

DOI: 10.15593/2409-5125/2016.03.03

УДК 621.9

**И.М. Бернадинер, Н.С. Гаврилова**

Национальный исследовательский университет  
«Московский энергетический институт»

## **ПИРОЛИЗ И ГАЗИФИКАЦИЯ – СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК**

Рассмотрена проблема переработки изношенных автомобильных покрышек, показана статистика использования различных технологий в России и зарубежных странах. Скорость накопления отработанных шин растет с каждым годом, что наносит большой удар экологии страны и мира. Представлены различные методы переработки – нетермические и термические. Подробно рассмотрен пиролиз покрышек, изучено состояние проблемы в этой области и приведены оптимальные условия проведения процесса пиролиза, а именно исследована оптимизация выхода жидкого продукта. Описана ситуация на российском рынке и приведено сравнение нескольких отечественных установок. Предложена перспективная схема кислородной газификации изношенных автомобильных покрышек. Она включает в себя газогенератор шахтного типа с восходящим потоком и фиксированным слоем, котел-утилизатор, пароконденсационную турбину и систему очистки дымовых газов. В качестве газифицирующего агента используется кислород, который получают за счет собственной вырабатываемой электроэнергии на кислородной станции. Технологическая схема установки создает полное энергообеспечение процесса, позволяет не только утилизировать автомобильные покрышки, тем самым поддерживать и улучшать экологическую обстановку в стране, но и вырабатывать электроэнергию стороннему потребителю. Приведены результаты расчета для агрегатной нагрузки газогенератора 20 т/сутки.

**Ключевые слова:** газификация, пиролиз, изношенные автомобильные покрышки, генераторный газ, котел-утилизатор.

Активный рост автомобильного парка во всем мире влечет за собой накопление больших объемов резиносодержащих изделий, в частности изношенных шин. Только в России ежегодно накапливаются свыше 1,0 млн шт. шин, а во всем мире накапливается около 1,0 млрд т [1]. Резина является длительным источником загрязнения окружающей среды, она не подвергается биологическому разложению и огнеопасна, а при контакте с дождевыми осадками и грунтовыми водами происходит вымывание ряда токсичных органических соединений высокого класса опасности.

Проблема переработки автомобильных покрышек чрезвычайно актуальна и имеет большое экологическое и экономическое значение для всех развитых стран мира. В связи с ограниченностью природных ресурсов появляется необходимость использования вторичных ресурсов с максимальной эффективностью.

В разных странах уровень развития переработки и использования неоднозначный. Как видно на рис. 1, во Франции в основном покрышки подлежат восстановлению и вторичному использованию, а в Японии и США их сжигают в качестве топлива. В России же на переработку попадает не более 10 % объема всех образованных изношенных шин, остальные выбрасываются на полигоны.

