

УДК 629.3.027.5.002.8

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

**В.Е. Олишевская**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства  
Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [olishevskiyg@mail.ru](mailto:olishevskiyg@mail.ru)

**В.А. Федоскин**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства  
Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

**А.А. Цапля**, студент группы АМГ 13-2  
Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

**Аннотация.** Проведен анализ основных технологических процессов переработки изношенных автомобильных шин, который позволяет корректно формулировать требования, предъявляемые к качеству продуктов переработки, и выполнять выбор экономически и экологически перспективных технологий утилизации шин.

*Ключевые слова:* автомобильная шина, тепловые технологии переработки шин, криогенные технологии переработки шин.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES OF PROCESSING OF MOTOR-CAR TIRES

**V.E. Olishavska**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Automobiles and Automobile Economy Department  
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [olishevskiyg@mail.ru](mailto:olishevskiyg@mail.ru)

**V.O. Fedoskin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Automobiles and Automobile Economy Department  
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

**A.A. Tsaplya**, Student  
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

**Abstract.** The analysis of basic technological processes of processing of threadbare motor-car tires is conducted. The analysis allows to formulate correctly the requirements produced to quality of processing products and to execute the choice economic and ecologically perspective of technologies of utilization of tires.

*Key words: motor-car tire, thermal technologies of processing of tires.*

**Введение.** Одной из глобальных проблем современности является утилизация изношенных автомобильных шин. Сегодня ежегодной утилизации требует около 800 миллионов шин, и эта цифра постоянно растет с учетом увеличения количества производства автомобилей. Изношенные шины извлекаются из экономического оборота, что делает не возможным их переработку и приводит к потере ценного сырья. Кроме того, огромное количество изношенных шин является источником длительного и устойчивого биохимического загрязнения окружающей среды и создает опасность возникновения пожаров. Поэтому утилизация изношенных автомобильных шин является актуальной и важной проблемой, требующей комплексного решения.

**Цель работы.** Выбор и обоснование конкурентоспособной технологии переработки автомобильных шин на основе сравнительного анализа.

**Связь работы с научными и учебными программами кафедры.** Работа выполнена в соответствии с учебной программой подготовки специалистов по специальности “Автомобили и автомобильное хозяйство”.

**Материал и результаты исследований.** Вопросам утилизации резинотехнических отходов уделялось и уделяется большое внимание в теоретических и экспериментальных исследованиях. Среди ученых можно назвать такие имена, как Вольфсон С.А., Добряков Н.Д., Белозеров Н.В., Ефремов В.С., Лепетов В.А., Иванова В.Н., Рагулин В.В., Малкин Х.Э., Бысрыгин В.В., Дуденков В.Ф., Карпов С.Н., Кротков Л.Н., Кошелев В.В., Ищенко А.А.

Анализ рынка потребления изношенных автомобильных шин на примере США показал, что сегодня 75,5 % шин используются в виде топлива, 10,2 % – в виде продуктов измельчения, 7,4 % – поставки на экспорт, 5 % – в гражданском строительстве и 1,9 % – остальные методы. В Германии перерабатывается 15 % изношенных шин, в Великобритании и Франции – по 6 %. Евросоюз поставил следующие задачи: увеличить количество перерабатываемых шин до 60 %, увеличить количество восстановленных шин – до 25...30 %, а вывоз шин на свалки прекратить.

Сегодня одним из наиболее распространенных методов утилизации шин является их использование в виде топлива [1]. Теплота сгорания шин составляет 25...35 мДж/кг, что сравнимо с теплотой сгорания каменного угля. В данном случае шины используются как материал – заменитель угля и мазута. Сжигание автомобильных шин в первую очередь осуществляется в цементной промышленности и на теплоэлектроцентралях. Данный метод утилизации шин имеет исторические причины, так как на протяжении долгих лет оставался дешевым способом получения энергии. Однако с

развитием науки и техники сжиганию шин отводится очень скромная роль. Это связано с тем, что сжигание шин, с одной стороны, не является решением научно-технической проблемы и тормозит разработку новых методов их переработки, а, с другой стороны, приводит к загрязнению окружающей среды. Известно, что при горении шин в больших количествах образуются такие вредные вещества как CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>тв</sub> (сажа), хлорированный диоксин, фуран и др. Наличие цинка и металлического корда увеличивают попадание в атмосферу вредных веществ и усложняют обслуживание соответствующих установок. Низкая эффективность данного способа безвозвратной утилизации ценного сырья усугубляется и существенными расходами на транспортировку изношенных шин к предприятиям для их сжигания.

