

Производство автомобильных бензинов путем переработки пластиков как перспективное направление "зеленой" топливной энергетики

Т.В. Даниленко, к.т.н.¹,
И.Р. Насиров, к.т.н.²
"НК "Роснефть",
©ООО "ThyssenKrupp Industrial Solutions" (RUS)

e-mail: t.danilenko@mail.ru

Автомобиль бензинларин пластик материалларин емали юля алимасы "яшил" янасац энергетиканин перспективлигини кили

T.V. Danilenko, En.1, I.R. Nasirov, En.2
"Rosneft" Neft Şirkəti,
"MMC"ThyssenKrupp Industrial Solutions (RUS)
Açar sözlər: "yaşıl" kəndirliyyat, benzinin xassaları, plastik materialların emalı, avtomobil benzini, piroliz, katalitik krekinq, hidrotermal mayeləşdirmə, etanol əlavələri, oktan ədədi.

Автомобиль бензинларин итешили үчүн хаммалар алимасы маqsадла пластик материалларин емали технологиянин татбици актуальли ва практик اهمийяти асадаландирилми. Bununla da нефт – газ комплекси ва qalıq karbohidrogenlar xammali اساسinda amtaaz benziniarin ulitizatsiyasi problemaların həlli emali mümkündür. Piroliz, katalitik krekinq va hidrotermal mayeləşdirmə daxil olmaqla plastiklerin emaliniin perspektivli texnologiyaların tətqidi edilmiş, ehtac da avtomobil yanacaqının sarayə istehsalinin əsası olan alkan benzin komponentinin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması üçün təkliflər verilmişdir. Sonuncular qismində etanol əsasında spirt-qazqıx otan yüksəkəndirli əlavələri istifadəsi əsaslandırılmışdır. Göstərilmiş ki, spirtin istifadəsi təkcə yanacaq otan ədədinin yüksəldilməsi deyil, həmçinin bahalı karbohidrogen komponentinin qənaət edilməsində, benzinin tərkibindəki toksik yüksək oktanlı aromatik karbohidrogenlərin azaldılmasında imkan verir, riformat əsasında benzin fraksiyalarını otan ədədinin paylanmasını yaxşılaşdırır, ehtac da qeyri-neft əsası xammal hesabına yanacaq istehsalı bazasını genişləndirir. Tədqiqat göstərilmiş ki, spirtin optimal konsentrasiyası 10 % təşkil edir, çünki belə yanacaq, bir tərəfdən, benzinin detonasiya dayanıqlığını artırmış və faza stabilliyini təmin edir, digər tərəfdən, avtomobil mühərrikinin əlavə təmirinəməsinə ehtiyac olmur.

Production of motor benzene via plastic processing as perspective direction of "green" fuel power industry

T.V. Danilenko, Cand. in Tech. Sc., I.R. Nasirov, Cand. in Tech. Sc.²
"Rosneft" OJSC

©ThyssenKrupp Industrial Solutions LLC (RUS)

Keywords: "green" economy, benzene properties, plastic processing, motor benzene, pyrolysis, catalytic cracking, hydrothermal liquefaction, ethanol additives, octane number.

The paper reviews the topicality and practical significance of the implementation of processing technology of plastic with the purpose of obtaining raw material for manufacturing motor benzene. It is shown that this case is the advantageous strategy for the damage reduction to the environment from the oil-gas complex and usage of commercial gasoline based on the fossil hydrocarbon crude and for the utilization of plastic wastes as well. The perspective technologies of plastic processing including pyrolysis, catalytic cracking, hydrothermal liquefaction based on the bibliographic review and the recommendations on the improvement of benzene component obtained as a basis for industrial production of motor benzene are presented. In the capacity of the last ones, the implementation of alcohol mixed octane-increasing additives based on the ethanol is justified. It is shown that using alcohol not only increases octane number of the fuel, but also saves expensive hydrocarbon components, allows reducing the toxic high-octane aromatic hydrocarbons in the gasoline, improves the distribution of octane numbers by benzene fractions based on the reformat, as well as expands the crude base for fuel production due to the non-oil raw.

The studies showed that adding 10 % of alcohol is the optimum concentration, as on the one hand it provides the growth of knock characteristics and phase stability of the gasoline, on the other hand does not require additional regulation of motor engine for using such fuel.

