

УДК 662.6/9:678.04

Л.С. Яновский, д.т.н., проф. (Россия)
Е.П. Федоров, к.т.н. (Россия)
Н.И. Варламова, нач. сектора (Россия)
П.В. Бородако, инж. (Россия)
И.М. Попов, инж. (Россия)

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕАКТИВНЫЕ ТОПЛИВА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассмотрены основные проблемы и перспективы использования топлив для реактивных двигателей. Описаны основные технологии получения альтернативных реактивных топлив.

Розглянуто основні проблеми і перспективи використання палив для реактивних двигунів. Описано основні технології отримання альтернативних реактивних палив.

In the article basic problems and prospects of the use of fuels are considered for ramjets. Basic technologies of receipt of alternative reactive fuels are described.

Введение

Основными источниками энергоресурсов в мире являются нефть, природный газ, каменный и бурый угли. Доля нефти в мировом потреблении энергоресурсов составляет 40 %, углей 27 %, газа 23 %. Атомные электростанции вырабатывают 7 % энергоресурсов. На долю ветряной, солнечной и гидроэнергии приходится около 3 % [1].

По прогнозу Международного Энергетического Агентства (МЭА) кратность мировых запасов нефти (отношение подтвержденных промышленных активных запасов к уровню годовой добычи) оценивается в 45–50 лет, газа – в 50–70 лет, угля – в 200–400 лет, урана – в 40–45 лет.

Вместе с тем мировое потребление энергоресурсов непрерывно возрастает, и встает вопрос о замене растущей в цене нефти, из которой производится около 99 % моторных топлив, на другой вид сырья.

Постановка проблемы

Поиск замены нефтяных топлив на синтезированные из других видов сырья, разработка прогрессивной технологии производства синтетических топлив и их рационального применения на транспортных средствах становятся в настоящее время весьма актуальными задачами.

В качестве альтернативного по отношению к нефти сырья рассматриваются, прежде всего, бурый и каменный угли, запасы которых еще остаются достаточно большими.

Решение проблемы

На сегодняшний день уже имеются доведенные до промышленного внедрения технологии производства синтетических моторных топлив из угля. Товарные синтетические топлива из бурых углей производятся в промышленных масштабах фирмой SASOL (ЮАР).

Потенциальными производителями синтетических моторных топлив из угля являются фирмы BP, Conoco-Phillips, Shell Maylasia, Exxon Mobile Qator, Chevron. Достаточно развитая технология производства реактивного топлива из природного газа разработана в США.

Однако уголь и природный газ, как нефть и уран, являются невозобновляемыми сырьевыми энергоресурсами. Кроме того, извлекая из недр уголь и природный газ и превращая их в диоксид углерода, человечество увеличивает концентрацию CO₂ в атмосфере и, тем самым, способствует усилению парникового эффекта, вызывающего потепление климата на Земле с вытекающими из этого катастрофическими последствиями.

В настоящее время концентрация CO₂ в атмосфере составляет примерно 400 ppm. Это в два раза больше, чем до начала промышленной революции XVIII в. К 2050 г. концентрация CO₂ в атмосфере может достичь 500 ppm [2].

Парниковые газы (пары воды, диоксид углерода, метан) сами по себе необходимы для жизни на Земле. Они предотвращают полное рассеивание тепловой энергии, получаемое Землей от Солнца, и поддерживают на поверхности нашей планеты температуру, подходящую для жизни и простейших, и самых сложных организмов. Если таких газов станет слишком много, то средняя температура на земле повысится, что может привести к таянию полярных ледяных шапок с катастрофическими последствиями для всего живого.

Единственным альтернативным топливом по отношению к нефтяным, при сгорании которого не образуется углекислого газа, является водород. Но способы получения водорода связаны с большими энергозатратами и использованием в качестве сырья природного газа и угля.