Другим методом утилизации шин является их поставка на экспорт без последующей переработки. Основными покупателями таких шин являются развивающиеся страны, в которых предъявляются более низкие требования к качеству шин.

В некоторых странах автомобильные шины подвергают капитальному ремонту. При ремонте может восстанавливаться протектор шины или протектор и боковины. Восстановление шин является экологическим способом, позволяющим продлить срок эксплуатации шины и экономить ресурсы (например, на изготовление шины затрачивается 35 л нефти, а при восстановлении – 5 л нефти). В США восстановление автомобильных шин практически не выполняется, в Японии восстанавливается каждая десятая шина, в Германии – каждая пятая, а в Нидерландах – каждая третья.

Другим широко распространенным методом утилизации шин является их хранение на свалках. Сегодня число автомобильных шин, которые находятся на свалках во всем мире, оценивается в миллиарды штук. В Украине 65 % шин вывозится на свалки. Вывоз автомобильных шин на свалки имеет негативные экономические и экологические последствия: данный способ использования шин можно приравнять к уничтожению ценных вторичных ресурсов; разложение изношенной шины в земле длится более 100 лет; требуется увеличение площадей, что при дефиците земельных участков и росте их рыночной стоимости увеличивает затраты на вывоз и хранение шин. Форма шин и черный цвет приводят к тому, что на свалках создаются идеальные условия для размножения паразитов, передающих болезни. Поэтому свалки шин представляют недооцененную опасность для здоровья людей. Шины негативно влияют и на ландшафт. Но наибольшую опасность представляют шины с точки зрения пожаробезопасности. Пожары на свалках шины очень тяжело тушить, что подтвер-



ждают пожары свалок в США, Канаде, Великобритании. Например, в Онтарио на свалке горело более 12 миллионов шин на протяжении месяца.

Временным решение проблемы утилизации шин может быть их использование для укрепления откосов, стабилизации грунта в дорожном строительстве, в сельском хозяйстве, на игровых площадках.

Более перспективными методами переработки изношенных шин являются технологии их измельчения. Такая переработка предусматривает разделение резинового материала шин на составляющие компоненты: резину, сталь, текстиль и последующую обработку с целью создания новых материалов.

Долгое время считалось, что шины невозможно перерабатывать именно из-за комплексного соединения разных материалов. Сегодня такая переработка возможна в нескольких вариантах: пиролиз, тепловые и криогенные технологии переработки. Основное преимущество этих технологий заключается в возможности сохранения исходного ценного сырья и его повторного использования.

Технология пиролиза заключается в разделении автопокрышки под действием теплоты на твердые, жидкие и газообразные вещества. Пиролиз применялся во многих странах: Франции, Германии, Великобритании, России, Украине и многих других. Многообразные разновидности пиролиза отличаются температурным режимом (низко-, средне- или высокотемпературный пиролиз) и типом реактора. В результате пиролиза получают: твердые вещества – сталь, сажу; жидкие вещества – пиролизное масло и газообразные вещества – водород.

Оценка технологического процесса проведения пиролиза, затрат на переработку и качества получаемой продукции позволяет сделать следующие выводы:

- при проведении пиролиза возникают проблемы обеспечения безопасности и герметизации транспортной системы реактора;
- требуются высокие производственные расходы, что делает пиролиз нерентабельным;
- при низко- и среднетемпературном пиролизе происходят температурные колебания, в результате которых реакции протекают не полностью и образуются такие ядовитые вещества, как диоксин и фуран;
- при высокотемпературном пиролизе расходы значительно превышают прибыль от продажи продуктов переработки;
- в результате нестационарного температурного режима пиролиза получаемая продукция имеет низкое качество.

Перечисленные недостатки пиролиза, и в первую очередь, низкое качество продуктов переработки и высокие производственные расходы, ли-

шают пиролиз экономически рентабельной альтернативы другим методам переработки использованных шин.

