

**ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ШИН: ОТ «ЧЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ»
К «ЧЕРНОМУ ЗОЛОТУ»**

Янушкевич Е. Л., Куприянчик И. В., студенты

Научный руководитель Клясова Ю. В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

Статья исследует утилизацию шин («черное загрязнение»). Рассмотрен мировой опыт и методы переработки: механический, сжигание и пиролиз. Пиролиз признан оптимальным для экономики замкнутого цикла. Проанализированы барьеры отрасли и предложены пути превращения отходов в ценное вторичное сырье.

Ключевые слова

Переработка шин, черное загрязнение, пиролиз, технический углерод, экономика замкнутого цикла, утилизация отходов, экология, вторичные ресурсы, термическая переработка.

Введение:

Ежегодно в мире образуется более миллиарда отработанных автомобильных шин. Этот объем продолжает неуклонно расти вместе с глобальным парком автомобилей. Китай, являясь мировым лидером по производству и потреблению автомобилей, столкнулся с этой проблемой особенно остро: в 2021 году в стране образовалось около 3,3 миллиарда отработанных шин, и лишь 65% из них были собраны для переработки. Остальные миллионы тонн резины скапливаются на свалках, незаконных полигонах или сжигаются, нанося непоправимый вред окружающей среде.

Отработанные шины не зря называют «черным загрязнением». Они занимают огромные площади, практически не разлагаются в естественных условиях (срок разложения оценивается в 100–150 лет), служат идеальным местом размножения грызунов и насекомых — переносчиков заболеваний, а также являются пожароопасными. При возгорании шины выделяют в атмосферу огромное количество канцерогенных веществ и тяжелых металлов, таких как бензопирен, сажа, оксиды серы[1].

Однако парадокс шины заключается в том, что это ценный вторичный ресурс. Высокое содержание углеводов (каучук, масла) и металлокорда делает её источником энергии и вторичного сырья. Поиск эффективных, экономически выгодных и экологически безопасных технологий превращения «черного загрязнения» в «черное золото» стал глобальным вызовом и целью для ученых и промышленников по всему миру. Данная статья рассматривает современное состояние проблемы, анализирует основные технологии переработки на примере ведущих стран (Германия, Япония, Китай) и выявляет ключевые барьеры на пути к созданию устойчивой системы утилизации шин.

1. Масштабы проблемы и мировой опыт регулирования

Проблема переработки шин носит интернациональный характер, и подходы к её решению в разных странах демонстрируют как общие тенденции, так и национальные особенности.

Китай: от кустарной переработки к высокотехнологичным решениям. Китай не только крупнейший производитель, но и крупнейший потребитель шин в мире. К 2020 году ожидалось, что объем образующихся отходов превысит 20 миллионов тонн. Долгое время значительная часть этих отходов перерабатывалась кустарным способом, так называемым «масляным методом» с использованием примитивных печей. Этот метод наносил колоссальный ущерб экологии, так как не предусматривал очистки выбросов и приводил к необратимому загрязнению почвы и воздуха. Получаемые при этом масло и технический углерод имели низкое качество. Осознавая эту проблему, китайское правительство включило переработку шин в разряд стратегических задач. Министерство науки и технологий КНР профинансировало проект по созданию технологии эффективного пиролиза отслуживших шин.

Германия: строгое законодательство и развитая инфраструктура. Германия, как родоначальник европейской автомобильной промышленности, создала одну из самых эффективных систем обращения с отходами. Ключевым элементом является законодательство. Еще в 1994 году был принят закон «О замкнутой экономике и отходах», который установил ответственность производителя за весь жизненный цикл продукта. В Германии запрещено захоронение шин на свалках. Шины классифицируются как особый вид отходов, которые нельзя выбрасывать в обычные контейнеры. Их сдают в пункты приема, часто при автосервисах или шиномонтажных мастерских, при этом потребитель оплачивает стоимость утилизации. Это создает стабильный и прозрачный финансовый поток для предприятий-переработчиков. Примером высокотехнологичного подхода служит завод компании Genap в городе Оренбург, который ежегодно перерабатывает 65 000 тонн шин в высокочистую резиновую крошку, используемую для производства спортивных покрытий, асфальта и новых шин. Эта механическая переработка позволяет извлечь 75% резины, 15% металла и 10% текстильного волокна[2].

Япония: комплексный подход и поиск новых технологий. Япония, страна с ограниченными ресурсами и высоким уровнем экологического сознания, демонстрирует практически 100%- уровень утилизации шин. Ключевым фактором является отлаженная система сбора через сеть станций техобслуживания, автосалонов и компаний по утилизации автомобилей. Японские производители шин (Bridgestone, Yokohama) активно участвуют в процессе, имея дочерние предприятия по восстановлению протектора.

Структура утилизации в Японии диверсифицирована: около 55% шин сжигается для получения тепла (в цементной, бумажной и сталелитейной промышленности), 17% идет на восстановление, 12% перерабатывается в резиновую крошку или регенерат, и около 7% используется в строительстве. Однако японские эксперты считают, что будущее за термическим разложением (пиролизом), как наиболее полным и ценным методом переработки.

2. Технологии переработки: от простого к сложному

Существующие методы утилизации шин можно разделить на две большие группы: механическая переработка (физические методы) и термическая переработка (химические методы и энергоутилизация).

