

Лапин М.А., студент гр. ЭМУР-20м (ЯГТУ)

Научный руководитель: Несиоловская Т.Н., д-р тех. наук, проф.  
(ЯГТУ)  
г. Ярославль

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ- МЕНЕНИЯ ПИРОЛИЗА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ ШИН**

Вопрос утилизации изношенных автомобильных покрышек стал актуальной проблемой уже давно. Причина кроется в свойствах резины: она легко воспламеняется и практически не подвержена естественному биоразложению. Это приводит к накоплению огромных объемов старых шин на полигонах, которые на протяжении десятилетий загрязняют окружающую среду, отравляя почву и грунтовые воды продуктами своего распада. Малейшая искра может спровоцировать пожар, выбрасывающий в атмосферу густой черный дым, содержащий мощные канцерогены и другие вещества, губительные для всего живого.

В области утилизации исторически сложились три основных подхода:

- восстановление ценных компонентов: в первую очередь, предполагается повторное использование и переработка ценных материалов из отходов в качестве вторичного сырья;

- использование в качестве энергетического ресурса: если повторная переработка невозможна, отходы могут быть использованы в качестве альтернативного источника энергии;

- полигонное захоронение: в случаях, когда предыдущие варианты неприемлемы, отходы подлежат захоронению на специально отведенных полигонах.

Основным сырьем для изготовления автомобильных шин служит синтетический каучук, который получают из нефти. Повторное использование резины из отработанных шин является важным шагом к сохранению невозобновляемых природных ресурсов. Процесс утилизации резиновых отходов также способствует развитию инновационных технологий, направленных на экономию ресурсов, уменьшает нагрузку на полигоны и положительно влияет на экологическую обстановку [1].

Продукты, полученные в результате переработки старых покрышек, находят широкое применение в производстве новой продукции. Среди них: новые автомобильные шины, разнообразные резинотехнические изделия, материалы для гидроизоляции, подошвы для обуви, тротуарная плитка и бордюры, а также покрытия из резиновой крошки. Наиболее эффективным методом утилизации старых автопокрышек признано их дробление, которое позволяет разделить изделие на составляющие: резину, металл и текстиль. Каждый из этих компонентов является ценным вторичным сырьем, пригодным для дальнейшей переработки.

Переработка старых шин путем их измельчения в резиновую крошку является одновременно экологически ответственным решением и перспективным направлением для бизнеса, приносящим значительную прибыль. В результате процесса производства образуются три ценных компонента: резиновая крошка, металлические частицы и кордовая нить. Ключевым достоинством этого метода является сохранение исходных физико-химических характеристик резины. Однако, механическое измельчение шин с применением режущего оборудования требует значительных энергозатрат (600-800 кВтч/тонну). Даже при попытке оптимизировать энергопотребление, существенная экономия затруднительна из-за высоких расходов на техническое обслуживание и ремонт режущего инструмента [2].

Следует отметить, что механическое измельчение шин не позволяет обеспечить полную сепарацию металлического корда. Это препятствует его последующей переработке, в результате чего металлический корд утилизируется как обычный металлом [3].

Главные экологические трудности при изготовлении резиновой крошки возникают из-за того, что мелкие частицы текстильного корда не удается полностью собрать. В результате в воздух попадает пыль, которая содержит вредные вещества [5].

Представьте, что вы хотите получить тепло, сжигая старые покрышки. По количеству выделяемого тепла это похоже на сжигание тонны угля. Но вот в чем загвоздка: чтобы сделать одну покрышку, тратится огромное количество энергии – как будто вы использовали 40 литров нефти. А когда вы ее сжигаете, получаете тепло, эквивалентное всего 10 литрам природного топлива. Получается, что мы тратим гораздо больше, чем получаем.

Чтобы процесс был хоть сколько-нибудь безопасным, шины нужно сжигать при очень высокой температуре – минимум 1900 градусов. Если температура ниже, образуются ядовитые диоксины, что очень вредно для природы. К тому же, само горение шин – процесс неидеальный. Температура постоянно скачет, и шины не сгорают полностью. И, конечно, все знают, что такое сжигание сильно вредит климату, усиливая парниковый эффект. На каждую тонну сожженных шин приходится около 3.700 килограммов углекислого газа [4].

Одним из способов утилизации отслуживших автомобильных шин является пиролиз, или термическое разложение. Этот метод заключается в нагреве резины до очень высоких температур, при этом процесс протекает либо с ограниченной подачей воздуха, либо вовсе без него. В результате такого высокотемпературного воздействия резиновая составляющая шин распадается. Основная цель пиролиза – извлечение из каучука ценного топлива для печей. Помимо газообразных продуктов, в ходе термического разложения резины образуются жидкие и смолистые углеводородные фракции. Кроме того, пиролиз изношенных шин позволяет получить ценные компоненты, востребованные в различных промышленных сферах. Например, пиролизное масло может служить как топливом, так и сырьем для химической промышленности. Технический углерод, получаемый в процессе пиролиза, может быть использован для производства новых шин или других изделий из резины [1,6].