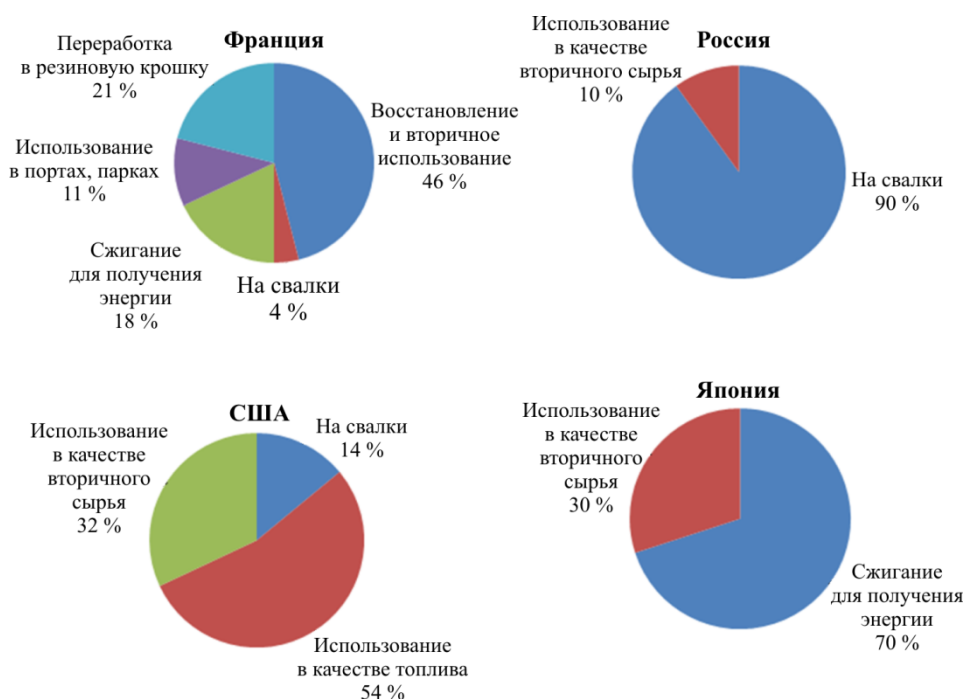


Рис. 1. Утилизация использованных шин в разных странах

Существует достаточно много путей утилизации изношенных шин, им посвящено множество научных трудов [2–6]. Во-первых, не применяя никаких энергозатратных технологий, их используют в целом виде для создания искусственных рифов, звукоизолирующих ограждений вдоль автострад. Так как шины легко поддаются обработке, они применяются при декорировании садовых участков, парков.

Во-вторых, достаточно распространенный в нашей стране метод – это переработка изношенных шин в крошку. Большое применение покрышки находят в измельченном виде для различных покрытий (открытых спортивных площадок, беговых дорожек, детских площадок). Но уже в ближайшем будущем спрос на резиновую крошку начнет падать. Попытки использования покрышек в дорожном покрытии не оправдали себя. Прорезиненные трассы не всегда отвечают заявленным требованиям, а строительство их выходит дороже, чем укладка обычных асфальтобетонных смесей. Сам процесс получения крошки очень энергоемкий, а оборудование подвержено быстрому износу и имеет высокую стоимость.

В-третьих, можно рассмотреть термические методы переработки. Резиновые отходы являются высококалорийным продуктом, поэтому их утилизация путем сжигания в качестве источника энергии на первый взгляд кажется весьма эффективна. Однако при сжигании многие вредные вещества не распадаются, а попадают в атмосферу, это различные полиароматические углеводороды и канцерогены. А очистка дымовых газов – это сложный и дорогостоящий процесс.

Большое развитие в нашей стране сейчас получает другой термический метод переработки – пиролиз. Он представляет собой процесс термического разложения содержащихся в шинах органических соединений без доступа кислорода. Пиролиз шин сегодня является наиболее экономичным и экологически чистым методом их утилизации, поскольку он решает не только вопрос переработки вторсырья, но и позволяет получать жидкое топливо [7].

Продукты пиролиза: газ, идущий на поддержание процесса; жидкое топливо, используемое как печное топливо в котельных, либо после разгонки на фракции из него можно получать бензин, керосин; твердый остаток – технический углерод, применяемый при очистке сточных вод в качестве адсорбента, а также в качестве активного наполнителя в производстве резиновых смесей, пластмасс и в лакокрасочной промышленности; металлический корд – в металлолом.

Температура является одним из наиболее важных параметров, влияющих на выход продуктов реакции. В результате исследования наибольший выход жидкой фракции будет получен при температуре пиролиза 500 °C [8].

Реакторы пиролиза могут быть различными по конструкции, от чего будет зависеть кинетика процесса и соотношение продуктов [9–11]. На рис. 2 представлены основные типы конструкций. Из них наибольшими преимуществами обладает реактор с коническим фонтанирующим слоем благодаря простоте конструкции и оптимизации выхода жидкого продукта [9].