Ключевые слова: "зеленая" экономика, свойства бензина, переработка пластика, автомобильные бензины, пиrolиз, каталитический крекинг, гидротермальное сжигание, этаноловые добавки, октановое число.

DOI:10.37474/0365-8554/2020-10-54-61

Проблематика развития альтернативной энергетики связана с соответствующими процессами заката "углеводородной" экономики. Современный мир переживает этап глобальной трансформации технологических укладов, когда на смену традиционной сырьевой экономике приходят виртуальные цифровые системы, заменяющие человека во многих сферах рутинной производственной деятельности. Углеводородная экономика, составляющая основу экономического развития на протяжении многих десятилетий, со времен окончания второй мировой войны и до начала нового тысячелетия, основанная на масштабном использовании органических видов топлива, уступает место новой системе производства и, так называемой "зеленой" или чистой энергетике, определяющей уровень и качество жизни людей в экологически чистой среде. Жесткая вертикальная интеграция как основа промышленного производства сырьевой экономики уступает место горизонтальной сетевой структуре организации бизнеса, в том числе и энергетического, трансформируя энергетический рынок в модель множества участников, в отличие от предшествующей модели рынка крупных глобальных игроков.

В связи с этим рассмотрены актуальных трендов "зеленой" экономики в топливно-энергетической сфере, а именно, возможности переработки пластиков в товарный бензин, имеет важное значение для рационального использования природных ресурсов в экологически чувствительной среде. Следует отметить, что вторичное использование продуктов нефтехимического производства, каковыми являются пластик и другие полимерные материалы, само по себе является комплексным

решением, направленным, с одной стороны, на снижение экологической нагрузки, связанной с производством и использованием автомобильного топлива на ископаемом углеводородном сырье, с другой стороны – с эффективной утилизацией отходов пластика, проблематика накопления которых, в связи с колоссальными сроками их разложения в естественной среде, также является одной из насущных задач обеспечения устойчивого развития.

Представляется целесообразным начать рассмотрение вопроса с описания трансформаций, которым подвергается одна из ключевых отраслей экономики практически каждой страны мира – нефтегазовой отрасли.

Нефтегазовый комплекс (НГК) генерирует триллионы долларов прибыли и является основой промышленности как добывающих, так и потребляющих стран [1]. Однако происходящие технологические изменения, связанные как с повышением энергоэффективности, так и с внедрением альтернативных источников энергии приводят к снижению роли НГК. Важное и растущее влияние на будущее нефтегазовой отрасли оказывают экологические требования, в частности Парижское соглашение о сдерживании роста мировой температуры.

Катастрофические масштабы принимает загрязнение окружающей среды в результате деятельности предприятий НГК. Стоит отметить, что основная часть трудно утилизируемых отходов – это результат производственной деятельности и получаются они из углеводородного сырья (пластик, полимерные материалы и т.д.). Тут возникает дилемма – "не вырабатывать" или "перерабатывать". Не вырабатывать – значит, тормозить развитие и переходить на более затратные решения и технологии. Переработка отходов и расширение вторичного использования, с одной стороны, сократят потребности в производстве "свежих" материалов, а с другой – потребуют ресурсов, включая затраты топлива и энергии. Меняющаяся тенденция глобального рынка – растущие инвестиции в нефтехимию, глобальный фокус на энергосбережении и сохранении окружающей среды, повышающаяся популярность новых "чистых технологий" – ставят бизнес перед необходимостью заранее начать процессы трансформации, чтобы сыграть на опережении и продлить жизненный цикл нефтегазовой индустрии.

Помимо ценового коллапса нефтяной отрас-

ли угрожает и конкуренция со стороны новых перспективных видов энергоресурсов. Что будет следующим технологическим прорывом? Возможно, гидратная революция, бенефициарами которой выступают Япония, Израиль и ряд других стран.

