**УДК 662.769.21**

**Перспективы использования альтернативных видов топлива в авиации**

**С.О. Наталинов[[1]](#footnote-1), С.В. Молокова[[2]](#footnote-2),**

Иркутский государственный технический университет,

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассматриваются используемые в настоящее время в авиации виды топлива – авиационный бензин и авиационный керосин, а также перспективы использования в современной авиации альтернативных видов топлива. Наиболее реальными из них являются криогенные виды: сжиженный природный газ (СПГ) или жидкий водород (ЖВ). Технические характеристики последних, а именно – высокая массовая теплота сгорания – примерно в 2,8 раза превышает теплоту сгорания керосина. Это позволит повысить эффективность, уменьшить удельный расход топлива, массу и габариты двигателей.

Табл. 1. Библиогр. 7 назв.

*Ключевые слова: авиация; альтернативные виды топлива; криогенное топливо; технические характеристики.*

**PROSPECTS FOR USE OF ALTERNATIVE FUELS FOR AVIATION**

**S. Natalinov, S. Molokova**

Irkutsk State Technical University

83 Lermontov Str., Irkutsk 664074

The article considers the kinds of fuels currently used in aviation: aviation gasoline and aviation kerosene, as well as the prospects of use of alternative fuels in modern aviation. The most realistic of the alternative types of fuels are cryogenic types: liquefied natural gas (LNG) or liquid hydrogen (FRC). The specifications of the latter, namely the High large-scale combustion value is approximately 2.8 times higher than the combustion heat of kerosene, its high combustion efficiency allows improving engines performance, decrementing specific fuel consumption and reducing the mass and dimensions of the engine.

Illustration: 1 fig. Sources: 7 refs.

*Key words: aviation; alternative fuels; cryogenic fuels; specification.*

В настоящее время основным видом топлива, используемым в авиации, остается нефтяное топливо. Это, прежде всего, авиационный бензин и авиационный керосин. Авиационный бензин предназначен для применения в поршневых авиационных двигателях. Авиационный керосин используется в турбовинтовых и турбореактивных двигателях летательных аппаратов.

Вследствие сокращения запасов нефти и увеличения его потребления стоимость авиакеросина и авиабензина постоянно растет. Так, на сегодняшний день расходы на топливо составляют 15–20 % эксплуатационных расходов самолета. Кроме того, авиация наносит заметный экологический ущерб.

В связи с этим, в последнее время все больше набирают темп усилия по поиску и использованию альтернативных видов топлива для самолетов. В качестве таких источников в авиации рассматриваются: биотопливо; солнечная энергия, жидкий водород и сжиженный природный газ.

В последние годы все чаще на первые позиции выходит применение биотоплива для авиационных двигателей. *Биото́пливо* — топливо из растительного или животного сырья, из продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов. Этот продукт имеет два основных преимущества перед традиционным нефтяным углеводородным топливом:

*во-первых*, оно производится при использовании возобновляемых источников;

*во-вторых*, процент вредных выбросов в атмосферу при использовании биотоплива значительно ниже.

Предполагается, что использование в авиации биокеросина, полученного из ятрофы (растения семейства молочайных, произрастающего в тропических и субтропических регионах), позволит уменьшить "углеродный след" почти на 80 %.

За последние годы самолеты и вертолеты разных классов и типов совершили более полутора тысяч полетов с использованием горючего биологического происхождения. Однако любые перспективы, связанные с экономией объема затраченного топлива, пока не вселяют *экономической* надежды. Большинство сортов биотоплива, которые могут быть применены в авиации, стоят в два-три раза дороже простого авиационного керосина.

*Солнечная энергетика* — направление нетрадиционной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. В настоящее время по рассматриваемой тематике ведутся работы в ряде ведущих авиастроительных компаний и авиационных институтах. К их числу относятся: Boeing с программой Vulture, IAI с разработкой SunSailor, Туринский политехнический университет с проектом Heliplat и другие.

В настоящее время проекты летательных аппаратов, работающих на солнечной энергии, остаются на уровне экспериментов вследствие многочисленных технических проблем, основными из которых являются:

* низкий КПД передачи энергии на борт лучом лазера;
* для постоянной передачи лазерных лучей на борт самолета требуется строительство огромного количества станций по всему маршруту полета;
* неактуально для магистральных лайнеров массой больше 100 тонн;
* солнечные батареи на основе кремния в процессе работы вырабатывают вредные токсичные отходы.

Анализируя сферы применения самолетов, использующие солнечную энергию, можно вывести следующие положения, обуславливающие области их применения:

1. Учитывая физиологические особенности человека, преимущество осуществления длительных полетов более применимо для беспилотных летательных аппаратов (ЛА).

2. Выгоду от применения рассматриваемых ЛА можно получить только при выполнении задач, связанных с длительным пребыванием в воздухе.

3. При нахождении ЛА выше уровня облачности, применение оптических средств разведки будет носить нестабильный характер, привязанный к погодным условиям. Вероятнее всего на самолетах будут использоваться одновременно несколько средств разведки.