Тепловые технологии переработки изношенных шин заключаются в измельчении шин путем резки, рубки, трения или разрыва при температуре окружающей среды. В процессе переработки резиновый материал сохраняет свои высокие эластические свойства, поэтому большая часть энергии расходуется на деформацию материала, а не на его разрушение. В результате резиновый материал сильно нагревается, что приводит к термическому окислению поверхности и выделению дымовых газов. Для предотвращения нагрева резиновых материалов требуется охлаждение.

Одна из первых комплексных технологий по механической упруго-деформационной переработке изношенных шин на основе экструзивного измельчения в двухшнековых экструдерах была создана НПО «Росполимер» (Россия, Москва). Сегодня эта технология применяется в России, Китае и Чехии. Широкое использование технологии и оборудования по экструзивному измельчению было положено в основу разработок ООО «Рекрия Инжиниринг». Согласно технологической схеме шины подаются на шиноразделочные станки для удаления бортовых колец и съема протекторного слоя резины. Затем резина подается в дробилку второй ступени, откуда полученная крошка при помощи шнекового транспортера поступает в приемный бункер экструдера-измельчителя. Полученные в экструдере мелкодисперсные резиновые порошки сортируются по трем фракционным типоразмерам: 0,1...0,5 мм; 0,5...1,5 мм и 1,5...2,0 мм и расфасовываются.

Анализ тепловых технологий переработки шин позволяет сделать следующие выводы:

- тепловые технологии утилизации шин являются сегодня наиболее широко распространенными;
- тепловые технологии позволяют использовать оборудование, которое применяют в других областях переработки вторичного сырья;
- тепловые технологии не требуют специальных ноу-хау;
- в результате тепловой переработки продукция имеет недостаточную степень чистоты;
- получаемые резиновые частицы имеют неправильную форму, что влияет на сыпучесть полученной продукции;
- изменение химико-физических свойств поверхности резиновых частиц приводит к ухудшению качества продукта переработки.

Наиболее современной технологией утилизации автомобильных шин являются криогенные технологии. Первая промышленная установка по криогенной переработке начала функционировать в 1979 г. в США (компания «Мид-вест Эластомерикс, штат Огайо»). Активные работы в данной об-



ласти проводились также в Германии, Великобритании, Италии, Швеции, Японии и других странах. В Российской Федерации решением данной проблемы занимались ИХФ им. Н. Семенова, РАН, МИТХТ им. М. В. Ломоносова, ОАО «Тушинский машиностроительный завод», ООО «Капрокон», ЗАО «Экошина», ООО «Рекрия-Инжиниринг», ОАО Сланцевый завод «Полимер», ЗАО «Камские экологические технологии», ТОО фирмы «АСТОР», ЗАО «Троицкая технологическая Лаборатория» [2]. В Украине криогенной технологией занимались Научно-исследовательский институт крупногабаритных шин (г. Днепропетровск), Украинский научно-исследовательский институт металлургического машиностроения (г. Славянск), Донбасская государственная машиностроительная академия (г. Краматорск). В общем случае криогенная технология переработки шин включает в себя следующие технологические операции: первичное измельчение, охлаждение до заданных температур, криогенная переработка, магнитное и аэровоздушное сепарирование, разделение по фракциям, накопление и расфасовку. Технологическая схема, предложенная украинскими специалистами предполагает возможность утилизации автомобильных шин массового ассортимента, а также крупно- и сверхкрупногабаритных шин. Первичное измельчение предлагается осуществлять при помощи ленточных пил различной конструкции, вторичное измельчение – при помощи шредеров, охлаждение измельченных фрагментов до температур  $-80...-100$  °С при помощи жидкого азота, криогенную переработку – при помощи вальцов или молотковых дробилок. Производительность линии составляет 7,0 тысяч тонн в год по исходному сырью, установленная мощность 745 кВт, расход жидкого азота 6,0 тысяч тонн в год.

Аналогичные по структуре, но отличающиеся концептуально по отдельным позициям криогенные технологии утилизации были разработаны и рядом других организаций. ИВТАН (Россия) и ИПМ (Украина) провели исследования по взрывному первичному измельчению крупногабаритных шин с одновременным отделением корда.

