число транспортных средств, тем самым увеличивается число изношенных автомобильных шин [Иванов К.С., Сурикова Т.Б. Современные экологические и экономические проблемы утилизации отработавших автомобильных шин [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: http://www.mami.ru/science/mami145/scientific/article/s10/s10_10.pdf (дата обращения 30.03.2025)]. Автомобильные шины являются сейчас самым многотонным полимерным отходом в мире.

Данные отходы относятся к IV классу опасности, законодательство требует особых мер по их хранению и переработке. Их временное складирование возможно только на специально оборудованных площадках, которые должны соответствовать требованиям природоохранного законодательства.

По данным научно-исследовательского института, ежегодно в России образуется около 1 млн. тон отработанных автомобильных шин, перерабатывается не более 150 тысяч тонн, что составляет 15% от общего объема. Остальная часть изношенных автомобильных шин накапливается и складывается на территориях предприятий и организаций. Но это не может продолжаться вечно, так как шины объемный отход, для них нужны большие площади земель [Протасов Н.В. Проблемы жизненного пути изношенной шины // РИО Деловой Лес. -2012. – № 1 (133) - с. 49-51].

Автомобильные шины представляет большую потенциальную опасность для окружающей среды, под воздействием природных и климатических факторов они практически не разрушаются. В естественных условиях для полного разложения должно пройти не менее 100 лет. А контакт автомобильных шин с дождевыми осадками и грунтовыми водами сопровождается вымыванием токсичных органических соединений, которые в конечном результате попадают в почву.

Именно поэтому стоит «острый» экологический вопрос по утилизации и переработке во вторичное сырье автомобильных шин.

В данной работе мы рассмотрим некоторые виды и технологии по переработке автомобильных шин.

1. Низкотемпературный пиролиз автомобильных покрышек — это процесс переработки шинных отходов при помощи термического разложения в отсутствие кислорода при температуре 400–500 градусов Цельсия (рис.1).



Рисунок 1

Пиролиз автомобильных покрышек

Отработанные шины помещают в специальную реакторную камеру, где их нагревают до 400–500 градусов Цельсия. Происходит расщепление макромолекул каучука, что приводит к образованию газов и жидких углеводородов, которые в дальнейшем конденсируются. Эти 2 вещества можно использовать как топливо или как химическое сырье [Иванов К. С., Сурикова Т. Б. Использование и переработка отработавших шин. Доклады Всероссийской

научно-технической конференции Современные проблемы экологии / Тула.: Инновационные технологии, 2009.].

Преимущества метода:

1. Не требуется разделение покрышки на отдельные компоненты;
2. В процессе не образуется вторичных отходов;
3. В отличие от сжигания покрышек, в процессе низкотемпературного пиролиза не выделяются вредные вещества, такие как диоксины;
4. Использование полученного топлива и химического сырья является экономически выгодным и позволяет уменьшить зависимость от нефти и других ископаемых ресурсов.

Недостатки метода:

1. Требуется значительных затрат на оборудование и энергию для поддержания оптимальных температур и давлений;
2. Процесс пиролиза может быть более эффективным только при определенных условиях, что требует большого количества научных исследований и опытных работ.

2. Механическая переработка

Механическое дробление - это самый распространённый способ переработки(рис.2).



Рисунок 2

Механическое дробление шин

Шины разделяют на части, отделяют резину от корда и измельчают на мелкие частицы при помощи механических дробилок. Это позволяет получить резиновую крошку, которая может использоваться в производстве различных изделий из резины, так же она может быть использована для укладки стадионов и дорожек в парках [Григорьев, Д. М. Федорова, Н. В. (2022). "Механическая переработка резинотехнических изделий: технологии и оборудование." *Научные труды РГУ*, 10(3), 112-120.]. Метод механического дробления шин имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества механического дробления шин:

1. **Эффективность** – быстрая переработка больших объемов резины.
2. **Многофункциональность**: Полученная резиновая крошка может использоваться в различных приложениях, таких как производство резинотехнических изделий, добавки в асфальт, спортивные покрытия, детские площадки и др.
3. **Экологичность**. Данный процесс является экологичным, так как не требует использования дополнительных химических реагентов, что снижает риск загрязнения окружающей среды.
4. **Экономичность**: Механическое дробление шин является более экономичным методом в сравнении с другими, особенно при больших объемах.

Недостатки механического дробления шин:

1. Полученная резиновая крошка может содержать примеси.
2. Механическое дробление не дает возможности восстановления качества исходного материала, как это возможно при химической переработке.
3. Процесс дробления является очень энергозатратным.
4. Оборудование для механического дробления может создавать значительный уровень шума и вибрации.
5. Проблемы с утилизацией. Дробление уменьшает объем отходов, но проблема по утилизации шин все равно остается нерешенной.