Кроме того, водород, даже жидкий, из-за малой плотности и низкой температуры кипения, рассматриваться только как топливо для особых случаев применения. Как топливо массового применения водород может найти место только с развитием ядерной технологии и освоением искусственного фотосинтеза.

В настоящее время ширится движение за получение моторных топлив из возобновляемого сырья: растительной биомассы, отходов промышленного, бытового и сельскохозяйственного производства. Разработаны альтернативные моторные топлива, вырабатываемые из кукурузы, сахарного тростника, рапса и других сельскохозяйственных культур. Это – спирты и эфиры, при сгорании которых также образуется CO_2 , но это тот углекислый газ, который был ранее поглощен растением из воздуха, и, следовательно, применение растительной биомассы в качестве сырья для производства моторных топлив не увеличивает содержание CO_2 в атмосфере.

В 2007 г. мировое потребление нефти составило около 4-х млрд. т, 2/3 из них приходится на транспорт. От этого количества на долю воздушного грузового и пассажирского транспорта приходится всего около 10 % [3]. Тем не менее, США и ряд европейских стран проводят широкие исследования по разработке синтетических реактивных топлив из нефтяного сырья.

Синтетическое реактивное топливо, изготовленное фирмой SASOL из бурых углей по усовершенствованной технологии Фишера-Тропша (F-T), уже с 1999 г. в смеси 50:50 с реактивным топливом для гражданской авиации Jet A-1 (ASTM D1655) применяется на коммерческих авиалиниях в ЮАР. Синтетическое топливо имеет плотность 755 кг/м^3 вместо минимально допустимой для Jet A-1 775 кг/м^3 , худшие, чем у топлива Jet A-1, противоизносные свойства, но более высокую термоокислительную стабильность. В нем практически отсутствуют сернистые соединения. Добавление в синтетическое топливо стандартного реактивного топлива Jet A-1 делает получаемую смесь полностью отвечающей требованиям, предъявляемым к топливу Jet A-1. Синтетическое топливо, практически не имеющее неуглеводородных гетероатомных примесей, ответственных за противоизносные свойства топлива, получает их из топлива Jet A-1. Из этого же топлива в смесь переходят содержащиеся в Jet A-1 ингибиторы окисления, что обеспечивает химическую стабильность топлива при длительном хранении.

Смесь синтетического топлива с реактивным топливом (50:50) для военной авиации JP-8 (MIL-T-83133) отвечает требованиям, предъявляемым к топливу JP-8.

Другие технологии, в т. ч. и разработанные в России, позволяют получать синтетическое реактивное топливо из угля. В США разработана технология получения реактивного топлива из природного газа. Синтетическое топливо Syntroleum из природного газа практически аналогично топливу из угольного сырья.

В США на базе Эдвардс проведены с положительными результатами летные испытания бомбардировщика B-52H на смесевом топливе, состоящем из 50% JP-8 и 50% синтетического керосина. ВВС США намерены провести сертификацию всего парка самолетов, чтобы к 2011 г. они могли применять смесь 50:50 синтетического топлива со стандартным реактивным топливом JP-8 наравне с товарным JP-8 [4].

Синтетическое реактивное топливо в смеси 50:50 со стандартным реактивным топливом (Jet A-1, JP-8) прошло с положительными результатами серию испытаний в США, включая стендовые и летные.

Производство синтетических топлив из угля и природного газа, не может окончательно освободить человечество от опасности наступления энергетического кризиса, хоть и в далеком будущем. К тому же, кроме того углекислого газа, который будет выделяться при сгорании синтетических углеводородных топлив из невозобновляемого сырья, будет дополнительно выделяться CO_2 при сжигании технологического топлива, задействованного в процессе производства синтетического топлива. Так, в процессе производства жидкого синтетического углеводородного топлива из угля по технологии F-T выбрасывается в атмосферу CO_2 в 1,8 раза больше, чем при производстве топлива из нефтяного сырья, при производстве реактивного топлива из природного газа – больше в 1,5 раза [5].