Дискуссии по поводу перспектив нефтегазовой отрасли масштабны и крайне остры. Между тем, многое указывает на перспективы упадка отрасли и скорое ее замещение, в том числе, так называемой "зеленой энергетикой". При этом инерционное движение нефтегазовой отрасли некоторое время будет еще сохраняться. Так, извлекаемые запасы сланцевой нефти в мире велики, несмотря на относительно высокую себестоимость ее добычи. В то же время не стоит сбрасывать со счетов и традиционные "дешевые" источники сырья. Месторождения в Ираке, Иране, Саудовской Аравии, где себестоимость барреля нефти не превышает \$5 (для сравнения американская нефть на скважине стоит \$25/барр., российская – \$10, венецуйская – \$6.5), хотя и существенно выработаны, но все еще далеки от полного истощения [2]. А значит, у нефтяной отрасли еще долго будут иметься и "паразит", и крайне "мягкая подушка" для падения.

Прогноз развития нефтегазовой отрасли показывает, что перспективные направления индустриальной стратегии следует формировать с преобладанием нефтехимического вектора [2]. По всей видимости, в обозримом будущем, на основе ископаемого топлива будут формироваться преимущественно продукты и технологии нефте- и газохимии для производства современных конкурентоспособных продуктов и материалов, среди которых большой объем будут занимать пластик и полимеры.

Тенденция общего снижения потребления углеводородов в качестве основы для производства топлива для транспортной отрасли, наблюдаемая в последние два десятилетия, по всей видимости, сохранится, и, вероятно, усилится, что наглядно иллюстрируют данные рис. 1 и прогноза аналитиков корпорации British Petroleum [3].

Данный тренд будет стимулировать, с одной стороны, прогнозируемый рост себестоимости извлекаемого ископаемого топлива, связанный с дальнейшим истощением запасов и усложнением условий добычи, а с другой, тенденцию к интегральному обеспечению устойчивого эколого-экономического развития, важнейшим

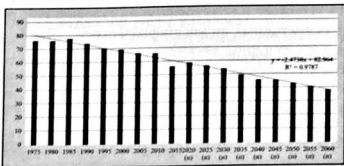


Рис. 1. Динамика удельного веса ископаемого углеводородного сырья в мировом производстве товарного бензина

аспектом которого выступает сокращение, вплоть до абсолютного минимума, выбросов, загрязняющих и изменяющих климат.

Учитывая то, что на автомобильный транспорт приходится до 75 % общемировой техногенной эмиссии CO₂ в атмосферу, важнейшим "полем" сражения за отказ от углеводородного топлива становится автотранспортная отрасль. Соответствующие действия охватывают несколько принципиальных направлений: повышение экономичности потребления топлива (включая переход на двигатели меньшей мощности), совершенствование двигателей, переход на альтернативные виды топлива или использование электрической энергии. Так, например, аналитики компании Volkswagen прогнозируют, что к 2035 г. 50 % продаж новых автомобилей в Китае будет приходиться на новые энергетические транспортные средства (NEVs), и уже в 2020 г. Volkswagen намеревается продать 400.000 NEV, а в 2025 г. – около 1.5 млн. Однако, несмотря на популярность и активное развитие, это направление, не являясь абсолютной панaceей с экологической точки зрения, поскольку при оценке конечной нагрузки для окружающей природной среды, масштабы негативного воздействия, возникающие при производстве батарей высокой емкости, сопоставимы с экологическими затратами сегмента НГК, направленного на производство автомобильного бензина [4, 5], а вопрос безопасной утилизации отработанных батарей на концептуальном уровне вовсе не решен.

Следовательно, важные тренды развития "зеленой" топливной энергетики касаются разработки альтернативного топлива, включая получение товарных бензинов из продуктов вторичной переработки отходов [6, 7].

Одним из перспективных направлений "зеленой" топливной энергетики является переработка пластика в автомобильное топливо. Дан-

ное направление может быть охарактеризовано как стратегия "двойного выигрыша" с позиций экологии, поскольку наряду с увеличением в топливном балансе доли высокоэкологичного топлива, одновременно интенсифицируется переработка пластика, утилизация которых является одной из крупнейших эколого-экономических проблем, ведь, начиная приблизительно с 1950 г., в мировом масштабе было произведено более 8 млрд. т. пластика, и 6 млрд. т. превратились в мусор [8]. Динамика объемов генерации отходов из пластика в глобальном масштабе представлена на рис. 2. Отсюда очевидно экспоненциальный рост, который едва ли удастся стремительно преодолеть, несмотря на все усилия "зеленых".