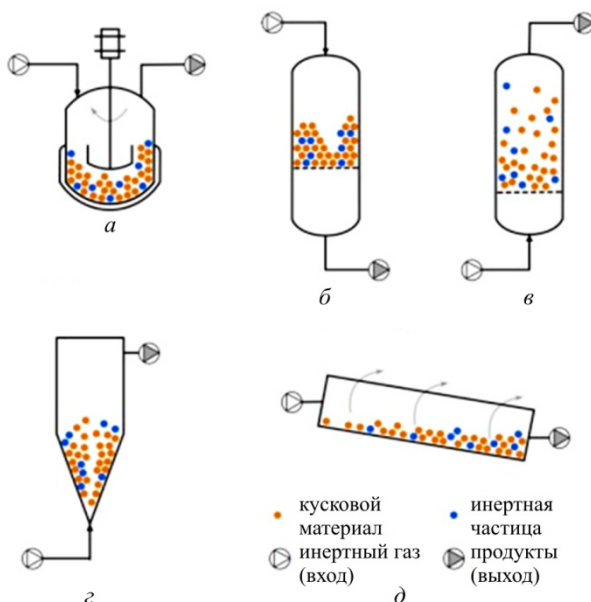


Рис. 2. Типы конструкций реакторов пиролиза:  
 а – реактор с мешалкой; б – неподвижный слой;  
 в – кипящий слой; з – конический фонтанирующий слой;  
 д – вращающийся реактор

В целях уменьшения содержания серы в жидком продукте процессы пиролиза следует проводить с использованием катализаторов 5 % гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или оксида кальция  $\text{CaO}$ . Их применение не оказывает значительного эффекта на выход продуктов [8].

В настоящее время на российском рынке уже имеется некоторый выбор пиролизных установок, основными из которых являются:

- установка «Пиротекс» от компании «Технокомплекс» (рис. 3) [12];
- установка пиролиза Fortan от компании «ЭкоПромСервис» (рис. 4) [13];

- установка термической деструкции (УТД-2-200) производства промышленной группы «Безопасные технологии» (рис. 5) [14].

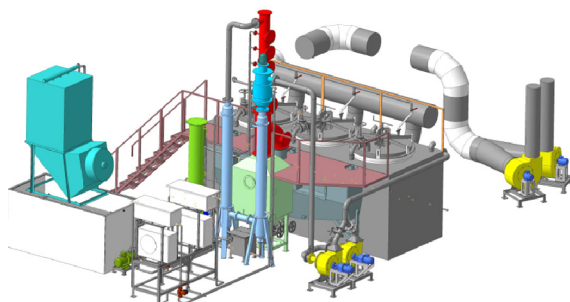


Рис. 3. Установка «Пиротекс» от компании «Технокомплекс»



Рис. 4. Установка Fortan от компании «ЭкоПромСервис»

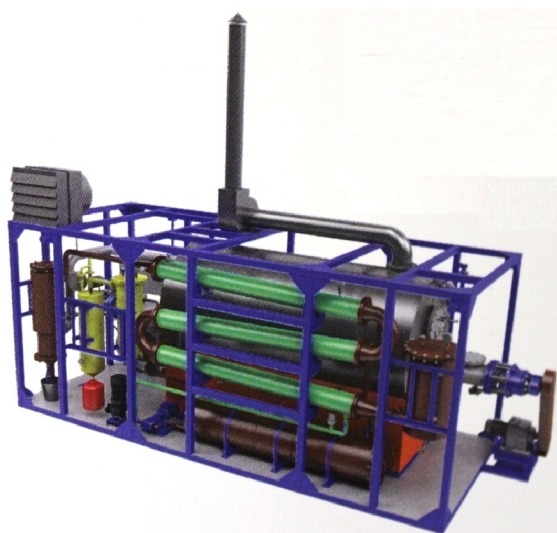


Рис. 5. УТД-2-200 производства промышленной группы «Безопасные технологии»

Наибольшими преимуществами обладает установка компании «Безопасные технологии», так как в ней достигается непрерывный процесс работы, в отличие от других установок, работающих периодически. Кроме того, установка УТД-2-200 более компактна и имеет автоматическую систему управления.

Однако почему среди способов переработки изношенных шин нет такого термического метода, как газификация.

Газификация – это процесс термической переработки материала с принудительной подачей газифицирующего агента (кислород, воздух, водяной пар, углекислый газ или их различное сочетание) с расходом ниже стехиометрического для получения генераторного газа (синтез-газа).