Получение жидких моторных топлив из возобновляемых источников сырья будет сдерживать повышение концентрации CO_2 в атмосфере и сопутствующее этому изменение климата. Рассматриваются возможности добавления биодизеля в реактивное топливо. Так, компания CFM International 18 июня 2007 г. успешно провела испытания авиадвигателя CFM 56-7B на смеси авиакеросина и биотоплива. Испытания прошли на заводе компании SNECMA под Парижем. В топливо Jet A-1 было добавлено 30 % биодизеля, полученного из растительных жиров [6].

Сырьем для синтетического углеводородного топлива может быть синтез-газ, который можно получить из любой органической биомассы. Возможны и другие сырьевые ресурсы. В частности, фирма «Mobil» (США) еще в 1970-х годах начала отработку процесса производства углеводородного топлива из метанола на опытно-промышленной установке с использованием в качестве катализатора кремнеземных синтетических цеолитов с малым содержанием Al_2O_3 . Процесс, получивший название «Mobil-MTG» (Methanol to Gasoline), осуществляется в две стадии:

I – дегидрирование с образованием равновесной смеси метанола, диметилового эфира и воды;

II – превращение диметилового эфира в низшие олефины либо в парафины и ароматические соединения.

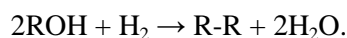
Применяя этот технологический процесс, из 1 т метанола можно получить 390 кг бензина, 23,4 кг нефтяного газа и 566 кг воды.

Цеолитовые катализаторы позволяют превратить в высокооктановые бензиновые смеси не только метанол, но другие кислородсодержащие соединения, например, диметиловый эфир, альдегиды. Технология промышленного производства бензина из метанола была реализована в 1985 г. в Новой Зеландии на заводе мощностью 570 тыс. т/год бензина с октановым числом 92, что позволило обеспечить 50 % потребности страны в бензине, сократить в 2,7 раз импорт нефти. Цена такого бензина составила 195 дол/т, тогда как цена бензина из импортной нефти в то время была равна 263 дол/т. Метанол вырабатывался из природного газа [7].

Природный газ нужен как источник метана, но метан можно получать и из возобновляемого сырья. Так, биогаз, содержащий 60–70 % метана, можно получить, сбраживая в специальных емкостях (метантанках) отходы жизнедеятельности домашних животных и птиц, отходы пищевой промышленности, биомассы водорослей, канализационного ила очистных сооружений, бытовых отходов городских свалок и т. д. Технология получения из биогаза биометана отработана. Из биогаза удаляют CO и другие примеси, после чего получаемый газ имеет практически однородный состав, содержащий до 98% CH_4 [8].

В Институте нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН разработана технология восстановительной дегидратации ряда циклических и алифатических спиртов C_2-C_5 , которая

приводит к образованию углеводородов, содержащих как минимум удвоенный углеводородный остов исходного спирта:



Предложенный способ превращения спирта в углеводороды осуществляется на катализаторах $[TiF_{0,95}Zr_{0,03}Mo_{0,02}]H_2$ и $[TiF_{0,95}Mn_{0,03}Cr_{0,02}]H_2$, включающих в качестве гидридной фазы железо-титановое интерметаллическое соединение. В соответствии с реакцией восстановительной дегидратации этанол с конверсией 93 % превращается в алкановую фракцию $C_6 - C_{12}$, выход которой достигает 60 %. Содержание изопарафинов в ней составляет более 90 %. Получаемая смесь углеводородов содержит в основном алканы изо-строения, которые являются наиболее ценными компонентами бензинов, арктического дизельного и реактивного топлив, обеспечивающими высокое октановое число, низкую температуру застывания, повышенную теплоту сгорания [9].

В университете Северной Дакоты (США) разработано биотопливо для реактивной авиации, полученное из масел сельскохозяйственных культур. По некоторым показателям качества синтезированное биотопливо превосходит стандартный авиакеросин. Биотопливо имеет температуру застывания ниже 60 °С. Изготовленное опытное биотопливо готово для испытаний в ВВС [6].