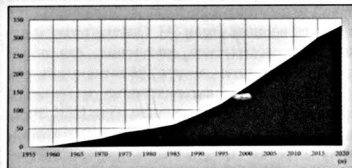


Рис. 2. Динамика ежегодной совокупной генерации пластиковых отходов в мировом масштабе (оценка 2020 г. – данные Greenpeace)

Среди городских отходов основную долю пластмасс составляют полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат, поливинилхлорид и полистирол. Другим значимым источником пластикового загрязнения являются отходы, полученные в результате его использования в промышленном производстве или даже из источников сырья, например, когда производство не соответствует спецификациям по разным причинам. Пластмассы применяются в самых разных аспектах, таких как упаковка всех типов, строительные, электрические и электронные материалы, мебель, игрушки, одежда и т. д., а учитывая их характеристики, в частности, очень низкую реакционную способность, после использования и утилизации это превращает их в серьезную экологическую проблему.

Несмотря на то, что жизненный цикл различных видов пластика существенно варьируется – от 40 % (поливинилхлорид) до 95 % (полиэтилентерефталат) пластика, производимого в данном конкретном году, будет утилизировано в этом же году [9], тогда как пластиковые отходы со сроками полного разложения в печ-

ве 100–500 и более лет образуют высочайшую экологическую нагрузку [10].

Общий сброс пластиковых отходов в океан составляет более 8 млн. т в год. Из всех пластмасс, произведенных за последние 65 лет (8.3 млрд. т), около 12 % были сожжены, и только 9 % были переработаны. Оставшиеся 79 % ушли на свалки или в океаны. Всемирный экономический форум прогнозирует, что к 2050 г. океаны будут содержать больше пластиковых отходов, чем рыб, если люди будут продолжать сбрасывать отходы в водоемы [11]. Утилизация пластика в мировом океане формирует предпосылки для экологической катастрофы.

Несмотря на наращивание объемов выпуска биоразлагаемого пластика, его доля в мировом производстве изделий из пластмасс не превышает 10–12 % в стоимостном выражении, а в натуральном еще меньше [12]. В то же время, несмотря на умеренные прогнозы роста производства биопластика, снижение экологической нагрузки также требует одновременно и масштабного сокращения потребления пластика, и увеличения объемов вторичной переработки пластиковых отходов (доля вторичного использования пластмасс в настоящее время составляет 9–30 %) [13].

В плане переработки вторичное использование пластика для прямого производства других пластиковых потребительских товаров (механическая переработка) существенно ограничено необходимостью организации раздельного сбора и сортировки пластикового мусора, а также приводит к получению продуктов второго поколения более низкого качества. Прямое сжигание для производства энергии обычно неэффективно, оно ухудшает качество воздуха и может выделять агрессивные и канцерогенные вещества. В этом смысле наиболее перспективными для решения проблем указанного масштаба являются технологии деструктивной переработки пластиковых отходов, в частности переработка пластика в жидкие углеводороды и автомобильное топливо.

Обзор научных публикаций, в частности, соответствующих эмпирических исследований физико-химических аспектов технологий переработки пластика в автомобильные бензины, позволяет констатировать следующее.

1. *Пиролиз с последующей гидрообработкой продуктов.*

При переработке отходов пластика, содержащего значительное количество хлора, бума-

ги и неорганического материала в сырье для изготовления товарного бензина, оптимальные результаты дает применение технологии, в соответствии с которой отходы вначале подвергаются пиролизу при температуре 600–650 °C с последующей гидрообработкой пиролизной жидкости при низких давлениях водорода при 440–450 °C [14].

2. *Каталитический крекинг.*

В исследовании по каталитическому крекингу отходов пластика неидентифицированного состава при различных температурах до 500 °C выявлено, что данным способом можно получить сложные смеси углеводородов, при этом основной объем смесей, составивший около 60 %, соответствует характеристикам товарного бензина с высоким октановым числом (ОЧ) и высокой концентрацией ароматических веществ [15].