За счет дозирования поступления кислорода процесс контролируется, благодаря чему предотвращается образование опасных соединений, неизбежное при прямом сжигании. В отличие от пиролиза покрышек при газификации нет такого полупродукта, как жидкое топливо, вследствие чего не нужно заниматься вопросами сбыта.

Авторами предлагается следующая структурная схема газификации резины (рис. 6). В газогенератор шахтного типа с восходящим потоком и фиксированным слоем сверху загрузочным конвейером подается сырье. Агент газификации – технический кислород (содержание кислорода составляет 94 %) подается принудительно в реактор в количестве, недостаточном для полного окисления. В роли окислителя используется кислород, так как по расчетам при воздушной газификации не достигаются достаточно высокие температуры. Производство и подача кислорода реализуется в кислородной станции Провита-2700Vi [15], которая питается от пароконденсационной турбины ТП-630 [16].

Образующийся генераторный газ направляется в котел-утилизатор с топкой Г-175БТ [17], где происходит выработка насыщенного пара (1,4 МПа, 194 °С). Далее отходящие газы подвергаются очистке от оксидов серы и твердых частиц, проходя через испарительный скруббер и рукавный фильтр, и с помощью дымо-соса удаляются через дымовую трубу в атмосферу, а пар направляется в конденсационную турбину для выработки электроэнергии.

Подбор установок для этой схемы выполнен для агрегатной нагрузки газогенератора 20 т/сутки.

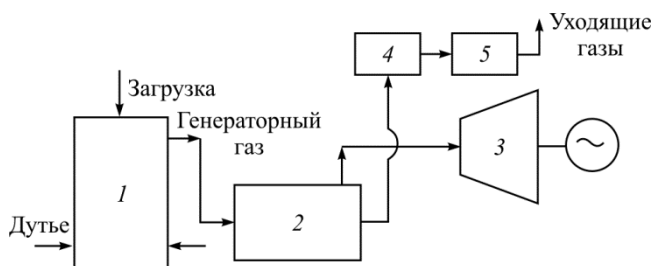


Рис. 6. Структурная схема процесса газификации:  
 1 – газогенератор; 2 – котел-утилизатор; 3 – турбина;  
 4 – испарительный скруббер; 5 – рукавный фильтр

В результате расчета установки были получены следующие результаты:

- количество вырабатываемой энергии – 923,76 кВт;
- количество энергии на собственные нужды (генерирование кислорода, дутьевые вентиляторы, дымосос) – 778,6 кВт.

Количество энергии, направленное стороннему потребителю, 145,16 кВт – это один из источников дохода. Другая составляющая будет за счет утилизации изношенных шин.

Технологическая схема установки создает полное энергообеспечение процесса, а также производит отпуск электроэнергии стороннему потребителю, что подтверждает не только экологическую, но и энергетическую целесообразность данной установки.

Актуальность рассмотренной выше проблемы в нашей стране в последние годы только набирает обороты. Сбор и утилизация отработанных шин принесет большую пользу в сохранении и поддержании экологической безопасности. Изучая все способы их переработки, приходим к выводу, что перспективными методами в этой области являются пиролиз и газификация. Но предложенный способ – кислородная газификация имеет больше преимуществ за счет комплексного подхода, в результате которого происходит полная утилизация шин и получение готового продукта – электроэнергии.

### Библиографический список

1. Пат. 2570433 Рос. Федерация, МПК С 21, В 29 И 17/04. Способ переработки изношенных шин / Горшков В.А., Владимирцев Н.С.; патентообладатель Горшков В.А. – № 2014139854/05; заявл. 02.10.2014; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.

2. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий / С.И. Вольфсон, Е.А. Фафурина, А.В. Фафурин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 1. – С. 74–79.
3. Валуева А.В. Перспективы переработки автомобильных покрышек в Кузбассе // Сборник научных трудов SWORLD. – 2012. – Т. 7. – № 1. – С. 19–20.
4. Хизов А.В., Панкин К.Е. Сбор, переработка и утилизация автомобильных шин // Развитие технических наук в современном мире: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. / Инновац. центр развития образования и науки. – Воронеж, 2014. – С. 57–79.
5. Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches / V. Torretta, E.C. Rada, M. Ragazzi, E. Trulli, I.A. Istrate, L.I. Cioca // A review. Waste Management. – 2015. – No. 45. – P. 152–160.
6. Progress in used tyres management in the European Union / M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, H. Janik, A. Balas // A review. Waste Management. – 2012. – No. 32. – P. 1742–1751.
7. Гаврилова Н.С., Бернадинер И.М. Пиролиз изношенных шин в целях получения синтетического жидкого топлива // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. студ. и асп. – М.: Изд. дом МЭИ, 2016. – Т. 2. – С. 253.
8. Hüseyin A., Cumali I. Optimization of fuel production from waste vehicle tires by pyrolysis and resembling to diesel fuel by various desulfurization methods // Fuel. – 2012. – No. 102. – P. 605–612.
9. Opportunities and barriers for producing high quality fuels from the pyrolysis of scrap tires / I. Hita, M. Arabiourrutia, M. Olazar, J. Bilbao, J.M. Arandes, P. Castaño // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – No. 56. – P. 745–759.
10. Paul T.W. Pyrolysis of waste tyres // A review. Waste Management. – 2013. – No. 33. – P. 1714–1728.
11. Waste tyre pyrolysis / J.D. Martinez, N. Puy, R. Murillo, T. Garcia, M.V. Navarro, A.M. Mastral // A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – No. 23. – P. 179–213.
12. Оборудование для мини-завода по переработке шин, пластика, пластмасс [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tkomplex.ru/ru> (дата обращения: 25.04.2016).
13. ЭкоПромСервис [Электронный ресурс]. – URL: <http://eco-promservice.ru> (дата обращения: 25.04.2016).
14. Пиролиз. Оборудование по переработке отходов: резины, шин, нефтешлама, отработанного масла, пластика [Электронный ресурс]. – URL: <http://i-pec.ru> (дата обращения: 25.04.2016).
15. Адсорбционные установки (генераторы) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.provita.ru> (дата обращения: 25.04.2016).
16. Микротурбинные технологии [Электронный ресурс]. – URL: <http://stc-mtt.ru> (дата обращения: 25.04.2016).
17. ТЭП-Холдинг [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tep-holding.ru> (дата обращения: 25.04.2016).