На фоне неуклонного роста автомобильного парка остро встает проблема утилизации и переработки отработанной резины. Мировые лидеры вынуждены искать решения, поскольку объемы этого вида отходов растут экспоненциально. Только в Европе ежегодно более 2 миллионов тонн изношенных шин отправляются на свалки. При этом лишь малая часть – около 10% – подвергается измельчению, 20% находит применение в качестве топлива, а подавляющее большинство просто захоранивается. В России эта проблема стоит еще более остро. По данным НИИ шинной промышленности, ежегодно из эксплуатации выходит около миллиона тонн шин, а в одной только Москве их образуется до 60 тысяч тонн. Переработка этого материала на специализированных предприятиях крайне мала – менее 17%, а еще до 20% изношенных шин сжигается [7].

Европейская Ассоциация по вторичной переработке шин (ETRA) сообщает, что в Европе ежегодно накапливается более 2 миллионов тонн изношенных автомобильных шин. Метод пиролиза используется для переработки лишь незначительной части этого объема, не превышающей 10% [8].

По данным на 2023 год, порядка 15 % всех образующихся отходов шин в РФ перерабатываются методом пиролиза. При этом в удаленных регионах, например, в Кузбассе, порядка 40 % шин перерабатываются этим методом [9].

Отработанные шины очень специфичны, не подвержены гниению и саморазрушению, занимают полезные площади, загрязняют почву и грунтовые воды. В то же время изношенные шины представляют огромную значимость как источник ценнего вторичного сырья.

Цель статьи заключается в анализе экологических и экономических аспектов применения пиролиза для утилизации изношенных шин, с акцентом на оценку его эффективности как способа снижения негативного воздействия на окружающую среду и создания новых экономических возможностей. Рассмотрение технологий пиролиза позволит выявить преимущества этого метода в сравнении с традиционными способами утилизации, а также определить его потенциал для решения проблемы накопления отходов и получения полезных ресурсов.

Старые автомобильные покрышки обладают уникальными свойствами: они устойчивы к разложению и самопроизвольному разрушению, занимают ценные территории и представляют угрозу для экосистемы, загрязняя почву и водоносные горизонты. Однако, несмотря на эти негативные аспекты, изношенные шины являются значительным источником ценнего вторичного сырья. Современные исследования направлены на их переработку методом пиролиза – термического разложения. Этот процесс позволяет получить газ, мазут и углеродистый остаток, который может быть использован для производства брикетированного топлива [10].

Пиролиз, также известный как термическая деструкция, представляет собой термохимический процесс, в ходе которого высокомолекулярные полимеры и определенные неорганические соединения подвергаются разложению с образованием низкомолекулярных веществ. В контексте утилизации автомобильных шин, их резиновая основа, состоящая из полимеров, при нагревании до температур от +200 до +900°C распадается без участия окислителя. Отсутствие кислорода в реакционной зоне пиролиза предотвращает обычное сгорание

отработанных шин, трансформируя их в углеводородные фракции: жидкие, твердые и газообразные. Конечным продуктом процесса является синтетическая нефть, или пиролизное масло, характеризующееся физико-химическими свойствами, практически идентичными природной нефти. Фракционная перегонка данного синтетического сырья позволяет получать широкий спектр моторных топлив и смазочных материалов, включая бензин, дизельное топливо и машинное масло [11].

Ключевым узлом установки для пиролиза является реторта, где происходит основная переработка автомобильных покрышек. Перед подачей в реторту, где происходит термическое разложение полимеров, шины предварительно измельчают. Сам процесс пиролиза включает четыре стадии:

**Сушка:** Измельченное сырье нагревается до примерно +200°C для удаления влаги.

**Деструкция:** На этом основном этапе, при температуре до +450°C, резина распадается на базовые углеводородные соединения.

**Сжигание:** Образовавшиеся в результате распада углерод и смолистый газ окисляются при температуре около +100°C.

**Восстановление (редукция):** Полученный в процессе пиролиза газ конденсируется, фильтруется и используется как топливо для поддержания температурного режима установки. Излишки газа сливаются как готовый продукт, пригодный для дальнейшей переработки или использования в качестве доступного энергоресурса.

Твердый остаток после пиролиза сортируется для извлечения металлического корда и других ценных компонентов. Вода, образующаяся в процессе переработки шин (как в жидком, так и в газообразном виде), повторно используется для обеспечения работы пиролизной установки [11].

Вот переписанные преимущества пиролизной переработки другими словами:

**Экологические преимущества:**

**Чистота воздуха и воды:** Пиролиз шин – это экологически чистый процесс, который не производит вредных выбросов в атмосферу и не загрязняет водоемы или почву. Термическое разложение происходит в герметичной камере, исключая выход опасных веществ.

**Отсутствие вредных веществ:** В процессе пиролиза не используются органические растворители, не образуются сточные воды и озоноразрушающие соединения. Дымовые газы очищаются с высокой эффективностью (до 99,9%).

**Безопасные остатки:** Зола, остающаяся после переработки шин, не представляет экологической угрозы, так как не содержит токсичных веществ. Более того, ее можно использовать как топливо для самой установки.