3. *Гидротермальное сжигание – использование сверхкритической воды для преобразования отходов пластика в нефть.*

При исследовании данной технологии отходы полипропилена были преобразованы в товарный бензин с применением сверхкритической воды при температуре 380–500 °C и давлении 23 МПа на протяжении реакции 0.5–6 ч. Нефтепродукты состояли из олефинов, парафинов, циклических и ароматических соединений. Предварительные исследования показывают, что гидротермальное сжигание имеет высокий потенциал для преобразования отходов полипропилена в сырье для производства смесей товарного бензина, в сравнении со сжиганием и механической переработкой по критерию энергоэффективности и низких выбросов CO₂ [16].

Во многих случаях, основным недостатком предлагаемых технологий является сравнительно невысокое качество получаемого топлива, что снижает возможности его применения, требует его дальнейшей обработки для доведения до товарного продукта, и, в своей совокупности, может оказать дополнительное негативное влияние на спрос, и будет нивелировать саму идею развития данного направления "зеленой" экономики.

Следует особо учитывать то обстоятельство, что даже стабильная и с достаточно высоким ОЧ смесь углеводородов бензиновой фракции еще не является товарным бензином. Для целей массового использования полученных в результате конверсии продуктов, жидких

углеводородов, важным аспектом являются их потребительские свойства, определяющиеся совокупностью их технических характеристик. На нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), товарный продукт получают путем смешивания различных компонентов бензина, добавления необходимых присадок и кислородосодержащих добавок. Последние являются необходимыми с точки зрения соблюдения экологических требований к бензину, как с целью обеспечения требуемого стандартами США содержания кислорода в бензине (для риформированного бензина при усреднении требуется минимум 2.1 % кислорода по массе, что соответствует приблизительно 11.7 % об. метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ) или 5.8 % об. этанола [17]), так и с целью замещения высокооктановых, но строго ограниченных по содержанию, ароматических соединений.

Было бы крайне наивно думать, что крупные нефтяные компании, владеющие основными НПЗ, заинтересуются переработкой пластика с получением автомобильного топлива или же станут приобретать полученные продукты переработки для использования в компаундировании собственных товарных топлив на НПЗ. Наиболее вероятными потенциальными инвесторами практического применения вышеуказанных технологий производства бензинов из пластиковых отходов будут небольшие предприятия, которые с помощью данного производства смогут участвовать в снабжении потребителей топливом на региональном уровне. Для таких инвесторов важным фактором станет простота и беспрепятственность доведения получаемого бензинового "сырца" до товарного продукта. При этом речь идет о "зеленой экономике" со значительными государственными дотациями во всех развитых странах мира. Чтобы соответствующий интерес "вышел" за пределы научных лабораторий и заинтересовал коммерсантов, важно обеспечить системное улучшение потребительских свойств товарных бензинов, производимых путем применения одного из перспективных методов переработки отходов пластика.

Одним из наиболее привлекательных способов улучшения потребительских свойств автомобильных бензинов, как с технической, так и с практической точек зрения, является применение кислородосодержащих (оксигенатных) октановых добавок. Как известно, наиболее широкое распространение получи-

ли добавки на основе эфиров и спиртов. Эфиры, в частности МТБЭ и этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ), широко применяются в практике производства товарных бензинов, спирты же имеют меньший охват использования, хотя не менее интересны для перспективного развития "зеленой" энергетики. В рамках проводимых нами исследований, рассматривались закономерности и возможности оптимизации применения спиртов (метилового, этилового, изопропилового и изобутилового) в качестве октановых добавок.

Следует отметить, что широкие возможности применения спиртов и, прежде всего, этанола, в качестве добавок, используемых для улучшения потребительских качеств автомобильных бензинов, связаны не только с высоким ОЧ, но и со способностью снижать вредные выбросы при сгорании топлива, а также с низкой экологической нагрузкой, по причине производства спиртов из возобновляемого сырья.

При этом этанол является наиболее распространенным в товарном производстве продуктом из алифатических спиртов, со значительными возможностями наращивания выпуска [18, 19], что позволяет в полной мере удовлетворить промышленные потребности при условии масштабного внедрения соответствующих добавок, как для целей улучшения качества любых товарных бензинов, так и непосредственно для улучшения потребительских характеристик бензинов, получаемых путем применения рассмотренных перспективных технологий вторичной переработки пластиков. Кроме того, что этанол – это возобновляемый компонент, простой в производстве и обращении, его можно со всей определенностью назвать уже традиционным компонентом бензинов США и Европы, хоть и не используемым повсеместно. Важно понимать, что применение этанола и его смесей в качестве улучшающих добавок, обеспечивает бензину не только повышение ОЧ и выполнение норм по содержанию кислорода, но и дополняет качественные характеристики бензина необходимыми моющими свойствами.

