

# ТРАНСПОРТ

---

МРНТИ 73.01.91, 73.01.61

*В.А.Бурахта, И.И.Гаерилина*

Западно-Казахстанский инновационно-технологический  
университет, г. Уральск, Казахстан

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ, ВЫДЕЛЕННОЙ ИЗ ПИРОЛИЗНОГО ТОПЛИВА\***

---

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований пиролизного топлива, полученного при переработке отходов резинотехнических изделий методом пиролиза. Экспериментально установлено, что температура, соответствующая максимальному выходу жидкой фракции (40–45 %), составляет 487 °С. При фракционировании полученного пиролизного топлива выделено 14 % бензиновой фракции, 39 % дизельной фракции и 47 % мазута. Исследованы основные характеристики свойств дизельной фракции, выделенной из пиролизного топлива, даны рекомендации по повышению ее качества. Доказано, что при переработке отходов резинотехнических изделий методом пиролиза можно получить дополнительный источник качественных моторных топлив в виде дизельной фракции, стоимость которых будет значительно ниже нефтяного аналога, а также решить проблему утилизации резинотехнических отходов без ущерба для окружающей среды. Данная технология применима в промышленном производстве для удешевления выпускаемой продукции.

**Ключевые слова:** отходы резинотехнических изделий, пиролизное топливо, альтернативный источник топлива, дизельные фракции.



**Түйіндеме.** Мақалада резеңке өнімдерін пиролиз қалдықтарды алынған пиролиз отын зерттеу нәтижелері ұсынылған. Сұйық фракциясының (40–

---

\* *Финансирование исследований осуществляется за счет средств научно-исследовательского проекта №4101/ГФ4 «Получение моторных топлив из отходов резинотехнических изделий» по бюджетной программе: 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.*

45 %) және ең жоғарғы кірістілігі температура 487 градус температура болып табылады. Нәтижесінде алынған пиролиз отының фракциялау 14 % бензин фракциясының, дизель фракциясы 39 % және 47 % май бөлінді. Пиролиз отын алынған дизель фракциясының қасиеттерін негізгі сипаттамалары зерттелген, сапасын жақсарту бойынша ұсыныстар берілді. Резеңкетехникалық заттардың қалдықтарын пиролиз әдісімен қайта өңдеу кезінде мұнай аналогынан бағасы айтарлықтай төмен болатын дизельді фракция түріндегі сапалы мотор отындарының қосымша көзін алуға болатындығы және резеңкетехникалық қалдықтарды қоршаған ортаға залалсыз утилизациялау проблемасын шешуге болатындығы дәлелденген. Бұл технология өнеркәсіптік өндірісте шығарылатын өнімдердің бағасын арзандату үшін қолданыла алынады.

**Түйінді сөздер:** резеңке өнімдерінің қалдықтары, пиролиз отыны, балама отын көздері, дизель фракциялары.



**Abstract.** The article presents the results of pyrolysis fuel research, obtained during the processing the wastes of rubber products by the method of pyrolysis. It is experimentally determined that the temperature corresponding to the maximal output of a liquid fraction (40-45 %), which is 487 °C. During the fractionation of obtained pyrolysis fuel, it is allocated 14 % gasoline fraction, 39 % diesel fraction and 47 % black of fuel. The main characteristics of the properties of diesel fraction released from the pyrolysis fuel are studied and the recommendations of improving its quality are given. It is proved that in the processing of waste of mechanical rubber products by the method of pyrolysis, the additional source of high quality motor fuels can be obtained in the type of diesel fraction, which cost will be lower, than its petroleum counterpart, as well as to solve the problem of recycling of mechanical rubber waste without harming the environment. The given technology can be applied in industrial production to reduce the cost of production.

**Key words:** waste of mechanical rubber goods, pyrolysis fuel, alternative fuel source, diesel fractions.

**Введение.** Разработка производств альтернативных топлив – одна из наиболее приоритетных задач, стоящих на сегодняшний день, причиной возникновения которой является растущий дефицит моторных топлив, вызванный увеличением потребления энергии во всем мире.