В целом, механическое дробление является важным методом в процессе переработки шин, но для достижения наилучших результатов часто требуется комбинировать его с другими методами переработки.

3. Криогенная переработка

В данном методе отработанные покрышки помещаются в камеру с жидким азотом. Под воздействием низких температур покрышка становится хрупкой и легко измельчается в мелкую крошку [Алексеев, И. В., Петров, С. Н. (2019). "Переработка резинотехнических изделий: современные методы и технологии." *Вестник науки и образования*, 3(12), 45-50.]. Далее полученная крошка используется для производства новых резиновых изделий, а также может использоваться в качестве добавки в строительные материалы.

Преимущества криогенной переработки шин:

1. **Высокое качество конечного продукта.** В процессе переработки резины данным методом используются низкие температуры, поэтому в результате получается чистая и однородная резиновая крошка.

2. **Сохранение свойств материала:** Данный метод позволяет сохранить физические и химические свойства резины.

3. **Экологичность.** В процессе криогенирования происходит меньшее образование пыли нежели в процессе механического дробления, это снижает его негативное воздействие на окружающую среду.

Недостатки криогенной переработки шин:

1. Криогенные установки стоят очень дорого, тем самым требуя большие инвестиции в оборудование и технологии.

2. Процесс криогенной переработки требует значительного количества энергии для достижения и поддержания низких температур, а это в свою очередь повышает стоимость переработки [Сидоров, А. П., Иванова, Т. Л. (2020). "Экологические аспекты переработки отходов резины." «Журнал экологической безопасности», 5(2), 78-85.].

3. Криогенная переработка - это достаточно сложный процесс, требующий предварительной подготовки специалистов.

4. Биологическая переработка.

В данном методе для разложения отработавших шин используют различные микроорганизмы, например бактерии и грибки. Этот метод достаточно медленный и требует особых условий, таких как: высокая влажность, определённая температура. Пока данный подход находится на стадии разработки и требует дальнейших исследований [Чистякова, Н. А. Гусев, Р. М. (2023). "Технологические процессы переработки резинотехнических изделий." *Современные технологии в промышленности*, 15(1), 101-110.].

Преимущества биологической переработки шин:

1. Биологическая переработка является более экологически чистым методом по сравнению с традиционными механическими или термическими процессами, так как не требует высоких температур и не производит токсичных отходов.

2. Данный метод значительно уменьшает объемы отходов, это благоприятно способствует улучшению ситуации с утилизацией резины, что в свою очередь приводит к уменьшению загрязнения окружающей среды.

3. Микроорганизмы, которые используются в данном методе переработки, являются легковозобновляемым ресурсом, поэтому данный метод не зависит от этого критерия. Это очень важный момент в процессе переработки резины и в условиях ограниченности ресурсов.

4. Биологические процессы переработки резины являются низкоэнергозатратными, так как требуют меньше энергии в сравнении с другими методами.

5. В результате биологической переработки могут быть получены полезные продукты, такие как биомасса или биогаз [Семенова, Л. Е. Костина, А. П. (2022). "Перспективы использования вторичных материалов из резины." *Экологические исследования*, 9(3), 44-50.], которые могут быть использованы в качестве источников энергии или сырья для других процессов. То есть данный метод, помимо своей основной функции, еще позволяет создать полезный и нужный в производстве материал.

Недостатки биологической переработки шин:

1. Биологическая переработка шин - это очень долгий процесс, так как микроорганизмы требуют определенных условий, таких как: температура, влажность, уровень pH, это усложняет и удлиняет данный процесс переработки.

2. Не все виды резины поддаются биологическому разложению.

3. Управлять данным биологическим процессом очень сложно, так как для этого необходимо контролировать все факторы, которые так или иначе влияют на деятельность микроорганизмов.

4. Данный вид переработки резины несет потенциальные риски. В нем используются ГМО, что вызывает опасения по поводу его безопасности.

5. Девулканизация.

Это процесс, обратный вулканизации резины. При девулканизации серные сшивки в резине разрушаются, восстанавливая её эластичность и делая пригодной для повторного использования в производстве новых шин или других резиновых изделий [Лебедев, А. И., Смирнова, О. В. (2020). "Термическая переработка резины: методы и результаты." *Журнал химической технологии*, 6(4), 56-63.]. В процессе деполимеризации полимеры резины под воздействием химических реагентов или высоких температур разлагаются на более мелкие молекулы. Данный метод позволяет получить сырье для производства новых полимеров.

