

СТРАТЕГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Отражена проблематика утилизации изношенных автошин, являющихся быстроизнашиваемыми элементами конструкции автомобиля. Отмечено, что в России на этом этапе жизненного цикла изделий не существует универсального метода рационального использования продуктов переработки. Существующие методы направлены на извлечение отдельных компонентов, пользующихся спросом на рынке вторичных материалов. При этом значительная часть их не находит потребительского спроса и подвергается либо сжиганию, либо захоронению. Предложена стратегия комплексной переработки шин и резиноармированных изделий специальными методами, состав которых определяется по критерию энергоэффективности каждого из них и, в целом, всего комплекса.

Ключевые слова: автомобиль, шина, утилизация, энергосбережение.

Автомобильные шины являются одним из наиболее дорогостоящих элементов автомобиля. В процессе эксплуатации автомобиля потребляется несколько комплектов шин. Количество комплектов зависит как от физико-механических свойств резины, так и от дорожно-климатических условий, качества эксплуатации и обслуживания подвижного состава. Результаты проведенных исследований [1] свидетельствуют о том, что примерно 50% шин грузовых автомобилей из-за различного рода повреждений выходят из строя преждевременно, что влияет на интенсивность образования отходов автошин. Вышеперечисленные факторы, а также рост парка автомобилей в последние годы требуют формирования новой отрасли и ее инфраструктуры для их эффективной утилизации.

Реализация программы утилизации отработанных автомобильных шин в промышленных масштабах требует использования современных энергоэффективных технологий их переработки. В связи с этим исследования методов и средств утилизации шин с минимальными энергозатратами являются актуальными и согласуются с перечнем критических технологий РФ, утвержденным Приказом Президента РФ (Пр-842 от 21 мая 2006 г.) «Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов».

Процесс утилизации является заключительным этапом жизненного цикла автомобилей, позволяющим существенно экономить средства при производстве материалов. К примеру, в Германии более 10% стали получают из металлического лома транспортных средств, которые уже сейчас утилизируются практически на 100% [2].

Однако не все материалы имеют такую высокую степень утилизации. Синтетические и композиционные материалы, в частности резина и резиноармированные изделия (РАИ), представителями которых являются автомобильные шины, из-за отсутствия эффективных технологий их утилизации, как правило, подвергаются традиционному захоронению или складированию, в результате чего происходит их постоянное накопление. Например, только в Оренбургской области ежегодно образуется около 8 тыс. тонн изношенных автомобильных шин [3].

Несмотря на многообразие способов утилизации шин, этот вопрос в практической плоскости так и остается нерешенным. Прежде всего это связано с уникальными физико-механическими свойствами резины как основного компонента при производстве шин, затрудняющими процесс ее переработки.

Конструктивно автомобильные шины являются сложными изделиями, состоящими из различных компонентов органической или неорганической природы, которые обладают различными физико-химическими свойствами. Это различие существенно затрудняет выбор способа утилизации.

Все известные методы переработки и утилизации изношенных автомобильных шин можно разделить на три основные группы (рисунок 1).

К первой группе можно отнести технологии, предполагающие использование шин в целом виде для создания искусственных риффов, детских спортивных площадок, укрепления дорог, дамб и т.д. В этом случае нет необходимости затрачивать энергию на разрушение шин. Однако объем изношенных шин, ис-

пользуемых для этих целей, очень незначителен и только частично может решить вопрос утилизации.

Вторая группа включает методы утилизации шин, приводящие к глубоким необратимым изменениям структуры резины, основаны они на термическом разложении (деструкции) резины в различных технологических средах с получением продуктов различной молекулярной массы. К этим методам относятся сжигание, пиролиз и термоожижение [4, 5, 6].

Сжигание шин используется с целью получения энергии на различные технологические нужды и обусловлено высокой теплотой сгорания резины (порядка 32 МДж/кг), соответствующей углю высокого качества. В этом случае шины в целом и (или) измельченном виде используются либо в качестве самостоятельного топлива, либо как добавка к другим видам топлив.

Одним из главных недостатков этих процессов являются потери при сжигании ценных компонентов, содержащихся в резине, к тому же для процесса сжигания требуется значительное количество кислорода.

