



РАБОЧИЙ ДОКУМЕНТ

КОНФЕРЕНЦИЯ ПО АВИАЦИИ И АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ВИДАМ ТОПЛИВА

Мехико, Мексика, 11–13 октября 2017 года

Пункт 1 повестки дня. Развитие событий в области научных исследований и сертификации альтернативных видов авиационного топлива

СТАТУС ТЕХНИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА

(Представлено Секретариатом ИКАО)

АННОТАЦИЯ

В настоящем документе описываются существующие технические требования для альтернативных видов авиационного топлива, одобренные на данный момент процессы преобразования в производстве альтернативных видов авиационного топлива и процессы преобразования, которые в настоящее время находятся на рассмотрении. Также рассматриваются сложности, связанные с технической сертификацией, и возможные способы их преодоления.

Действия Конференции указаны в п. 5.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Как указано в документе CAAF/2-WP/01, с альтернативными видами авиационного топлива (AAF) связаны два типа сертификации: а) техническая сертификация, обеспечивающая соответствие топлива тем характеристикам, которые требуются для использования на существующих воздушных судах и б) сертификация экологической устойчивости, гарантирующая, что отдельно взятый вид AAF соответствует установленным критериям экологической устойчивости, и, следовательно, является экологичным авиационным топливом (SAF). В настоящем документе основное внимание будет уделено технической сертификации AAF.

1.2 Со времени проведения первой Конференции по авиации и альтернативным видам топлива (CAAF/1) в технической сертификации альтернативных видов авиационного топлива произошел значительный прогресс. В 2009 году не существовало технических требований для производства альтернативных видов авиационного топлива (AAF). Сегодня технические требования для AAF есть во всем мире, например, ASTM D-7566, девятое издание Стандарта Минобороны Соединенного Королевства (DEF STAN) 91-091, бразильский ANP 63/207 и китайский CTSO-2C701.

1.3 В настоящем документе основное внимание будет уделено техническим требованиям для AAF, разработанным Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM International), международной организацией, занимающейся разработкой стандартов, поскольку стандарты ASTM получили широкое международное признание. В документе приводится описание пяти процессов преобразования в производстве AAF, одобренных ASTM на данный момент, а также тех процессов преобразования, которые в настоящее время находятся на рассмотрении¹. В добавлении А приводится более подробное техническое описание этих процессов преобразования, а в добавлении В – глоссарий технических терминов, связанных с процессами преобразования, описанными в настоящем документе.

2. ПРОЦЕССЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, УТВЕРЖДЕННЫЕ В КАЧЕСТВЕ ПРИЛОЖЕНИЙ К СТАНДАРТУ ASTM D7566

2.1 В Стандарт ASTM D7566 включены пять приложений, содержащих утвержденные процессы преобразования для производства AAF. Основные характеристики этих процессов преобразования указаны в таблице 1, в том числе возможные сырьевые материалы, которые могут использоваться в каждом процессе преобразования, и максимальный коэффициент смешивания, одобренный для каждого типа AAF.

Таблица 1. Процессы преобразования, одобренные в качестве приложений к Стандарту ASTM D7566

Приложение	Процесс преобразования	Сокращение	Возможные сырьевые материалы	Коэффициент смешивания по объему	Предложения по коммерциализации
1	Гидроочищенный синтезированный парафинированный керосин Фишера – Тропша	FT-SPK	Уголь ⁺ , природный газ ⁺ , биомасса	50 %	Fulcrum Bioenergy, Red Rock Biofuels, SG Preston, Kaidi, Sasol, Shell, Syntroleum
2	Синтезированный парафинированный керосин, полученный из гидроочищенных сложных эфиров и жирных кислот	HEFA-SPK	Растительные масла, животный жир, утилизированные масла	50 %	AltAir Fuels, Honeywell UOP, Neste Oil, Dynamic Fuels, EERC
3	Синтезированные изопарафины, полученные в результате гидрообработки сбраживаемых сахаров	SIP-HFS	Биомасса, используемая для производства сахара	10 %	Amyris, Total
4	Синтезированный керосин с ароматическими соединениями, полученными путем алкилирования легких ароматических соединений не нефтяного происхождения	SPK/A	Уголь ⁺ , природный газ ⁺ , биомасса	50 %	Sasol

¹ Открытый семинар, организованный Управлением энергоэффективности и возобновляемых источников энергии Министерства энергетики США в г. Макон (2017). *Альтернативные виды авиационного топлива: обзор проблем, возможностей и следующих шагов*. г. Макон, Джорджия (США): Управление энергоэффективности и возобновляемых источников энергии Министерства энергетики США