Анализ криогенных технологий переработки шин позволяет сделать следующие выводы:

- исключение перегрева резины и ее осмоления позволяют получать высокое качество продукции переработки;
- отсутствие окисления поверхности частиц сохраняет структуру полимера;
- гладкая поверхность получаемых частиц обеспечивает хорошую сыпучесть и высокую насыпную плотность продукции;
- легкое отделение металлического корда и ткани обеспечивает высокую чистоту резиновой крошки (99,9 %);

- криогенное измельчение снижает затраты энергии;
- криогенной технологией могут перерабатываться шины любой конструкции и габаритных размеров;
- уменьшается пожарная опасность технологического процесса;
- улучшаются санитарно-гигиенические условия труда (отсутствуют запахи, пыль; снижается производственный шум).

Следует отметить, что наряду с высокой производительностью процесса и высоким качеством получаемой продукции, криогенные технологии имеют и ряд недостатков:

- температура используемого жидкого азота составляет  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что значительно ниже температуры стеклования измельчаемой резины, а это приводит к повышенным термодинамическим потерям и к повышенным энергетическим затратам;
- при использовании привозного жидкого азота потери при его транспортировке, сливе-наливе и хранении составляют 30 %;
- теоретический расход жидкого азота составляет 0,5 кг на один кг обрабатываемого сырья, а на практике данный расход может составлять 0,8 кг азота на кг сырья.

Количественные показатели сравнительного анализа наиболее перспективных тепловых и криогенных технологий переработки изношенных шин приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели различных технологий переработки изношенных автомобильных шин с промышленным производством 7 тысяч тонн резиновых порошков в год

Наименование технико-экономического показателя	Каскадное измельчение при положительных температурах	Криогенная переработка
Количество дополнительных стадий измельчения	3	3
Производственные площади, м <sup>2</sup>	700...1500	700...1500
Удельные энергозатраты, кВт·ч/т	1800...2000	600...700
Дополнительные вентиляционные системы	3	3
Дополнительные выбросы в атмосферу	+	+
Используемые хладагенты	-	До 1 кг жидкого азота на 1 кг измельченной резины
Рентабельность производства без учета государственных дотаций, %	22	17

**Выводы.** Индустриализация общества и ускорение научно-технического прогресса приводят к стремительному росту актуальности вопросов утилизации и вторичного использования изношенных автомобильных шин. Ежегодно в мире образуется около 800 миллионов изношенных шин. В Украине ежегодно подлежит утилизации более 230 тысяч тонн крупно- и сверхкрупногабаритных шин, большая часть которых складывается или выбрасывается в отвалы, занимая полезные площади и создавая угрозу окружающей среде. В г. Днепропетровске количество утилизируемых шин составляет более 7000 тонн в год, а по области – свыше 10000 тонн в год. Учитывая, что в г. Днепропетровске предприятий по переработке изношенных шин в резиновую крошку не имеется, то можно сказать, что в городе назрела острая необходимость в срочном решении данной экологической проблемы.

Изношенные автомобильные шины являются источником длительного и устойчивого загрязнения окружающей среды в результате высокой стойкости резиновых материалов по отношению к воздействию солнечного света, влаги и других природных факторов.

Специфика резиновых материалов делает необходимым проведение широкого круга исследований по повышению степени научной обоснованности принимаемых технических решений и по повышению эффективности промышленных производств, позволяющих повторно использовать ценное сырье.

В настоящее время наиболее перспективными технологиями утилизации изношенных шин можно считать криогенные технологии переработки. Вторичное использование утилизированных шин способствует экономии исходных, остродефицитных и весьма дорогостоящих сырьевых ресурсов при одновременном расширении номенклатуры и увеличении объемов производства готовых изделий. Измельчение изношенных шин обеспечивает возможность их вторичного использования в автомобильной, добывающей, химической, строительной и ряде других отраслей.

Материалы работы могут быть использованы студентами при изучении дисциплины «Ресурсосберегающие технологии при проведении ремонта».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коржавин Ю. А. Ресурсозберігаючі технології технічного обслуговування і ремонту автомобілів / Ю. А. Коржавин, О. М. Коробочка. – Дніпродзержинськ: вид-во ДДТУ, 2007. – 182 с.
2. Емченко Е. А. Оборудование и технологии измельчения резинотехнических отходов / Е. А. Емченко. – Харьков: изд-во УИПА, 2011. – 228 с.