Известно, что бразильская биотопливная компания «Tecbio» скооперировалась с аэрокосмической компанией «Boeing» (США) для разработки реактивного топлива на основе биокеросина [6]. Таким образом, можно заключить, что за рубежом уже создана технология промышленного производства реактивного топлива из угля и природного газа. В России разработана технология производства синтетического реактивного топлива из угля, однако его промышленная реализация в стране-экспортере нефти еще не востребована, как в странах-импортерах нефти, к которым относится США.

Работы по биотопливам для авиации за рубежом еще не вышли из стадии исследовательских. В России такие работы практически не начинались. Приведенные сведения по биотопливам для поршневых двигателей свидетельствуют о том, что в основном это спирты и сложные эфиры, т.е. кислородсодержащие вещества, по теплоте сгорания уступающие авиакеросинам. В таблице приведены данные по этиловому спирту и биодизелю в сопоставлении с нормативными требованиями к отечественному реактивному топливу ТС-1 ГОСТ 10227-86).

Сопоставление физико-химических показателей этанола, МЭРМ и реактивного топлива ТС-1

Показатели	Топливо		
	Этанол	МЭРМ	ТС-1
Низшая теплота сгорания, МДж/кг, не менее	26,9	37,1	42,9
Плотность, кг/м ³ , не менее	790	877	780
Температура застывания, °С, не выше	-114,6	-8	-60
Кинематическая вязкость при 20 ⁰ С, мм ² /с	1,52	8	1,25

Этиловый спирт по сравнению с топливом ТС-1 имеет теплоту сгорания, меньшую на 37,3%, биодизель на примере метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) – на 13,5%. Соответственно на эти проценты возрастет удельный расход топлива авиационных газотурбинных двигателей в случае применения таких топлив вместо ТС-1. К тому же этиловый спирт гигроскопичен, агрессивен по отношению к резинотехническим уплотнительным материалам и имеет плохие смазывающие свойства, а биодизель (МЭРМ) имеет низкую термоокислительную стабильность и высокую температуру застывания.

Естественно, что с такими показателями ни этанол, ни МЭРМ не могут непосредственно применяться в качестве топлива для авиационных газотурбинных двигателей. Частичное применение биодизеля в качестве добавки к авиакеросину может оказаться целесообразным из-за некоторого улучшения эмиссионных характеристик двигателя и уменьшения выброса CO₂ [10].

Возрастание удельного расхода топлива приводит в процентном отношении к большему, чем рост удельного расхода, уменьшению дальности полета летательного аппарата или уменьшению полезной нагрузки. Применение кислородсодержащих синтетических топлив в гражданской авиации может оказаться рентабельным только тогда, когда цена такого топлива будет значительно ниже цены нефтяного авиакеросина.

В военной авиации применение кислородсодержащих синтетических топлив весьма проблематично, поскольку тактико-технические показатели военных самолетов оцениваются по-другому. Например, для увеличения дальности полета применяется дозаправка самолетов в полете, несмотря на высокую стоимость этой процедуры.

Только около 6 % имевшегося при взлете на борту самолета-заправщика топлива попадает в баки заправляемого в полете самолета, т.е. заправляемое в полете топливо в десятки раз дороже топлива на земле. Кроме того, при развертывании войск на долю топлива в общем объеме перевозимых грузов приходится более 70 %, и применение топлив с меньшей теплотой сгорания существенно увеличит объем перевозимых грузов. Таким образом, спирты и эфиры, применяющиеся в качестве топлива в наземных транспортных средствах, и другие кислородсодержащие биотоплива вряд ли окажутся пригодными для авиации. Но углеводородные биокеросины могут использоваться в авиации уже в ближайшем будущем даже в условиях сохранения в достаточном количестве невозобновляемых энергетических сырьевых ресурсов, поскольку их применение позволит замедлить рост концентрации CO₂ в атмосфере.