## References

1. Gorshkov V.A., Vladimirsev N.S. Sposob pererabotki iznoshennykh shin. [Method for processing waste tires]. Patent 2570433 RF. 2015.
2. Volfson S.I., Fafurina Ye.A., Fafurin A.V. Metody utilizatsii shin i rezinotekhnicheskikh izdelij [Disposal methods of tires and rubber products]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 1, pp. 74–79.
3. Valueva A.V. Perspektivy pererabotki avtomobil'nykh pokryshek v Kuzbasse [Prospects for recycling tires in Kuzbass]. *Sbornik nauchnykh trudov SWORLD*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 19–20.
4. Khizov A.V., Pankin K.E. Sbor, pererabotka i utilizatsiya avtomobil'nykh shin [The collection, processing and recycling of tires]. *Razvitiye tekhnicheskikh nauk v sovremennom mire*. Voronezh, 2014, pp. 57–79.
5. Torretta V., Rada E.C., Ragazzi M., Trulli E., Istrate I.A., Cioca L.I. Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. *A review. Waste Management*, 2015, no. 45, pp. 152–160.
6. Sienkiewicz M., Kucinska-Lipka J., Janik H., Balas A. Progress in used tyres management in the European Union. *A review. Waste Management*, 2012, no. 32, pp. 1742–1751.
7. Gavrilova N.S., Bernadiner I.M. Piroliz iznoshennykh shin v tselyakh polucheniya sinteticheskogo zhidkogo topliva [The pyrolysis of used tires in order to produce synthetic liquid fuels]. *XXII mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov i aspirantov «Radioelektronika, elektrotekhnika i energetika»*. Moscow, 2016. Vol. 2. 253 p.
8. Hüseyin A., Cumali I. Optimization of fuel production from waste vehicle tires by pyrolysis and resembling to diesel fuel by various desulfurization methods. *Fuel*, 2012, no. 102, pp. 605–612.
9. Hita I., Arabiourrutia M., Olazar M., Bilbao J., Arandes J.M., Castaño P. Opportunities and barriers for producing high quality fuels from the pyrolysis of scrap tires. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, no. 56, pp. 745–759.
10. Paul T.W. Pyrolysis of waste tyres. *A review. Waste Management*, 2013, no. 33, pp. 1714–1728.
11. Martinez J.D., Puy N., Murillo R., Garcia T., Navarro M.V., Mastral A.M. Waste tyre pyrolysis. *A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, no. 23, pp. 179–213.
12. Oborudovaniye dlya mini-zavoda po pererabotke shin, plastika, plastmass [The equipment for mini-plant recycling of tires, plastic, plastics], available at: <http://www.tkomplex.ru/ru> (accessed 25 April 2016).
13. EkoPromServis, available at: <http://eco-promservice.ru> (accessed 25 April 2016).
14. Piroliz. Oborudovaniye po pererabotke otkhodov: reziny, shin, nefteshlama, otrabotannogo masla, plastika, available at: <http://i-pec.ru> (accessed 25 April 2016).
15. Adsorbtsionnye ustanovki (generatory), available at: <http://www.provita.ru> (accessed 25 April 2016).
16. Mikroturbinnyye tekhnologii, available at: <http://stc-mtt.ru> (accessed 25 April 2016).
17. TEP-Kholding, available at: <http://www.tep-holding.ru> (accessed 25 April 2016).

Получено 24.04.2016

**I. Bernadiner, N. Gavrilova**

**PYROLYSIS AND GASIFICATION – METHODS  
OF DISPOSAL OF USED AUTOMOBILE TIRES**

**PYROLYSIS AND GASIFICATION –  
RECOVERY OF USED AUTOMOBILE TIRES**

The article considers the problem of processing worn tires, provides statistical data on the use of various technologies in Russia and foreign countries. The waste tires accumulation rate is increasing every year, thus sufficiently damaging countries and the world environment. Various methods of recovering used automobile tires, i.e. non-thermal and thermal ones are presented in the article. The pyrolysis of tires has been studied; and optimal conditions for the pyrolysis process have been provided, i.e. the optimization of liquid product yield. The situation in the Russian market is described and a comparison of several domestic plants is provided. A prospective method of oxygen gasification of worn tires is proposed. It includes a shaft type gas generator and an upflow fixed bed, a heat recovery boiler, a turbine and condensing the flue gas cleaning system. Oxygen is used as a gasifying agent which is produced by the electricity generated at the oxygen plant. The installation creates a total energy supply for the process itself, thus only disposes tires but also maintains and improves the ecological situation in a country, and also generates electricity for consumers. The calculation results are provided for the aggregate load of the gas generator which amounts to 20 tons/day.

**Keywords:** gasification, pyrolysis, worn tires, producer gas, waste heat boiler.

*Бернадинер Игорь Михайлович (Москва, Россия) – канд. техн. наук, доцент НИУ «Московский энергетический институт» (111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: bernadinerim@gmail.com).*

*Гаврилова Наталья Сергеевна (Москва, Россия) – магистрант, НИУ «Московский энергетический институт» (111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, e-mail: gavrilova.natasha5@gmail.com).*

*Bernadiner Igor (Moscow, Russian Federation) – PhD in Technical Sciences, National Research University Moscow Power Engineering Institute (14 Krasno-kasarmennaya street, Moscow, 111250, e-mail: bernadinerim@gmail.com).*

*Gavrilova Nataliya (Moscow, Russian Federation) – Undergraduate Student, National Research University Moscow Power Engineering Institute (14 Krasno-kasarmennaya street, Moscow, 111250, e-mail: gavrilova.natasha5@gmail.com).*