Длительное время ведутся исследовательские и практико-ориентированные разработки, с целью улучшения характеристик спиртосодержащих топлив, включая улучшение фазовой стабильности, понижение коррозионной агрессивности и т.д. [20]. При этом проведенные нами исследования указывают на высокую

антидетонационную эффективность спиртов и их смесей, применяемых для улучшения характеристик товарных автотранспортных бензинов.

Исследованиями также установлено наличие синергетического эффекта октановых свойств при совместном присутствии этанола с метиловым, изопропиловым и изобутиловым спиртами [21]. Величина этого эффекта зависит от качественного и количественного состава спиртовой добавки, ее концентрации в спирто-бензиновой смеси и группового состава базового бензина и варьируется в пределах 0.4–3.3 октановых единиц (рис. 3).

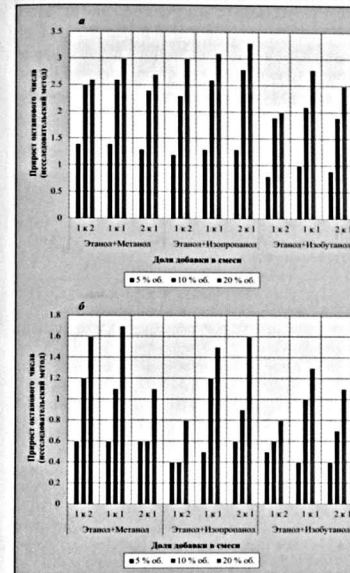


Рис. 3. Прирост октанового числа за счет взаимного влияния спиртов в композициях фракции НК-62 прямогонного бензина (а) и композиций риформата (б) со смесями спиртов

нами было установлено, что топливо с добавлением смеси этанола с другими спиртами, такими как изобутанол и изопропанол, достигает необходимой фазовой стабильности (температура помутнения минус 30 °С) без до-

полнительного обезвоживания этанола свыше 4 % об. при концентрациях этанола в спиртовой добавке до 30 % об. (рис. 4).

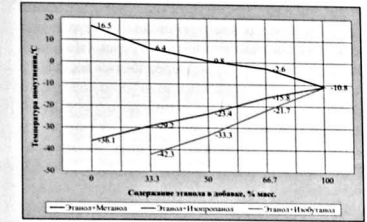


Рис. 4. Зависимость температуры помутнения спирто-бензиновых смесей от содержания этанола в спиртовой добавке

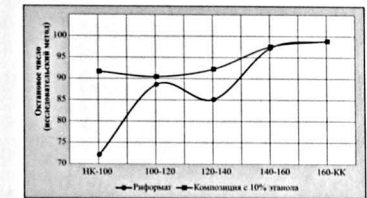


Рис. 5. Распределение детонационной стойкости по фракциям риформата и его композиции с 10 % об. этанола

Кроме того, использование спиртов не только повышает ОЧ топлива, но и экономит дорогостоящие углеводородные компоненты (такие как риформат), дает возможность снизить содержание токсичных высокооктановых ароматических углеводородов в бензине, улучшает распределение ОЧ по фракциям бензинов, а также расширяет сырьевую базу для производства топлива за счет сырья нефтяного происхождения.

Исследования детонационной стойкости отдельных фракций бензинов на примере продукта процесса каталитического риформинга [21] показывают, что добавление этилового спирта не только повышает ОЧ, но и улучшает распределение детонационной стойкости по фракциям, что позволяет автомобильному двигателю работать равномерно на всех режимах его эксплуатации.

Опытные данные по распределению анти-

детонационной стойкости по фракциям чистого риформата и его композиции с 10 % об. этанола приведены на рис. 5.

Таким образом, можно констатировать многочисленные преимущества использования спиртов, прежде всего, этанола для улучшения качества автомобильного бензина, получаемого путем вторичной переработки пластика, что позволяет рассматривать предложенную технологию в качестве системного улучшения перспективных способов получения сырья для изготовления товарного бензина из переработанных отходов, обеспечивая возможность масштабного промышленного применения новой "зеленой" технологии производства топлива.