Одним из вариантов получения моторных топлив является целевая переработка отходов резинотехнических изделий. Известны работы в области переработки отходов резины методом пиролиза, в которых рассматриваются перспективы использо-

вания отработанных резиновых шин как вторичного топливного ресурса [1]; вопросы рециклинга отработавших автомобильных покрышек с изучением влияния различных факторов на получаемые продукты [2, 3].

Попытки получения альтернативного топлива из продуктов пиролиза предпринимались турецкими учеными. В своей работе [4] ученые проводили эксперименты по пиролизу автомобильных шин в среде азота с гидроксидом кальция в качестве катализатора. Полученный жидкий продукт пиролиза смешивали с дизельной фракцией, полученной из нефти, и использовали в качестве топлива для двигателя, после чего измеряли характеристики работы двигателя и токсичность выхлопных газов в сравнении с нефтяным дизельным топливом. Учеными установлено, что прямое смешение пиролизного топлива с нефтяным дизельным приводит к увеличению в выхлопе концентрации оксидов серы, азота и углерода. Для снижения концентрации оксидов в выхлопных газах предлагалось использование специальных катализаторов [5], а также оксида кальция, гидроксидов кальция и натрия в качестве поглотителей серы. Полученное таким образом топливо содержало меньшее количество загрязняющих веществ, однако содержание серы и плотность не соответствуют параметрам, предъявляемым к дизельному топливу.

Учеными из Германии предприняты попытки идентификации углеводородного и группового состава пиролизного жидкого топлива [6]. Установлено, что в пиролизном топливе в зависимости от температуры нагрева в разной степени преобладают ароматические соединения, что косвенно указывает на возможность применения пиролизной жидкости в качестве источника получения качественных моторных топлив.

Также учеными различных стран проводятся исследования процесса со-пиролиза автомобильных покрышек с различными биоматериалами [7], нефтяными остатками и полимерами [8]. Целью таких исследований является улучшение качества пиролизного жидкого топлива и применение его в качестве конечного продукта. Однако фракционирование жидкого продукта пиролиза и систематических исследований характеристик и свойств

выделенных фракций для использования их в качестве моторных топлив учеными не проводились.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что разработка технологии переработки отходов резинотехнических изделий в компоненты моторных топлив является актуальной задачей на сегодняшний день, которая также позволит решить проблему их рациональной утилизации. Так, по статистическим данным известно, что ежегодно только в Западно-Казахстанской области складированию подвергается около 100 т автомобильных покрышек.

**Методы исследования.** Нами осуществлена переработка отходов резинотехнических изделий Западно-Казахстанской области. Утилизацию отходов резины выполняли методом пиролиза. Переработку отработанной резины проводили на опытно-конструкторской установке промышленного предприятия по переработке отходов в соответствии с требованиями технологического регламента при следующих условиях: устойчивая температура в зоне пиролиза при подобранном режиме работы дозатора выгрузки; устойчивое горение газа; минимальное увлажнение газа на выходе из газопроводов при подобранном режиме конденсации жидких фракций; достаточно охлажденный углеродсодержащий остаток, выгружаемый из дозатора выгрузки. За критерий оптимальности ведения процесса пиролиза отходов резинотехнических изделий принят максимальный выход жидкого углеводородного топлива. Экспериментально установлено, что:

- температура, соответствующая максимальному выходу жидкой фракции (40-45 %), составляет 487 °С;
- оптимальная температурная область ведения процесса – 450-600 °С.

В результате процесса переработки отходов резинотехнических изделий методом пиролиза получены следующие продукты в количестве, %:

- жидкое углеводородное топливо – 40-45;
- пиролизные газы – 10-30;
- остаточный углерод – 25-30;
- металлокорд – 10.

Исследован фракционный состав жидкого углеводородного топлива, полученного при переработке отходов резинотехнических изделий, на лабораторной установке АРН-Лаб-03 в соответствии с требованиями ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава». Из пиролизного топлива выделено 14 % бензиновой фракции, 39 % дизельной фракции и 47 % мазута [9]. Также определены физико-химические показатели полученного топлива. Определение плотности пиролизного топлива проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности». Вязкость определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости». Определение массовой доли серы в полученном топливе проводили рентгенофлуоресцентным методом на приборе X-Supreme 8000 в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50442-92 «Нефть и нефтепродукты. Рентгенофлуоресцентный метод определения серы». Содержание воды в пиролизном топливе определяли методом Дина-Старка в соответствии с требованиями ГОСТ 2477-65 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения содержания воды». Результаты проведенных исследований показывают, что пиролизное топливо можно рекомендовать к использованию в качестве жидкого топлива для котлоагрегатов, а также в качестве заменителя мазута.