В России, обладающей большой территорией и большой площадью пахотных земель, производство биотоплив представляется весьма перспективной задачей. По зарубежным данным [6], в качестве сырья для биотоплив с большим успехом могут применяться водоросли и целлюлоза. И здесь у России значительные преимущества, поскольку имеются большие лесные массивы и очень много озер и водоемов для разведения водорослей.

Поэтому можно считать обоснованным выбор разработки прогрессивной малозатратной технологии производства углеводородного авиационного биокеросина в качестве перспективного направления исследования.

При формировании технических требований к биокеросину необходимо учесть имеющийся опыт в разработке синтетических топлив из ненефтяного сырья. В частности, синтетические топлива имеют плохие противозносные свойства, уступают по плотности товарным авиакеросинам и химически нестабильны при длительном хранении, но по сравнению с широко применяемыми прямогонными реактивными топливами практически не содержат серы, обладают высокой термоокислительной стабильностью и повышенной теплотой сгорания. Последнее обусловливается высоким содержанием в них изопарафинов.

Выводы

В синтетический биокеросин для улучшения его противоизносных свойств должна вводиться противоизносная присадка, а для повышения его химической стабильности при длительном хранении – антиокислительная присадка. В качестве таких присадок можно использовать присадки, вводимые в стандартное реактивное топливо РТ (ГОСТ 10227-86).

Унифицированное для всей отечественной авиатехники высокотермостабильное топливо РТ производится с гидроочисткой, удаляющей из керосинового дистиллята гетероатомные примеси, вследствие чего дистиллят лишается содержащихся в этих примесях естественных поверхностно-активных веществ и ингибиторов окисления. Их отсутствие компенсируется введением в топливо присадок, допущенных к применению. Биокеросин так же, как и топливо РТ, может практически не содержать неуглеводородных примесей и с введенными в него присадками может рассматриваться как эквивалент топлива РТ. В связи с этим по всем физико-химическим и эксплуатационным показателям (кроме плотности) биокеросин должен соответствовать требованиям и нормам, установленным техническими требованиями ГОСТ 10227-86 к топливу РТ.

Плотность биокеросина при 20⁰С должна отвечать норме «не менее 755 кг/м³» вместо «не менее 775 для топлива РТ». Такую норму имеет отечественное реактивное топливо Т-2 (ГОСТ 10227-86), предназначенное в качестве резервного вместо топлива РТ.

Литература

1. *Энергетика* России. Проблемы и перспективы. – М: Наука, 2006. – 27 с.
2. *Приходится* признать, что глобальное потепление не выдумка ученых, а реальность // *В мире науки*. – 2007. – № 1. – С. 7.
3. *Хейвуд Дж.* Горючее будущего // *В мире науки*. – 2007. – № 1. – С. 5.
4. *ЦИАМ.* Авиационное двигателестроение (обзорное). – 2008. – № 13. – 3 с.
5. *Реферат № 0803* // ГНЦ РФ ЦИАМ им. П.И. Баранова. – М.: – 2008. – 3 с.
6. *Fuel Alternative*. – 04-09-2006. – 7 с.
7. *Кадыгроб Л.А.* Химическая технология. – К.: Наук. думка, 1987. – 8 с.
8. *Сердюк В.В., Ашкинази Л.А.* Альтернативные топлива, преимущества и недостатки // IV Междунар. практ. конф. «Новые топлива с присадками». Сообщение 4. Газообразные топлива. – С. 15.
9. *Третьяков В.Ф., Мастюгина Т.Н., Лермонтов А.С., Бурдейная Т.Н.* Биоэтанол – сырье для получения моторных топлив и нефтехимических продуктов// Катализ в промышленности. – 2006. – № 4. – С. 12.
10. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М., Иванов В.Ф.* Экология легких моторных топлив. – Казань: Центр оперативной печати АБАК, 1997. – 23 с.

Стаття надійшла до редакції 17.03.09.