Выводы

Состояние экологии и текущие тенденции автомобилестроения, вероятнее всего, заставят нефтяные компании отказаться от производства больших объемов автомобильных топлив.

Список литературы

1. Филимонова И.В., Эдер Л.В., Немов В.Ю., Мишенин М.В. Комплексный экономический анализ компаний нефтегазовой отрасли России // Экономический анализ: теория и практика, 2019, т. 18, № 5 (488), с. 925-943.
2. Насиров И. От эпохи нефти к эре нефтехимии // Нефтегазовая вертикаль, 2018, № 12, с. 58-67.
3. *Petroleum*, British. BP Statistical Review of World Energy Report. BP: London, UK, 2019.
4. Юлкин М.А. Глобальная декарбонизация и ее влияние на экономику России // Научный семинар ИГКЭ Росгидромета, 2019, т. 6, 80 с.
5. Wang Y. et al. From the Perspective of Battery Production: Energy-Environment-Economy (3E) Analysis of Lithium-Ion Batteries in China // Sustainability, 2019, v. 11, No 24, p. 6941.
6. Palos R. et al. Assessing the potential of the recycled plastic slow pyrolysis for the production of streams attractive for refineries // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2019, v. 142, 104668.
7. Hsu C.S., Robinson P.R. Gasoline Production // Petroleum Science and Technology. Springer, Cham, 2019, pp. 189-210.
8. *Переработка* пластмасс: оценка рынка и перспективы // Наука за рубежом, 2018, № 75, 33 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.issras.ru/global_science_review/Nauka_zh_rubejom_n75.pdf.
9. *Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses*. Paris: OECD Publishing, 2018. [E-Source]. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264301016-en>.
10. Задера М.И., Бабурина А.Д. Снижение нагрузки на окружающую среду, вторичное использование отходов // Лучшая научно-исследовательская работа 2019, с. 80-87.
11. Yaglakshmi K. N., Singh S. Plastic Waste: Environmental Hazards, Its Biodegradation, and Challenges // Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety. Springer, Singapore, 2020, pp. 99-133.
12. Mianad R. et al. Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving towards pyrolysis based biorefineries // Frontiers in energy research, 2019, vol. 7, p. 27.
13. Lebreton L., Andrady A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal // Palgrave Communications, 2019, v. 5, No 1, pp. 1-11.
14. Chen W.T., Jin K., Linda Wang N.H. Use of supercritical water for the liquefaction of polypropylene into oil // ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2019, v. 7, No 4, pp. 3749-3758.
15. *Reciclado energético de plásticos: co-procesamiento en refinerías y craqueo térmico* // Petroeconomica On-Line, 24 Mayo 2018 [E-Source]. URL: <https://www.revistapetroquimica.com/reciclado-energetico-de-plasticos-co-procesamiento-en-refinerias-y-craqueo-termico>.

При этом оставшийся спрос на топливо может быть частично удовлетворен за счет строительства установок по переработке пластиковых отходов в моторное топливо с использованием доступного и недорогого этанола в качестве добавки. Таким образом, используемый нами автомобильный бензин будет частично продуктом вторичной переработки, и частично возобновляемым энергоресурсом без прямого потребления нефти и газа.

При условии доработки современных технологий получения сырья для производства товарного бензина из отходов пластика с применением методов улучшения товарного качества такого бензина за счет добавок из этилового спирта или смесей с его участием, новая "зеленая" технология становится перспективной не только в рамках исследований в научных лабораториях, но и как бизнес-идея, прежде всего, для небольших эколого-ориентированных нефтехимических производств.

16. Perkins G. et al. Recent advances in liquefaction technologies for production of liquid hydrocarbon fuels from biomass and carbonaceous wastes // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, v. 115, 109400.
17. *Gasoline Standards*: United States Environmental Protection Agency, 2020. [E-Source]. URL: <https://www.epa.gov/gasoline-standards>.
18. Damodharan D. et al. Utilization of waste plastic oil in diesel engines: a review // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2019, pp. 1-17.
19. Dobó Z. et al. Transportation fuel from plastic wastes: Production, purification and SI engine tests // Energy, 2019, v. 189, 116353.
20. Опарина Л.А., Кольванов Н.А., Гусарова Н.К., Сапрыгина В.Н. Оксигенатные добавки к топливу на основе возобновляемого сырья // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2018, т. 8, № 1, с. 19-34.
21. Даниленко Т.В. Разработка топливных композиций бензинов с добавлением алифатических спиртов: дисс. канд. техн. наук: 05.17.07. – Москва, 2005, 169 с.