Дальнейшие исследования направлены на изучение возможности более широкого использования пиролизного топлива и получения качественных моторных топлив на его основе. Нами определены физико-химические показатели фракций, выделенных из пиролизного топлива, такие как плотность, вязкость, массовое содержание серы. Определение плотности осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности». Вязкость определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости». Определение массового содержания серы во фракциях осуществляли согласно

ГОСТ Р 50442-92 «Нефть и нефтепродукты. Рентгенофлуоресцентный метод определения серы».

**Результаты исследования.** В табл. 1 представлены результаты проведенных исследований в сравнении с аналогичными показателями фракций, выделенных из нефти.

Таблица 1

**Характеристика физико-химических показателей фракций, выделенных из пиролизного топлива и нефти**

Фракция	Исследуемый объект	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с	Массовая доля серы, %
Бензиновая	Пиролизное топливо	0,8356	133,14	0,286
	Нефть месторождения Карачаганак	0,7138	16,24	0,146
	Нефть месторождения Чинарево	0,7389	34,16	0,088
Дизельная	Пиролизное топливо	0,8607	249,48	0,555
	Нефть месторождения Карачаганак	0,7928	59,92	0,241
	Нефть месторождения Чинарево	0,8206	125,44	0,315
Мазут	Пиролизное топливо	0,9105	–	0,568
	Нефть месторождения Карачаганак	0,8425	–	0,927
	Нефть месторождения Чинарево	0,8721	–	0,879

Как видно, плотность бензиновой, дизельной фракций и мазута, выделенных из пиролизного топлива, составляет соответственно 0,8356, 0,8607 и 0,9105 г/см<sup>3</sup> и практически не отличается от значений плотности аналогичных фракций, выделенных из нефти Карачаганакского и Чинаревского нефтегазоконденсатных месторождений. Содержание массовой доли серы во

фракциях, выделенных из пиролизного топлива, колеблется в диапазоне 0,286-0,568 мас. %, что выше допустимого значения.

На базе Уфимского государственного нефтяного технического университета нами проведены дальнейшие исследования физико-химических показателей дизельной фракции (табл. 2). Как видно, температура вспышки исследуемой дизельной фракции составляет 63 °С и незначительно превышает значение, предъявляемое к дизельным топливам (30-55 °С по ТР ТС 013/2011 [10]), что может быть обусловлено наличием в дизельной фракции некоторого количества высококипящих компонентов.

Таблица 2

**Физико-химические характеристики дизельной фракции**

Показатель	Норматив ТР ТС 013/2011	Фактическое значение
Температура вспышки в закрытом тигле, выше °С	30-55	63
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	8-11	13,6
Коксуемость 10 %-ного остатка разгонки, % мас., не более	не нормируется	0,53
Зольность, % мас., не более	не нормируется	0,05
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С, мкм, не более	460	583
<i>Фракционный состав</i>		
при температуре 250 °С перегоняется, % об., менее	–	63
при температуре 350 °С перегоняется, % об., не менее	–	88
95 % об. перегоняется при температуре, °С, не выше	360	336

Коксуемость и зольность дизельной фракции составляют 0,53 и 0,05 мас. % соответственно. Смазывающая способность исследуемой фракции составляет 583 мкм, что несколько превышает требования, предъявляемые к дизельному топливу (460 мкм по ТР ТС 013/2011). Фракционный состав исследуемой дизельной фракции близок по значениям к фракционному составу дизельных топлив: 95 % об. перегоняется при температуре 336 °С, и соответствует нормам, предъявляемым Техническим регламентом (до 360 °С по ТР ТС 013/2011).