4. Выгода от применения рассматриваемых ЛА (в отношении размеров и, соответственно, стоимости) будет возрастать по мере приближения района предполагаемой эксплуатации ЛА к экватору.

На основе приведенных тезисов можно предположить, что рассматриваемые ЛА получат свое применение в качестве беспилотных летательных аппаратов разведки и ретрансляции связи. На них может быть установлено оборудование радиоэлектронной, тепловизионной и оптико-электронной разведки, а также ретрансляционное оборудование.

**Криогенное топливо.** Особенность авиации состоит в том, что по условиям минимальных масс и габаритов топливных баков, а также простоты использования, альтернативными могут быть только жидкие топлива. Исходя из этого, природный газ и еще более перспективный водород могут быть использованы в качестве авиационного топлива только в жидком виде. Сложность заключается в том, что сжиженный природный газ и жидкий водород – криогенные жидкости, что создает дополнительные технические трудности при их хранении и транспортировке.

**Сжиженный природный газ** (СПГ) значительно дешевле авиационного керосина, особенно в северных районах, и при его применении вредных выбросов меньше в 3–4 раза, причем, парникового газа – двуокиси углерода – меньше на 10–12 %.

Жидкий водород удовлетворяет многим требованиям, предъявляемым к топливам. Водород дает минимум загрязнения окружающей среды. Высокая массовая теплота сгорания примерно в 2,8 раза превышает теплоту сгорания керосина, что позволяет повысить эффективность двигателей, снизить удельный расход топлива, уменьшить массу и габариты двигателя (технические характеристики даны в таблице).

Использование в качестве авиационного топлива различных газов (водорода, метана, пропана и др.) позволит получить много преимуществ:

* уменьшить запас топлива на борту;
* осуществить эффективное охлаждение двигателя, поднять температуру газа перед турбиной тем самым повысить КПД силовой установки;
* создать комфортные тепловые условия работы бортового оборудования, способствуя повышению его надежности и снижению массы;
* значительно снизить расход забортного воздуха, ухудшающий аэродинамические характеристики ЛА, и расход воздуха, отбираемого от двигателей для систем кондиционирования кабины экипажа и салона пассажиров, систем теплоотвода из отсеков бортового оборудования и др. теплонапряженных частей ЛА, что дает возможность уменьшить массу этих систем и сократить затраты топлива на обеспечение их работоспособности;
* увеличить протяженность ламинарного пограничного слоя за счет охлаждения омываемой поверхности ЛА, что обеспечит повышение его аэродинамических качеств;
* уменьшить загрязнение окружающей среды, особенно в зоне аэропортов: в продуктах сгорания значительно сократится содержание углерода, исчезнут сернистые соединения и тяжелые углеводороды, склонные к образованию канцерогенных и мутагенных продуктов, и т.п.

**Основные технические характеристики топлива**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Авиационный  керосин | Авиабензин | Водород | Метан |
| Низшая массовая теплота сгорания,кДж/кг | 42850 | 41870 | 120000 | 50000 |
| Плотность жидкости при р=98 кПа | 820 | 727,1 | 70,9 | 424 |
| Низшая объемная теплота сгорания,кДж/м3 | 352.5\*105 | 316.4\*105 | 85\*105 | 212\*105 |
| Температура кипения при р=98 кПа | 423….453 | 418 | 20,43 | 111,6 |
| Температура плавления, К | Ниже 213 | Ниже 213 | 14 | 90 |
| Теплота испарения, кДж/кг при p=98 кПа | 259 | 261 | 458 | 515 |
| Теплота плавления, кДж/кг при p=98 кПа | – | – | 58.1 | 58.6 |
| Теплоёмкость газа при p=const и Т=293К (кДж/(кг\*К)) | 1.455 | 1.395 | 14.16 | 2.164 |
| Газовая постоянная, кДж/(кг\*К) | 0.0533 | 0.0526 | 4.12 | 0.518 |
| Стехиометрический коэффициент (по воздуху) | 14.7 | 17.23 | 34.5 | 14,2 |
| Максимальная нормальная скорость распространения пламени, м/с | 40 | 33.8 | 318 | 37 |
| Минимальное давление распространения пламени, Па | 4400-4600 | 2530 | 1534 | 4350-4550 |
| Концентрационные пределы распространения пламени, % объёма | 1.4-1.7 | 5-15 | 4-74.2 | 1.4–1.7 |

Основным препятствием к широкому использованию жидкого водорода является высокая стоимость его получения по сравнению с углеводородными топливами, а для рационального применения СПГ необходимо решить много технических задач (его температура значительно выше температуры ожижения кислорода воздуха). Однако реальность создания моделей самолетов, использующих в качестве топлива жидкий водород и СПГ, доказана испытаниями и опытной эксплуатацией экспериментального самолета Ту-155 с двигателем НК-88, созданного на базе серийного самолета Ту-154.