5	Синтетический парафинированный керосин, полученный по технологии "спирт в реактивное топливо"	ATJ-SPK	Биомасса, используемая для производства крахмала и сахара, и целлюлозная биомасса для производства изобутанола	30 %	Gevo, Cobalt, Honeywell UOP, Lanzatech, Swedish Biofuels, Byogy
---	---	---------	--	------	---

⁺ Эти сырьевые материалы не являются возобновляемыми и, следовательно, не подходят для производства SAF, но могут применяться для производства AAF в военных целях.

3. **НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПРОХОДЯЩИЕ ПРОЦЕСС СОГЛАСОВАНИЯ В ASTM**

3.1 Спецификация ASTM D7566 была разработана для того, чтобы содействовать будущему распространению этих видов топлива по мере того, как будут согласовываться новые методы производства AAF. Общество ASTM также опубликовало стандарт, описывающий испытания и оценку, необходимые для выпуска приложения к D7566, касающегося нового процесса преобразования, а также определяющий роль авиационного газотурбинного двигателя и фирм-изготовителей комплектного оборудования в процессе испытаний и оценки. Этот стандарт называется ASTM D4054 "Стандартная практика для квалификации и согласования новых видов авиационного реактивного топлива и топливных присадок".

3.2 Стандарт ASTM D4054 был разработан с целью предоставить производителю AAF инструктивный материал по проведению испытаний и целевые показатели характеристик, необходимых для оценки потенциального топлива AAF. D4054 – это повторяющийся процесс, в котором потенциальный производитель топлива должен проводить испытания образцов топлива, чтобы измерять его характеристики, состав и производительность. Тестирование охватывает основные технические характеристики топлива, его расширенные (целевые) характеристики, испытательные стенды для двигателей и их компонентов, а также, при необходимости, полномасштабные испытания двигателя. Этот строгий процесс требует полноценного участия и сотрудничества многих заинтересованных сторон в ASTM.

3.3 В таблице 2 представлен обзор процессов преобразования, проходящих в настоящее время процедуру согласования для включения в качестве приложения к ASTM D7566.

**Таблица 2. Процессы преобразования, проходящие в настоящее время
процедуру согласования в ASTM**

Процесс преобразования	Сокращение	Возможные сырьевые материалы	Предложения по коммерциализации	Примечания
Каталитическая гидроочистка сложных эфиров и жиров при высокой температуре кристаллизации	CHJ/ HFP- HEFA	Растительные масла, животный жир, утилизированные масла	Chevron Lummus Global, Applied Research Associates, Blue Sun Energy	Растительные масла вступают в реакцию с водой при высокой температуре и давлении. Может использоваться без смешивания.
Совместная переработка растительных масел на существующих нефтеперерабатывающих заводах	Co-processing (совместная переработка)	Растительные масла	Chevron, Phillips66, BP ²	Совместная переработка растительных масел с обычными средними дистиллятами на существующих нефтеперерабатывающих заводах.
Синтетический парафинированный керосин "спирт в реактивное топливо"	ATJ-SPK (помимо изобутанола)	Биомасса, используемая для производства крахмала и сахара и целлюлозная биомасса для производства алкоголя	Gevo (бутанол), LanzaTech (этанол)	ASTM рассматривает производство реактивного топлива из бутанола и этанола в дополнение к изобутанолу, который уже был одобрен как ATJ-SPK (приложение 5).
Синтетический парафинированный керосин "спирт в реактивное топливо" с ароматическими соединениями	ATJ-SKA	Биомасса, используемая для производства крахмала и сахара и целлюлозная биомасса для производства алкоголя	Byogy, Swedish Biofuels	Топливо производится с использованием биоароматических веществ, обеспечивая более высокое процентное соотношение при смешивании.
HEFA Plus	Green Diesel (экологичный дизель)	Растительные масла, животный жир, утилизированные масла	Boeing	Уже прошли первые испытательные полеты с 15 %-ным содержанием дизеля HEFA ("экологичного дизеля") ³

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

4.1 Техническая сертификация AAF значительно изменилась со времени проведения конференции CAAF/1 в 2009 году. Важной вехой стало введение стандарта ASTM D7566. Наличие признанного на международном уровне стандарта спецификации позволяет всем, кто производит, закупает и использует AAF, быть уверенными в безопасности и жизнеспособности топлива.