References

1. Filimonova I.V., Eder L.W., Nemov V.Yu., Mishenin M.V. Kompleksniy ekonomicheskiy analiz kompaniy neftegazovoy otirasli Rossii // Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika, 2019, t. 18, No 5 (488), s. 925-943.
2. Nasirov I. Ot epokhi nefli k ere neftekimii // Neftegazovaya vertikal', 2018, No 12, s. 58-67.
3. *Petroleum*, British. BP Statistical Review of World Energy Report. BP: London, UK, 2019.
4. Yulkin M.A. Global'naya dekarbonizatsiya i yeyo vliyaniye na ekonomiku Rossii // Nauchniy seminar IGKE Rosgidrometa, 2019, t. 6, 80 s.
5. Wang Y. et al. From the Perspective of Battery Production: Energy-Environment-Economy (3E) Analysis of Lithium-Ion Batteries in China // Sustainability, 2019, v. 11, No 24, p. 6941.
6. Palos R. et al. Assessing the potential of the recycled plastic slow pyrolysis for the production of streams attractive for refineries // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2019, v. 142, 104668.
7. Hsu C.S., Robinson P.R. Gasoline Production // Petroleum Science and Technology. Springer, Cham, 2019, pp. 189-210.
8. *Pererabotka* plastmass: otsenka rynka i perspektivy // Nauka za rubezhom, 2018, No 75, 33 s. [Elektronniy resurs]. URL: https://www.issras.ru/global_science_review/Nauka_zh_rubejom_n75.pdf.
9. *Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses*. Paris: OECD Publishing, 2018. [E-Source]. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264301016-en>.
10. Zadera M.I., Baburina A.D. Snizheniye nagruzki na okruzhayushchuyu sredu, vtorichnoye ispol'zovaniye otkhodov // Luchshaya nauchno-issledovatel'skaya rabota, 2019, s. 80-87.
11. Yaglakshmi K. N., Singh S. Plastic Waste: Environmental Hazards, Its Biodegradation, and Challenges // Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety. Springer, Singapore, 2020, pp. 99-133.
12. Mianad R. et al. Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving towards pyrolysis based biorefineries // Frontiers in energy research, 2019, vol. 7, p. 27.
13. Lebreton L., Andrady A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal // Palgrave Communications, 2019, v. 5, No 1, pp. 1-11.
14. Chen W.T., Jin K., Linda Wang N.H. Use of supercritical water for the liquefaction of polypropylene into oil // ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2019, v. 7, No 4, pp. 3749-3758.
15. *Reciclado energético de plásticos: co-procesamiento en refinerías y craqueo térmico* // Petroeconomica On-Line, 24 Mayo 2018 [E-Source]. URL: <https://www.revistapetroquimica.com/reciclado-energetico-de-plasticos-co-procesamiento-en-refinerias-y-craqueo-termico>.
16. Perkins G. et al. Recent advances in liquefaction technologies for production of liquid hydrocarbon fuels from biomass and carbonaceous wastes // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, v. 115, 109400.
17. *Gasoline Standards*: United States Environmental Protection Agency, 2020. [E-Source]. URL: <https://www.epa.gov/gasoline-standards>.
18. Damodharan D. et al. Utilization of waste plastic oil in diesel engines: a review // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2019, pp. 1-17.
19. Dobó Z. et al. Transportation fuel from plastic wastes: Production, purification and SI engine tests // Energy, 2019, v. 189, 116353.
20. Oparina L.A., Kolyvanov N.A., Gusarova N.K., Saprygina V.N. Oksigenatnye dobavki k toplivu na osnove vozobnovlyаемого сырия // Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya, 2018, t. 8, No 1, s. 19-34.
21. Danilenko T.V. Razrabotka toplivnykh kompozitsiy benzinov s dobavleniem alifaticheskikh spirtov: diss. kand. tekh. nauk: 05.17.07. – Moskva, 2005, 169 s.