2.1. Механическая переработка: измельчение и восстановление

Восстановление протектора: Это наиболее ресурсосберегающий способ, позволяющий продлить срок службы шины на 30-50%. Он требует наличия качественного каркаса и применяется в основном для грузовых шин. В Японии, например, этим занимаются специализированные заводы, выпускающие продукцию под маркой ведущих брендов.

Измельчение в крошку: Шины проходят многоступенчатое дробление с последующим магнитным разделением для извлечения металлокорда и воздушной сепарацией для отделения текстильного волокна. Примером высокотехнологичного процесса такого типа является завод Genap в Германии. Недостатком метода является то, что качество получаемой резины ниже, чем у первичного сырья, что ограничивает её применение в производстве новых шин.

2.2. Термическая переработка: энергия и сырьё

Термические методы позволяют переработать те шины, которые непригодны для механической переработки (например, легковые шины с высоким содержанием синтетического каучука). Они делятся на два основных типа: сжигание и пиролиз.

· Сжигание: Шины имеют высокую теплотворную способность (около 36 МДж/кг), сравнимую с качественным углем. Поэтому их используют в качестве альтернативного топлива в цементных печах, на ТЭЦ и в промышленных котельных. Однако, как указывается в исследовании, простое сжигание (мусоросжигательные заводы) неэффективно, сопровождается выбросами токсичных веществ (диоксины, фураны, SOx, NOx) и не решает проблему полной утилизации ресурса, превращая шины в золу и шлак.

· Пиролиз: На сегодняшний день пиролиз считается наиболее перспективной и экологически чистой технологией глубокой переработки шин. Это процесс термического разложения резины в бескислородной среде (или с ограниченным доступом кислорода) при температурах от 400 до 900°C.

В отличие от сжигания, пиролиз позволяет получить не просто тепло, а ценные продукты:

- Жидкая фракция (пиролизное масло): 40-55% от массы. Это сложная смесь углеводородов, которую можно использовать как котельное топливо или после очистки и перегонки получать фракции, близкие к бензину и дизельному топливу.

- Твердый остаток (пиролизный углерод / техуглерод): 30-40% от массы. Этот продукт является главной ценностью процесса. После модификации и очистки от золы он может заменять первичный технический углерод (сажу), получаемый из нефти, в производстве новых шин, резинотехнических изделий, пластиков и красок. Достижение высокого качества восстановленного техуглерода (rCB) — ключевая технологическая задача[3].

- Газообразная фракция: 10-15% от массы. Состоит из водорода, метана и других горючих газов. Он имеет высокую теплотворную способность и полностью сжигается для поддержания самого процесса пиролиза, что делает его энергонезависимым.

3. Препятствия и перспективы развития отрасли

Несмотря на очевидные успехи и высокий потенциал, индустрия переработки шин, особенно в Китае и странах с развивающейся экономикой, сталкивается с рядом серьезных проблем.

3.1. Технологические проблемы

1. Качество вторичного технического углерода (rCB): Главная проблема пиролиза. Техуглерод, получаемый при пиролизе, содержит примеси золы (до 10-15%) и кокса, а его структура и химия поверхности отличаются от первичных марок. Это делает его пригодным лишь для низкокачественных применений. Для использования в производстве новых шин необходимы сложные и дорогие стадии пост-обработки (активация, измельчение, грануляция)[4].

2. Загрязнение продуктов: Пиролизное масло содержит серу (из вулканизаторов, входящих в состав шин) и может содержать полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), что требует его дополнительной очистки перед использованием. Пиролизный газ требует очистки от сероводорода и других примесей при сжигании.

3.2. Организационные и управленческие проблемы

1. Несовершенная система сбора: В Китае, по данным на 2021 год, сбором охвачено лишь 65% отработанных шин. Огромная их часть оседает на свалках или уходит в теневой сектор кустарной переработки.

2. Нелегальная переработка («масляный метод»): Этот сектор, существующий благодаря низкой себестоимости и уходу от налогов, создает неравные конкурентные условия для легальных, экологически чистых

предприятий, таких как завод Doublestar. Он также дискредитирует саму идею переработки в глазах общественности из-за чудовищного загрязнения окружающей среды.

Заключение

Проблема переработки отработанных шин — это сложный, но решаемый вызов. Мировой опыт, в частности Германии с ее законодательной базой и Японии с ее системой сбора, показывает направление движения. Технологическим же ответом на этот вызов является пиролиз, который позволяет превратить вредные отходы в источник ценного сырья: масла, газа и, что самое важное, технического углерода, способного замкнуть цикл производства шин.

Литература:

1. Бобович, Б. Б. Утилизация и переработка изношенных автопокрышек : учебное пособие / Б. Б. Бобович. – Москва : МГИУ, 2011. – 128 с.
2. Вайсман, Я. И. Управление отходами. Изношенные шины : монография / Я. И. Вайсман, Г. В. Ильиных. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 184 с.
3. Вольфсон, С. И. Методы переработки изношенных шин и резинотехнических изделий / С. И. Вольфсон, И. С. Фафурин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 14. – С. 132–136.
4. Дроздов, А. Н. Технологии переработки изношенных автомобильных шин / А. Н. Дроздов // Твердые бытовые отходы. – 2020. – № 5. – С. 22–27.