Процесс пиролиза шин основан на термическом разложении резины при отсутствии или большом дефиците кислорода, в результате чего образуются твердый остаток, жидкая фракция и пиролизный газ, который поступает на сжигание. Переработка твердого остатка позволяет получать технический углерод, являющийся товарным продуктом, и металлокорд, направляемый на дальнейшую переплавку. Жидкая фракция представляет собой так называемое пиролизное масло, используемое как добавка к битуму в дорожном строительстве либо как жидкое топливо.

Недостатком данного способа переработки является пожароопасность процесса из-за высоких температур нагрева (до 1000 °С), при котором чаще всего используется открытое пламя. Кроме того, в результате пиролиза происходит обугливание компонентов резины, сопровождающееся выбросами в атмосферу, что является сдерживающим фактором его широкого практического применения.

Способ термоожижения основан на термической деструкции резины в среде продуктов нефтепереработки (например, в моторном масле). Полученные в результате процесса продукты представляют собой металлокорд и жидкую суспензию деструктурированной резины в тех-

нологическом растворителе, используемую для получения технического углерода или в качестве добавки для получения защитных и битумных мастик, печного топлива и т.д. [6].

Третья группа наиболее многочисленна и включает методы утилизации шин, основанные на измельчении резины. В этом случае наиболее полно сохраняются первоначальная структура и свойства каучука и других полимеров. К этой группе можно отнести: криогенные технологии утилизации (обработка шин отрицательными температурами с последующим дроблением); О-Кей-технологии (продувание шин озоном); бародеструкционную технологию (переработка шин высокими механическими давлениями); гидродинамические технологии (разрушение шин высоконапорными струями воды); детонационные технологии (разрушение шин энергией взрывной волны); технологии высокоскоростного резания, дробления и т.д. [7].

Конечным продуктом таких технологий является резиновая крошка различных фракций, используемая как сырье в химической промышленности при производстве неотвечественных резинотехнических изделий (РТИ) и строительных материалов, как сорбент для сбора жидких нефтепродуктов, как добавка к битуму в дорожном строительстве и т.д.

Однако высокая стоимость полученной резиновой крошки (до 1000 \$ за тонну), обуслов-



Рисунок 1. Классификация способов утилизации автомобильных шин

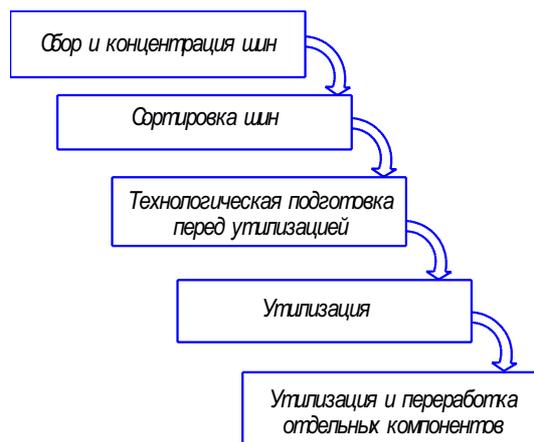


Рисунок 2. Этапы комплексной стратегии утилизации автомобильных шин

ленная применением сложного энергоемкого оборудования, не позволяет ей конкурировать с аналогичными продуктами, получаемыми в процессах непосредственной, прямой нефтегазопереработки.

Из приведенного анализа можно сделать вывод, что наряду с технической сложностью переработки шин существуют социально-экономические причины, препятствующие реализации существующих методов утилизации. По мнению авторов, основными причинами являются:

- высокая себестоимость продуктов утилизации, вызванная, как правило, значительными энергозатратами;
- высокая конкуренция со стороны уже сложившихся рынков сбыта сырья для химической промышленности, в том числе предприятий по производству РТИ;
- высокие требования к качеству исходного сырья для производства изделий ответственного назначения;
- развитость инфраструктуры нефтегазовых перерабатывающих комплексов, ориентированных на производство очищенных, светлых продуктов из добываемой сырой нефти. При этом сажа и сера, используемые в производстве, а также битум, применяющийся для дорожного строительства, являются побочными продуктами. Поэтому те же продукты, полученные методами утилизации, не могут конкурировать ни по себестоимости, ни по качеству.