На экспериментальном самолете Ту-155 было установлено криогенное оборудование, спроектированное не по самолетной технологии (большие габариты, масса и т.п.), так как его основной задачей было определить принципиальную возможность создания криогенной авиации. Для криогенного самолета необходимо разработать и испытать авиационные криогенные конструкции элементов силовой установки, включающие топливные баки, трубопроводы и агрегаты.

Среди других альтернативных путей решения проблемы топлива рассматривается создание высокоплотных энергонакопителей, разработка которых стала возможной благодаря развитию передовых нанотехнологий и изучению явления сверхпроводимости.

По мнению специалистов, принцип высокотемпературной сверхпроводимости может полностью решить проблему создания высокоплотных энергонакопителей. Энергия, которая сохраняется в высокопроводимом накопителе, может приводить в действие электромотор с лопастями как у современных авиационных турбовентиляторных двигателей. При этом его мощность приблизительно равна 90 % мощности турбинного аналога. Кроме того, сегодня разрабатываются двигатели, в работе которых применяется эффект флотации для использования в производстве коммерческих самолетов с дозвуковой скоростью.

Самолеты с нетрадиционными авиационными двигателями, которые работают на электроэнергии или на принципе флотации, могут летать на больших высотах (до 20 тысяч метров), так как разреженный и охлажденный воздух является идеальной окружающей средой для их нормальной работы.

Ожидается, что в посленефтяной период существенно возрастет количество наземных транспортных средств, оборудованных электромоторами или водородными двигателями. Ближнемагистральные самолеты смогут работать на этаноле или водороде, при этом жидкий водород будет использоваться как топливо для сверхзвуковых воздушных суден. А в будущем гражданская авиация будет нуждаться в намного большем количестве электроэнергии для зарядки высокопроводимых аккумуляторов, систем жидких азотных охладителей, а также систем сжатия и охлаждения водорода.

Как известно наибольший расход топлива самолета происходит во время его взлета. Поэтому уже сегодня руководители больших аэропортов задумываются над тем, как обеспечить необходимым количеством (300–1000 МВт·ч) электроэнергии сверхзвуковые самолеты, осуществляющие межконтинентальные рейсы. И приходят к выводу, что существующие электрогенерирующие системы даже самых развитых стран не смогут удовлетворить потребности будущего энергоэлектрического авиационного флота.

Очевидно, что в будущем следует делать ставку на передовые научные разработки альтернативных источников питания. Прежде всего, речь идет о нанотехнологиях и принципах сверхпроводимости. В результате развития новейших технологий уже в ближайшем будущем появятся новые высокоплотные электрические аккумуляторы. Работа над созданием авиационных электродвигателей для самолетов, летающих на сверхзвуковых скоростях, будет продолжаться очень активно, независимо от того, когда конкретно настанет «посленефтяной период».

**Библиографический список**

1. Внимание: газы. Криогенное топливо для авиации / В. А. Андреев [и др.]; науч. ред.

В.Т. Климов. – М. : Московский рабочий, 2001. – 223 с.

2. Топлива для воздушно-реактивных двигателей / Н.Ф. Дубовкин [и др.]. – М. : Изд-во МАТИ, 2001. – 443 с.

3. Курзинер Р.И. Реактивные двигатели для больших сверхзвуковых скоростей полета. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

4. Лазарев В.А. Оптимальные скорости течения и наивыгоднейшие радиальные размеры элементов систем подачи криогенных топлив в ВРД. – М.: Изд-во ЦИАМ,1980. – 22 с.

5. Лисейцев Н.К., Самойловский А.А. Современное состояние, проблемы и перспективы развития самолетов, использующих солнечную энергию для полета // Труды МАИ. – [№  55](http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=30012).

6. Трошин А.Ю. Математическое моделирование тепломассопереноса в закрытых емкостях с криогенными средами // Техника машиностроения. – 2003. – С. 94–96.

7. Основы авиационной химмотологии: учеб. пособие для студ. вузов / Л.С. Яновский,

В.П. Дмитренко, Н.Ф. Дубовкин [и др.]; под ред. И.В. Шевченко, Л.С. Яновского. – М.: Изд-во МАТИ, 2005. – 680 с.

1. Наталинов Сергей Олегович, студент 3-го курса гр. ЭЛ –10–1 ИАМиТ, e-mail: [natalinovs@gmail.com](mailto:natalinovs@gmail.com)

   Natalinov Sergey, a third-year student of Aircraft Construction and Aerotechnics Exploitation Institute, e-mail: [natalinovs@gmail.com](mailto:natalinovs@gmail.com) [↑](#footnote-ref-1)
2. Молокова Светлана Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники, e-mail: svetmol@mail.ru

   Molokova Svetlana, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Aircraft Construction and Aerotechnics Exploitation Department, tel.: (3952) 405131, e-mail: [svetmol@mail.ru](mailto:svetmol@mail.ru) [↑](#footnote-ref-2)