Девулканизацию резин из натурального каучука и резин из синтетического каучука проводят в разных условиях. Резина из натурального каучука, содержащая небольшое количество серы, может быть девулканизована нагреванием без добавления мягчителя. При регенерации резин из натрий-бутадиеновых каучуков, склонных к структурированию и обладающих пониженным содержанием двойных связей в главных цепях, необходимо применять большое количество мягчителей.

Для успешного проведения девулканизации резин из синтетических каучуков требуется более тонкое измельчение резин. Это увеличивает поверхность взаимодействия с мягчителями. Благоприятное влияние на

девулканизацию этих каучуков оказывает также снижение температуры и уменьшение времени нагревания при девулканизации, что приводит к замедлению структурирования каучука. Длительное нагревание может оказать вредное влияние на пластичность регенерата из синтетического каучука. Роль мягчителей при девулканизации сводится к тому, что молекулы мягчителей каучука увеличивают межмолекулярные расстояния и уменьшают межмолекулярные взаимодействия в каучуке, тем самым уменьшают вероятность процесса структурирования; подвижность отдельных элементов структуры при этом увеличивается.

Мягчители не только участвуют в процессе регенерации, но и входят в состав регенерата, повышая его пластичность. Кроме того, непредельные соединения, содержащиеся в мягчителях, могут взаимодействовать как со свободной серой, содержащейся в вулканизате, так и с серой, выделяющейся при тепловой обработке при распаде полисульфидных связей. Благодаря этому уменьшается возможность структурирования каучука. В присутствии мягчителей, имеющих в своем составе непредельные соединения, склонных к окислению или образованию перекисей, происходит окисление мягчителя и вулканизата. Такие мягчители в условиях регенерации образуют нестойкие перекисные соединения, распадающиеся на радикалы, которые инициируют окислительную деструкцию вулканизированного каучука. [Механизм процесса девулканизации РТИ [Электронный ресурс]. — URL: http://www.domrezin.ru/articles_15.html.]

Существует три основных метода девулканизации:

- водонейтральный,
- термомеханический,
- паровой.

При водонейтральном методе девулканизация резиновой крошки размером 2,5–3,5 мм ведётся в вертикальных автоклавах при избытке жидкой фазы. В них резиновая пульпа с добавлением 25–30 % мягчителя непрерывно перемешивается мешалкой. Процесс проводится в две стадии: на первой резина

набухает в мягчителях 1,0–1,5 ч при 80–150 °С, на второй температура поднимается до 180±5 °С, создаётся давление порядка 1,1 Мпа, девулканизация продолжается еще 4–5 ч для резиновых отходов, не содержащих текстиль, и 5–8 ч для отходов с кордным волокном. По окончании процесса девулканизат направляется на обезвоживание. Водонейтральный метод образует большое количество загрязненных стоков, подлежащих очистке [11].

Термомеханический метод предпочтительнее вследствие своей непрерывности, полной механизации, автоматизации, непродолжительности. При этом не образуются сточные воды, что также снижает стоимость регенерации. Однако в данном способе необходимо четкое соблюдение технологических параметров. При термомеханическом методе (рис. 3) используется крошка размером не более 0,8 мм при содержании текстильных волокон не менее 5 %. Она непрерывно подаётся в смеситель, где смешивается с мягчителем и активатором. В тонком зазоре между шнеком и корпусом она частично девулканизируется. Средняя длительность пребывания резины в смесителе составляет не более 7 минут. Температура выходящего продукта не должна превышать 190 °С, для чего корпус смесителя охлаждается водой. При последующем прохождении через червячный девулканизатор продукт охлаждается до температуры 70–80 °С и в таком виде поступает на два рафинировочных вальца, где ему придается товарный вид: пленка, свернутая в рулон массой до 75 кг с толщиной полотна не более 25 мм. Происходит гомогенизация регенерата, окончательное его обезвоживание, очищение от посторонних включений и недостаточно деструктурированных частиц резины. [Отходы шинной промышленности. [Электронный ресурс]. — URL: <http://megalektsii.ru/s63828t3.html>.]