Тем не менее при выборе рациональной стратегии утилизации автошин уже в ближайшей перспективе возможна реализация рентабельных производств, специализирующихся на

комплексной переработке с извлечением полезных и ценных продуктов (технический углерод, металлоарматура, углеводороды и др.), пригодных для вторичного использования без значительных затрат. Одновременно возможна концентрация и локализация токсичных и вредных примесей с их утилизацией без неблагоприятных экологических последствий (сера, цинк, тяжелые металлы и т.д.).

Решение задачи энергоэффективности утилизации автомобильных шин возможно на основе разработки комплексного подхода, включающего несколько этапов, представленных на рисунке 2.

Сущность предлагаемой стратегии утилизации шин сводится к следующему. На первоначальном этапе производится сбор и концентрация утилизируемых шин на специализированном пункте сбора в рамках региона с соблюдением всех мер безопасного их хранения. Далее производится сортировка в зависимости от номенклатуры, типоразмера и состояния утилизируемых изделий. Отбранная партия изделий проходит операцию мойки и сушки, после которой направляется для первичной переработки методами механического разделения. Часть наиболее востребованных с коммерческой точки зрения компонентов перерабатывается наиболее рациональным способом, например механическим измельчением, с целью получения товарной продукции. Остатки компонентов шин, не представляющие практической ценности, например резиноармированные элементы, направляются для дальнейшей вторичной переработки методом термоожижения (пиролиза) в среде технологических растворителей. На этом этапе производится выделение металлоарматуры или синтетического корда, технического углерода, растворенного в технологическом растворителе, и дистиллята кипящих фракций, отводимых на конденсацию и сбор для технологических нужд. При этом жидкая фракция направляется для концентрации и фильтрации разделением физико-механическими методами (отстаивание, центрифугирование и др.). Остаток твердых и жидких продуктов переработки после их сбора и очистки оборудования направляется в асфальтобитумные смеси для получения дорожных покрытий. В данном случае негативное их влияние на экологию будет минимальным, так как условия эксплуатации дорожных покрытий не способствуют процессам испарения вредных и токсичных

компонентов, первоначально присутствующих в резиновых смесях.

Для реализации предложенной стратегии комплексной утилизации необходимо проведение значительного объема научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, результатом которых должны стать энерго- и ресурсосберегающие опытно-промышленные технологии и оборудование утилизации автомобильных шин.

Оценка энергозатрат на утилизацию отдельных компонентов шин для различных вариантов их конструкций возможна на основе расчетно-аналитических или экспериментальных методов.

Аналитические методы применимы для материалов с известными теплофизическими константами фазовых и структурных превращений. Однако такие справочные данные приведены для достаточно узкого перечня наиболее распространенных материалов. Принимая во внимание тот факт, что разнообразие вариантов конструкции и состава компонентов утилизируемых шин априори неизвестно, как могут быть неизвестны и теплофизические свойства некоторых компонентов, возможности расчетно-аналитического метода не обеспечивают достоверную оценку энергетических затрат на их переработку.

Для значительного количества структурных компонентов автомобильных шин теплофизические константы могут быть определены только экспериментально. Общие удельные затраты энергии на утилизацию шин $\mathcal{E}_{y.общ}$ (кВт·ч / кг) можно представить в виде:

$$\mathcal{E}_{y.общ} = \mathcal{E}_{сбор} + \mathcal{E}_{сорт} + \mathcal{E}_{мп} + \mathcal{E}_{мо} + \mathcal{E}_{то} + \mathcal{E}_{рф} + \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{ук}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{сбор}$, $\mathcal{E}_{сорт}$, $\mathcal{E}_{мп}$, $\mathcal{E}_{мо}$, $\mathcal{E}_{то}$, $\mathcal{E}_{рф}$, $\mathcal{E}_{ук}$ – удельные энергозатраты, соответственно, на сбор, сортировку, технологическую подготовку, механическую переработку, термическую обработку, разделение фракций и фаз, утилизацию и переработку отдельного i -го компонента или структурного элемента шин.