²http://www.caafi.org/resources/pdf/CoProcessing_of_HEFA_Feedstocks_with_Petroleum_Hydrocarbons_for_Jet_Production_June192015.pdf

³ Mawhood, R. et al., (2016). Production pathways for renewable jet fuel: a review of commercialization status and future prospects. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 10(4): 462-484.

4.2 Однако, временные и финансовые затраты, связанные с согласованием новых процессов преобразования, по-прежнему являются серьезными препятствиями при поиске новых методов производства ААФ. Государствам и отраслевым заинтересованным сторонам необходимо совместно работать над стандартизацией и упрощением процедур согласования новых процессов преобразования на всех этапах разработки и внедрения, чтобы еще больше диверсифицировать процессы преобразования и сырьевые материалы, которые будут использоваться для производства ААФ.

4.3 С учетом сложной цепочки поставок в сфере производства ААФ, широкого набора сырьевых материалов, которые могут использоваться в производстве ААФ, а также знаний, необходимых для технической сертификации и производства ААФ, требуется глобальное и междисциплинарное сотрудничество государств, способствующее согласованию новых процессов преобразования в производстве ААФ и технической сертификации новых поставщиков ААФ. Это будет иметь благоприятные последствия с точки зрения диверсификации и наличия ААФ.

5. ДЕЙСТВИЯ СААФ2

5.1 СААФ2 предлагается:

- a) признать важность наличия признанных на международном уровне технических требований для процессов преобразования, используемых в производстве альтернативных видов авиационного топлива;
- b) призвать государства оказывать поддержку процессу утверждения новых процессов преобразования, находящихся на стадии разработки;
- c) признать необходимость глобального и междисциплинарного сотрудничества в области технической сертификации;
- d) согласиться с необходимостью сокращения временных и финансовых затрат на техническую сертификацию альтернативных видов авиационного топлива и изучить средства и стратегии для достижения этой цели.

APPENDIX A

CHEMICAL DESCRIPTION OF THE CONVERSION PROCESSES

Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene (FT-SPK)

FT-SPK AAF is produced by thermally converting the feedstock into a synthesis gas that is then converted in a Fischer-Tropsch (FT) reactor into liquid hydrocarbons such as diesel or jet fuel. The FT synthesis can be described as a set of catalytic processes employing iron-based or cobalt catalysts depending on the synthesis temperature and desired products, e.g. gasoline, olefins, diesel, or paraffins. Ideally, FT-SPK feedstocks should contain high concentrations of carbon and hydrogen to increase the efficiency of this thermochemical process. Common feedstocks for FT synthesis are coal, natural gas, or biomass, however, coal and natural gas are not renewable and thus are not suitable for sustainable aviation fuel production. Biomass is renewable but often has a large variation in carbon content. A less common, but still renewable feedstock, is biogas produced from anaerobic digestion of organic matter, such as landfills, animal manure, and wastewater, or a mixture of liquid and solid biomass⁴. With this conversion process, up to 50% by volume of the FT-SPK component can be blended with conventional Jet A or Jet A-1 fuel.

Synthesized paraffinic kerosene produced from hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA-SPK)

HEFA-SPK is produced by reacting an oil or fat-based feedstock with hydrogen. The primary feedstock are triglycerides, which are building blocks of fats and oils. They are derived from vegetables, animals, or waste oil found in nature. To account for the presence of oxygen and unsaturated carbon bonds, both deoxygenation and hydrogenation process steps are required to produce a saturated hydrocarbon fuel. With this conversion process, up to 50% by volume of the HEFA-SPK component can be blended with conventional Jet A, or Jet A-1 fuel.

Synthesized iso-paraffins produced from hydroprocessed fermented sugars (SIP-HFS)

SIP-HFS are synthetic hydrocarbons that are produced by hydroprocessing and fractionation of farnesene derived from the fermentation of sugars. This conversion is also known as direct sugars to hydrocarbons (DSHC). Possible sugar feedstocks can include sugar cane and beets, corn grain, and pretreated lignocellulosic biomass⁵. The sugars are aerobically fermented into a farnesene intermediate using yeast cells. To obtain farnesene, the intermediate is separated into a solid and liquid part and further into an oil and aqueous phase using centrifugation. With this conversion process, up to 10% by volume of the SIP-HFS component can be blended with conventional Jet A or Jet A-1 fuel.

Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources (SPK/A)

SPK/A stands for FT-SPK with increased aromatics content. A minimum of 8% aromatics is required in AAF blends to ensure sufficient seal swell to prevent fuel system leaks. Therefore, this synthesized fuel that includes aromatics can reach higher blend rates than the ones without aromatics inclusion. Similar

⁴Jingura, R. M. et al., (2009). Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (5), 1116-1120.

⁵ Staples, M. D. et al., (2014). Lifecycle greenhouse gas footprint and minimum selling price of renewable diesel and jet fuel from fermentation and advanced fermentation production technologies. *Energy & Environmental Science* 7, 1545-1554.

feedstocks to those used to produce FT-SPK are used with alternative processing steps needed to produce aromatics. According to the ASTM D7566 specification, the SPK/A synthetic blending component shall be comprised of FT-SPK combined with synthesized aromatics from the alkylation of non-petroleum derived light aromatics, primarily benzene. With this conversion process, up to 50% by volume of the SPK/A component can be added to blended with conventional blending components, Jet A, or Jet A-1 fuel.

Alcohol-to-jet synthetic paraffinic kerosene (ATJ-SPK)

ATJ-SPK is produced from isobutanol and processed through dehydration, oligomerization, hydrogenation, and fractionation. Possible feedstocks for isobutanol production include fermentable sugars, such as sugar cane and sugar beet, hydrolysed grain starch from wheat or corn, hydrolysed polysaccharides from lignocellulosic biomass, or wood sent through a thermochemical conversion³. As defined in the specification, up to 30% by volume of the ATJ-SPK component can be blended with conventional Jet A or Jet A-1 fuel.

Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ) and Co-processing Jet

CHJ is a two-step process of catalytic hydrothermolysis and hydroprocessing. Possible feedstocks are triglyceride-based and include plant oils, waste oils, algal oils, and oils such as soybean oil, jatropha oil, camelina oil, carinata oil, and tung oil. In CHJ the selected feedstock is reacted with water in a supercritical phase to obtain a product resembling light crude oil. Reactions taking place in the hydrothermal process are cracking, hydrolysis, decarboxylation, isomerization, and cyclization. The intermediate is then hydroprocessed, obtaining a blend of diesel, jet fuel, naphtha, and liquefied petroleum gases, which are finally separated via distillation.

Like for CHJ, the feedstock for Co-processing Jet is triglyceride-based. Co-processing is based on the conversion of vegetable oil alongside middle distillates in existing refineries to reduce capital investment.

ATJ-SPK (ethanol)

The ASTM committee responsible for managing the D7566 approval process is reviewing production of jet fuel from alcohols in addition to isobutanol, which has already been approved as ATJ-SPK (Annex 5). Alternative jet fuel production from ethanol is currently in review. Once sufficient test data is collected for other alcohols, this annex may be extended further.

APPENDIX B

GLOSSARY OF TECHNICAL TERMS ASSOCIATED WITH CONVERSION PROCESSES

Cracking describes the thermal decomposition of a substance.

Cyclization describes a molecule structure change resulting in a ring structure.

Decarboxylation describes the removal of one or several carboxyl groups i.e. COOH, from a molecule.

Dehydration describes the loss of a water molecule.

Deoxygenation describes a process for removing oxygen from oxygen containing compounds.

Farnesene describe branched alkene with the chemical formula: C₁₅H₂₄, consisting of isomers and containing at least (6E)-7,11-dimethyl-3methylene-1,6,10-dodecatriene or (E,E)-3,7,11-trimethyl-1,3,6,10-dodecatetraene.

Fractionation describes a gas/liquid separation and isolation of synthesized iso-paraffins, typically including a distillation step.

Hydrocracking describes the hydrogenation of larger or complex hydrocarbons, followed by cracking, to produce high-octane fuel.

Hydrogenation is a molecular reaction with hydrogen, often associated with the saturation of unsaturated hydrocarbons. It can be either catalytic or by thermal hydrolysis.

Hydrolysis describes a molecule decomposition by bond splitting and the addition of a hydrogen cation and the hydroxide anion of water.

Hydroprocessing describes several conventional chemical processes in which hydrogen is reacted with organic compounds in the presence of a catalyst to remove impurities such as hydrotreating, hydrogenation, or hydrocracking.

Hydrotreating reacts organic compounds with hydrogen to remove impurities such as oxygen, sulphur, and nitrogen.

Isomerization describes a molecule forming a different isomer.

Oligomerization describes the process of converting smaller molecules into intermediate sized ones