**Обсуждение результатов.** В ходе исследования установлено, что содержание массовой доли серы во фракциях, выделенных из пиролизного топлива (0,286 % мас. – для бензиновой и 0,555 % мас. – для дизельной), выше допустимого, что свидетельствует о необходимости дополнительной очистки фракций от серосодержащих соединений. Значения вязкости бензиновой и дизельной фракций, выделенных из пиролизного топлива, равные 133,14 и 249,48 мм<sup>2</sup>/с соответственно, превышают значения вязкости аналогичных фракций, выделенных из нефти Карачаганакского и Чинаревского месторождений, однако это не будет препятствовать применению этих фракций в качестве компонентов моторных топлив, так как в процессах очистки вязкость фракций снижается.

Для снижения коксуемости и зольности в состав дизельной фракции целесообразно ввести товарное дизельное топливо в количестве 20 % (об.). Смазывающую способность можно скорректировать добавлением метиловых эфиров жирных кислот.

### **Выводы**

Таким образом, осуществление гидроочистки и других технологических процессов позволит довести дизельную фракцию до требований стандарта. При этом повысится цетановое число и, следовательно, цетановый индекс фракции. В результате переработка отходов резинотехнических изделий методом пиролиза позволит получить дополнительный источник моторных топлив в виде дизельной фракции, а также решить проблему рациональной утилизации резинотехнических отходов и снизить их негативное влияние на окружающую среду.

Благодаря внедрению результатов научных исследований в промышленное производство станет возможным получение качественных товарных топлив, рыночная стоимость которых будет ниже нефтяного аналога, что положительно отразится на ситуации на топливном рынке в Казахстане.

### Список литературы

1. Новичков Ю.А., Петренко Т.В., Братчун В.И. Исследование процесса бескислородного пиролиза изношенных автомобильных шин // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2005. – Вып. 29. – С. 68-70.
2. Макаров А.В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза / Вестник ТОГУ. – 2008. – № 1 (8). – С. 247-258.
3. Устинов В.А., Козлита А.Н., Люлькин М.С. Выбор температурного режима в аппарате пиролиза на основании химии процесса // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 3. – С. 208-214.
4. Cumali İlkılıça, Hüseyin Aydın. Fuel production from waste vehicle tires by catalytic pyrolysis and its application in a diesel engine // Fuel Processing Technology. – 2011. – Vol. 92. – P. 1129-1135.
5. Hüseyin Aydın, Cumali İlkılıça. Optimization of fuel production from waste vehicle tires by pyrolysis and resembling to diesel fuel by various desulfurization methods // Fuel. – 2012. – Vol. 102. – P. 605-614.
6. Philipp Rathsack, André Rieger, Roland Haseneder, Dirk Gerlach, Jens-Uwe Repke, Matthias Otto. Analysis of pyrolysis liquids from scrap tires using comprehensive gas chromatography-mass spectrometry and unsupervised learning // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2014. – Vol. 109. – P. 234-243.
7. Suat Uçar, Selhan Karagöz. Co-pyrolysis of pine nut shells with scrap tires // Fuel. – 2014. – Vol. 137. – P. 85-93.
8. Ana-María Al-Lal, David Bolonio, Alberto Llamas, Magán Lapuerta, Laureano Canoira. Desulfurization of pyrolysis fuels obtained from waste: Lube oils, tires and plastics // Fuel. – 2015. – Vol. 150. – P. 208-215.

9. *Бурахта В.А., Банникова А.А.* Исследование характеристик компонентов моторных топлив, полученных при переработке резинотехнических изделий. – Вестник КарГИУ. – 2015. – № 1 (8). – С. 80-84.

10. ТР ТС 013/2011. О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту. – Введ. впервые; введ. 18.10.11. – Астана, Мин-во нефти и газа, 2015. – 22 с.

***Бурахта Вера Алексеевна***, доктор химических наук, профессор, проректор по научной работе и международному сотрудничеству, тел. 8-747-760-80-09, e-mail: vburakhta@mail.ru

***Гаврилина Ирина Игоревна***, магистр технических наук, старший научный сотрудник, тел. 8-705-621-69-49, e-mail: antares\_irina@bk.ru