Энергетическая эффективность утилизации в оптимальном ее значении должна удовлетворять условиям целевой функции:

$$\mathcal{E}_{y.общ} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Оптимизация целевой функции достигается оптимизацией составляющих элементов выражения (1) с учетом их возможного взаимного влияния. Для этого необходимо определить

энергозатраты по всем операциям и каждому из вариантов конструктивного исполнения оборудования для одноименной операции технологического процесса. При выборе состава оборудования по переработке шин предпочтение отдается оборудованию с максимальным коэффициентом полезного использования энергоносителя η_o , аналогичным по своей сути коэффициенту полезного действия механических устройств и определяемым по формуле:

$$\eta_o = \frac{\mathcal{E}_n}{\mathcal{E}_{общ}}, \quad (3)$$

где \mathcal{E}_n – теоретически минимальные, принятые как полезные, затраты тепла на осуществление перехода полезной загрузки в качественно новое состояние (нагрев и деструкция реакционной массы), кВт·ч;

$\mathcal{E}_{общ}$ – общие, суммарные затраты энергии в реальном технологическом процессе, кВт·ч.

Применительно к теплотехнологическим процессам с использованием электроэнергии значение общих затрат энергии определяется как сумма элементарных составляющих:

$$\mathcal{E}_{общ} = \sum_1^n \mathcal{E}_i, \quad (4)$$

где \mathcal{E}_i – каждая из n элементарных составляющих энергозатрат, которые могут быть измерены с достаточно высокой точностью, например, ваттметрами.

Необходимым условием реализации стратегии является возможность определения с заданной точностью значения коэффициента полезного использования энергоносителя η_o каждого теплоэнергетического процесса на всех этапах утилизации.

Энергоэффективность технологии утилизации автомобильных шин определяется разработанным с этой целью аппаратно-программным, измерительно-вычислительным комплексом энергетических и теплофизических параметров (ИВК) посредством энерготестирования реальных или моделируемых процессов [8].

По результатам энерготестирования каждой единицы задействованного в технологическом процессе оборудования для утилизации автомобильных шин определяются значения потребляемой мощности и энергии в цикле переработки.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Объемы образования изношенных автомобильных шин требуют использования целого комплекса подготовительных работ и промышленных методов их утилизации.

2. Выбор каждого из методов утилизации должен соответствовать критерию максимальной энергоэффективности.

3. Технология утилизации автомобильных шин включает этапы сбора и подготовки шин, их сортировку, технологическую подготовку перед утилизацией, комплекс различных по методу воздействия технологий переработки с разделением шины на компоненты вторичного использования и продукты утилизации.

4. Компоненты шин в процессе утилизации возвращаются в цикл производства изделий или используются в виде органического топлива после очистки от вредных и токсичных продуктов.

5. Реализация энергоэффективной стратегии утилизации автомобильных шин возможна на основе использования разработанного ИВК, позволяющего регистрировать энергетические характеристики процесса энергопотребления и подбирать наиболее оптимальные варианты реализации процесса переработки шин при их утилизации, а также оптимизировать состав оборудования по критерию максимально возможного $\eta_{э}$.

16.05.2011

Список литературы:

1. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. для вузов / под ред. Е.С. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2004. – 535 с.
2. Теория и практика рационального инжиниринга / под общ. ред. проф. Абдрашитова Р.Т., проф. Колосова В.Г., проф. Туккеля И.Л. – СПб.: Политехника, 1997.
3. Клищенко, В.П. Мини-завод по утилизации изношенных автошин / В.П. Клищенко // Экология и промышленность России. – 2009. – №1. – С. 4-5.
4. Патент 2309961 Российская Федерация, C08 J11/20. Способ переработки резинометаллических изделий и установка для его осуществления / Пославский А.П., Бондаренко Е.В., Апсин В.П., Сорокин В.В., Летечин В.М., Трошина Т.М. – Оpubл. БИ №31 от 10.11.2007 г.
5. Патент 2167168 Российская Федерация, МПК C 08 J 11/04. Устройство для утилизации отходов резинотехнических изделий / Денисов М.В., Денисов А.М., Литвин Н.К. – №2002110990/12; заявл. 25.04.2002; опубл. 10.02.2004, Бюл. №4. – С. 493.
6. Патент 2223172 Российская Федерация, МПК⁷ C 08 J 11/04. Способ переработки органических полимерных отходов / Летечин В.М.; патентообладатели: Летечин В.М., Летечина Т.В., Старков С.В. – №2000121587/04; заявл. 17.08.2000; опубл. 20.05.2001, Бюл. №14. – 7 с.
7. Патент 2239555 Российская Федерация, МКП C 27 B 29 B 17/00 // B 29. Способ механического измельчения резины и устройство для его осуществления / Клищенко В.П., Романцов В.Н., Халяпин А.Е., Полянцев А.М. – №2002114528/12; заявл. 03.06.2002.; опубл. 10.11.2004, Бюл. №31
8. Ковриков, И.Т. Диагностирование эксплуатационных характеристик теплообменников транспортной техники / И.Т. Ковриков, А.П. Пославский, В.Ю. Соколов // Вестник Оренбургского государственного ун-та. – 2009. – №9 (103). – С. 134-139.

UDC 656.13.658**Poslavskiy A.P., Sorokin V.V., Melnikov A.N., Klishchenko V.P.**

Orenburg state university, e-mail: trf@mail.osu.ru

STRATEGY OF FORMATION OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY OF RECYCLING OF AUTOMOBILE TYRES

The present article enlightens the problem of utilizing worn out automotive tires, which are known as high-wear part of the car. It states that currently in Russia does not exist any common method of rational use of recycled materials. Current utilization methods aimed at re-use of components that retain market value, on the aftermarket. With that sufficient part of materials does not find their customer and gets either burned or buried. The author suggests strategy of complex recycling of automotive cars and reinforced rubber components by specialized methods. These methods are defined based on energy efficiency of every method separately and all complex in total.

Key words: car, automotive, tire, recycling, energy saving.

Bibliography:

1. Technical Exploitation of Cars: book for VUZ / edited by. E.S. Kuznetsov.- 4th edition, amended - M. : Nauka, 2004. - 535 p.
2. Theory and Practice of Rational Engineering / under edition of prof. Abdrashitov R.T., prof. Kolosov V.G., prof. Tukkel I.L. – SPb.: Politekhnik, 1997.
3. Klischenko V.P. Mini-facility on Worn out Tires Recycling / Klischenko V.P. // Ecology and Manufacturing of Russia. – 2009. – //1. – P.4-5.
4. Patent // 2309961 of Russian Federation, C08 J11/20. Method for recycling metal-reinforced rubber components and facility for this recycling / Poslavski A.P., Bondarenko E.V., Apsin V.P., Sorokin V.V., Letechin V.M., Troshina T.M. - published BI // 31 dated 10.11.2007.
5. Patent 2167168 of Russian Federation, МПК C 08 J 11/04. Facility for Recycling of the Rubber Waste Products / Denisov M.V., Denisov A.M., Litvin N.K. - // 2002110990/12; application dated 25.04.2002; published 10.02.2004, Bulletin //4. – P. 493.
6. Patent 2223172 of Russian Federation, МПК⁷ C 08 J 11/04. Method of Recycling for Organic Polymer Wastes / Letechin V.M.; patent holders: Letechin V.M., Letechina T.V., Starkov S.V. - // 2000121587/04; application dated 17.08.2000; published 20.05.2001, Bulletin //14. – 7p.
7. Patent 2239555 of Russian Federation, МКП C 27 B 29 B 17/00 // B 29. Method for Mechanical Grinding of Rubber and Facility for this Grinding / Klischenko V.P., Romanzov V.N., Khalyapin A.E., Polyantsev A.M. - //2002114528/12; application dated 03.06.2002.; published 10.11.2004, Bulletin // 31
8. Kovrikov I.T. Diagnostics of Performance Data of Automotive Heat Exchangers / I.T. Kovrikov, A.P. Poslavski, V.Ju. Sokolov // Orenburg State University Reporter . – 2009. - //9 (103). – P.134-139