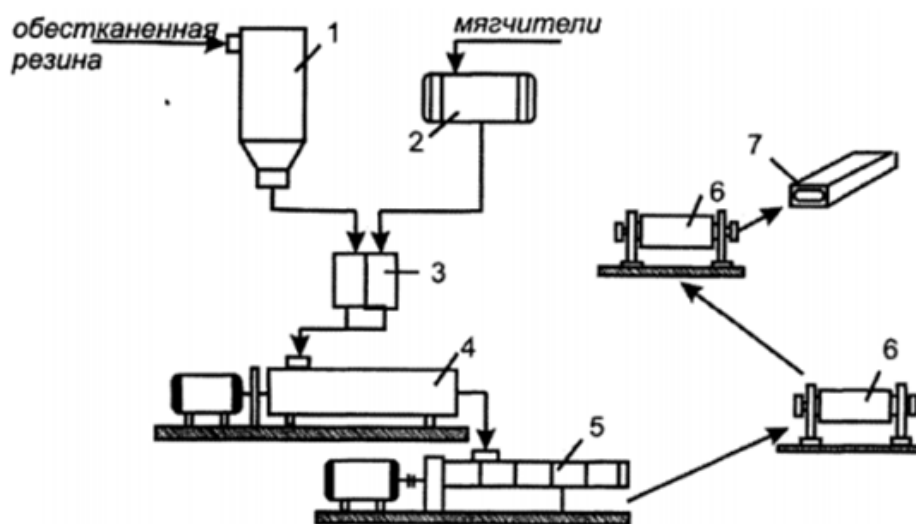


Рисунок 3. Схема производства регенерата термомеханическим методом: 1 — бункер для резины; 2 — емкость для мягчителя; 3 — дозаторы; 4 — смесители; 5 — червячный девулканизатор; 6 — рафинировочные вальцы; 7 — конечный продукт.

При паровом методе дозированные пропорции обестканенной резиновой крошки смешивают с мягчителями, загружают в девулканизационный котёл, где обрабатывают острым паром под давлением 0,8–1,0 МПа при температуре 175–185 С в течение 708 ч (для шинной резины). Полученный путем такой обработки девулканизат последовательно перерабатывают на вальцах и пропускают через червячный фильтр-пресс. Окончательную обработку резиновой массы с выдачей готового продукта (регенерата) проводят на выпускных рафинировочных вальцах. Основным недостатком парового метода является отсутствие перемешивания девулканизируемой массы. Это главная причина неоднородности регенерата.

Значительно более качественный регенерат получают водонейтральным методом, но технически наиболее совершенным методом регенерации резины является термомеханический, позволяющий значительно ускорить технологический процесс, сделав его непрерывным, и обеспечить снижение себестоимости регенерата за счет максимальной механизации и автоматизации производства.

Переработка резины – важное направление в борьбе с экологическими проблемами и ресурсосбережении. Наиболее перспективными методами являются пиролиз и механическое дробление, но развитие технологий девулканизации и криогенной переработки может повысить эффективность утилизации. Дальнейшее развитие этой отрасли требует создания эффективной системы сбора и подготовки шин и стимулирования спроса на вторичное сырьё. Внедрение комплексных программ переработки поможет снизить объемы захоронения резиновых отходов и получить экономическую выгоду.

Список литературы

1. Иванов К.С., Сурикова Т.Б. Современные экологические и экономические проблемы утилизации отработавших автомобильных шин [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: http://www.mami.ru/science/mami145/scientific/article/s10/s10_10.pdf (дата обращения 30.03.2025).
2. Протасов Н.В. Проблемы жизненного пути изношенной шины // РИО Деловой Лес. -2012. – № 1 (133) - с. 49-51
3. Иванов К. С., Сурикова Т. Б. Использование и переработка отработавших шин. Доклады Всероссийской научно-технической конференции Современные проблемы экологии / Тула.: Инновационные технологии, 2009.
4. Григорьев, Д. М. Федорова, Н. В. (2022). "Механическая переработка резинотехнических изделий: технологии и оборудование." *Научные труды РГУ*, 10(3), 112-120.
5. Алексеев, И. В., Петров, С. Н. (2019). "Переработка резинотехнических изделий: современные методы и технологии." *Вестник науки и образования*, 3(12), 45-50.
6. Сидоров, А. П., Иванова, Т. Л. (2020). "Экологические аспекты переработки отходов резины." «Журнал экологической безопасности», 5(2), 78-85.

7. Чистякова, Н. А. Гусев, Р. М. (2023). "Технологические процессы переработки резинотехнических изделий." *Современные технологии в промышленности*, 15(1), 101-110.
8. Семенова, Л. Е. Костина, А. П. (2022). "Перспективы использования вторичных материалов из резины." *Экологические исследования*, 9(3), 44-50.
9. Лебедев, А. И., Смирнова, О. В. (2020). "Термическая переработка резины: методы и результаты." *Журнал химической технологии*, 6(4), 56-63.
10. Механизм процесса девулканизации РТИ [Электронный ресурс]. — URL: http://www.domrezin.ru/articles_15.html.
11. Отходы шинной промышленности. [Электронный ресурс]. — URL: <http://megalektsii.ru/s63828t3.html>.