**Безопасность для окружающей среды:** благодаря отсутствию выбросов, пиролизные установки безопасны для близлежащих населенных пунктов и могут располагаться даже в черте города.

**Экономические и производственные преимущества:**

**Энергетическая независимость:** Пиролиз шин обеспечивает энергетическую автономность. Установка сама себя обеспечивает топливом для поддержания процесса, минимизируя потребность во внешних источниках энергии.

**Производство ценных материалов:** Основной источник прибыли от пиролиза шин – это получение ценных продуктов: топлива, смазочных материалов, бензола, этилена, бутадиена, пропилена, метана, ацетилена и других углеводородов, которые служат сырьем для химической и полимерной промышленности.

**Низкая себестоимость и высокая рентабельность:** Сочетание низких энерго- и трудозатрат, а также высокая безопасность процесса и отсутствие необходимости в строгих мерах охраны труда делают продукцию пиролиза очень дешевой. Это значительно повышает прибыльность всего производства.

**Высокий выход ценных продуктов:** при переработке изношенных шин методом пиролиза получается значительный объем полезных продуктов:

Газ: 4,8–7,9%

Жидкость (топливо/сырье): 41,7–59,2%

Технический углерод: 18,9–39,5%

Металлокорд: 12% [13].

Несмотря на то, что существуют существенные возможности роста, рынок пиролиза также сталкивается с некоторыми проблемами. Одной из основных проблем является сложная регуляторная среда в области технологии управления отходами. Различные страны и регионы имеют различные политики, стандарты и сертификаты, которые могут создать осложнения для компаний, стремящихся расширяться во всем мире. Соблюдение этих правил может быть дорогостоящим и трудоемким. Кроме того, рынок остается сильно зависимым от стоимости и доступности сырья, и меняется с колебаниями цены на шины. Существуют также сведения о воздействии самого процесса пиролиза на окружающую среду, особенно в отношении управления побочными продуктами, такими как выбросы газа. По мере развития технологии пиролиза, по-видимому, потребуется решать эти проблемы. Несмотря на это, рынок продолжает демонстрировать устойчивость спроса на экологически чистые решения для утилизации изношенных шин, что дает возможность ослабить некоторые из этих барьеров [14].

## Список литературы

1. ООО «Резком Каверс». Способы переработки шин — преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rezcom.ru/stati/sposoby-pererabotki-shin-preimushchestva-i-nedostatki/>
2. Рязанцев А.К. Разработка технологического комплекса по переработке и вторичному использованию резинотехнических отходов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/560/1/Рязанцев%20А.К.\\_ЗОСб\\_1101.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/560/1/Рязанцев%20А.К._ЗОСб_1101.pdf)
3. Сущеня Р.В. Современные способы утилизации автомобильных покрышек и их особенности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.вестник-науки.рф/article/8894>
4. Equipnet.ru. Переработка твердых отходов. Часть 1 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://www.equipnet.ru/articles/other/other\\_174.html](https://www.equipnet.ru/articles/other/other_174.html)
5. Упоров Д.А. Экологические аспекты переработки автомобильных шин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74200/1/sueb\\_2018\\_038.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74200/1/sueb_2018_038.pdf)
6. SK-R. Переработка Изношенных Автомобильных Шин: Современные методы и Технологии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sk-r.ru/articles/rti/recycling-worn-out-car-tires-main-directions/>
7. Шулдякова К. А. Утилизация изношенных автомобильных шин в России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/130/35973>
8. Оксюк О.П. Проблемы переработки автомобильных и авиационных шин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://masters.donntu.ru/2011/feht/mironsky/library/article3.htm>
9. clever-recycling.ru. Будущее пиролизных технологий зависит от РОП [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://clever-recycling.ru/tpost/3lru2yil01-buduschee-piroliznih-tehnologii-zavist>
10. Степаненко А. Покрышки, лед и навоз: из чего делают экологичное топливо в России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/cmmr/657b24a69a79475f815d50c1>
11. Pyroliz.ru, Пиролиз шин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://pyroliz.ru/blog/pererabotka-shin-v-kroshku-piroliz-1>
12. Елкова М.А. Разработка проекта технологической линии комплексной переработки изношенных автомобильных шин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/47418/1/TPU532084.pdf>
13. Упоров Д.А. Эколого-экономическое обоснование проекта переработки резинотехнических изделий шин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/77654/1/m\\_th\\_d.a.uporov\\_2019.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/77654/1/m_th_d.a.uporov_2019.pdf)
14. Verified Market Reports. Рынок пиролиза отходов шин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/waste-tyre-pyrolysis-plant-market/>

Информация об авторах:

Лапин Максим Александрович, студент гр. ЭМУР-20м, ЯГТУ, Московский проспект, 88, г. Ярославль, 150023, Россия, [maks.lapin.03@inbox.ru](mailto:maks.lapin.03@inbox.ru)

Несиоловская Татьяна Николаевна, д.т.н., профессор, ЯГТУ, Московский проспект, 88, г. Ярославль, 150023, Россия, [nesiolovskayatn@ystu.ru](mailto:nesiolovskayatn@ystu.ru)