

УДК 662.756.3  
Код ГРНТИ 73.01.61

doi 10.54708/19926502\_2025\_29110728

## Проблемы использования альтернативных видов авиационного топлива с пониженным углеродным следом на перспективных самолетах региональной авиации

А.А. Мирзоян\*, Р.Р. Нигматуллин, А.Р. Поляков, О.А. Смоляков, Д.Б. Фокин

ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», г. Москва, Россия

**Аннотация.** В самолетах региональной авиации в соответствии со стратегией низкоуглеродного развития России планируется внедрение технологий использования альтернативных видов авиационного топлива с более низким углеродным следом. Авиационная отрасль обеспечивает транспортную доступность всей территории страны и требует оценки последствий декарбонизации на экономическую эффективность авиаперевозок. Показаны проблемы применения АСКТ – авиационного сконденсированного газового топлива, LCAF – авиационного топлива с низким углеродным следом из нефтяного сырья и SAF – авиационного топлива с низким углеродным следом из возобновляемых источников. Возможность применения того или иного вида топлива связана с процессом его производства и доступностью сырья. Представлены основные положения методики оценки экономической эффективности применения и углеродного следа различных видов альтернативного авиационного топлива для перспективных самолетов региональной авиации, в том числе с учетом выполнения авиакомпаниями обязательств по снижению выбросов парниковых газов.

**Ключевые слова:** альтернативное авиационное топливо, региональная авиация, местные воздушные линии, углеродный след, экономическая эффективность.

\*aamirzoyan@ciam.ru

### Введение

В октябре 2021 г. правительством Российской Федерации (РФ) была принята стратегия социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов (ПГ) до 2050 года (далее «Стратегия») [1]. В соответствии с целевым (интенсивным) сценарием Стратегии поставлена задача снизить в России выбросы ПГ на 60 % по сравнению с уровнем 2019 года и к 2060 году обеспечить баланс (далее «углеродная нейтральность») между антропогенными выбросами ПГ и их поглощением.

В Стратегии отмечается, что РФ, реализуя национальную стратегию низкоуглеродного развития, планирует внедрение технологий, способствующих расширению использования возобновляемых и альтернативных источников энергии с низким уровнем выбросов ПГ, включая использование альтернативных видов авиационного топлива (ААТ).

В октябре 2023 г. была принята новая Климатическая доктрина РФ [2]. В соответствии с ней подтверждена задача снизить в РФ выбросы ПГ к 2030 году на 70 % по отношению к уровню 1990 года и к 2060 году обеспечить углеродную нейтральность российской экономики.

Авиационная отрасль РФ, включая региональную авиацию (РА), вносит свой вклад в снижение вредного воздействия на окружающую среду с учетом важной роли отрасли как государствообразующей составляющей экономики страны, обеспечивающей доступность всей территории.

### Обеспечение транспортной и топливной доступности на территории РФ

Низкий уровень развития транспортной инфраструктуры для функционирования РА и осуществления круглогодичных авиаперевозок по доступным ценам, высокая стоимость создания объектов такой инфраструктуры затрудняют развитие региональных и местных воздушных перевозок, препятствуют повышению связанности сети воздушного транспорта и увеличению транспортной подвижности жителей.

Доступность топлива в удаленных и труднодоступных районах крайне ограничена, из-за чего стоимость его значительно повышается. Актуальной проблемой для топливообеспечения РА является удаленность источников авиатоплива. В результате чего топливо приходится транспортировать с нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) другими видами транспорта, либо заправлять самолет в аэропорту с доступным топливом сверх необходимого объема.

С этой точки зрения в этих регионах для перспективной РА, базирующейся на использовании технологий 2030-х годов, целесообразно рассматривать применение более дешевого и одновременно более экологичного авиационного газомоторного топлива. К таким видам топлива можно отнести авиационное сконденсированное топливо (АСКТ), представляющее собой смесь в основном двух углеводородных газов: пропана и бутана. АСКТ может помочь решить топливную проблему авиационного обеспечения удаленных регионов, основной областью деятельности которых является добыча нефтяного сырья. К таким регионам относится побережье Северного Ледовитого океана, Сибирь, Дальний Восток и регионы вечной мерзлоты. По сравнению с труднодоступным (привозным) авиакеросином применение АСКТ потенциально представляет собой более эффективное решение проблемы обеспечения авиaperевозок за счет полезного использования попутного нефтяного газа (ПНГ) на имеющемся газовом оборудовании для получения широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) без привлечения громоздких и сложных нефтеперерабатывающих установок. При отрицательных температурах АСКТ имеет лучшие характеристики по вязкости по сравнению с топливом из нефтяного сырья, а также оно обладает более высокой теплотворной способностью и хладоресурсом [3–7].

Наземная газотопливная инфраструктура для нефти может позволить не использовать нефтяное топливо, завозимое из НПЗ.

По мнению авторов, для такого топлива особенно актуальным становится не только определение топливной эффективности применения АСКТ в перспективной РА, но и сравнительная экономическая (стоимостная) оценка затрат на разработку, производство, доставку и хранение топлива, а также определение его углеродного следа.

### **Применение ААТ с пониженным углеродным следом**

Одним из актуальных трендов развития мировой гражданской авиации (ГА) сегодня является применение ААТ с низким углеродным следом (УС).

В зарубежной прессе при обсуждении применения ААТ с пониженным УС сейчас широко используется термин Sustainable Aviation Fuel (SAF), под которым в ИКАО понимается перспективное устойчиво производимое ненефтяное ААТ, которое удовлетворяет установленным критериям устойчивости его производства, учитывающим экологические, социально-экономические и другие последствия производства. Эти критерии в различных системах сертификации устойчивости (например, в системе ИКАО CORSIA [8, 9], европейской системе RED II [10], национальных системах США, Китая и других стран) заметно отличаются.

Главной проблемой широкого применения SAF является его высокая цена (сегодня в среднем оно в 2–10 раз дороже стандартного авиационного топлива (CAT)), неизбежно приводящая к повышению стоимости авиаперевозок и цен на авиабилеты (по оценкам экспертов в среднем авиаперелет может стать на 20 % дороже).

Следующей проблемой является ограниченное предложение SAF в мире, недостаточность источников сырья. По оценкам Международной ассоциации эксплуатантов воздушного транспорта IATA, для достижения углеродной нейтральности международных авиаперевозок к 2050 году потребуется производство свыше 450 млрд. литров SAF в год [11]. Сегодня реальный объем SAF, удовлетворяющих критериям устойчивости CORSIA, крайне мал [12], и перспективы расширения его производства и сертификации достаточно неопределенны и плохо прогнозируемы. Эти цифры свидетельствуют о том, что применение сертифицированных SAF, вероятно, не сможет помочь российским авиакомпаниям решить проблему снижения выбросов при приемлемых затратах в ближайшей и, возможно, среднесрочной перспективе.

При переходе на SAF следует учитывать, что САТ в разных странах разное. По американским (принятым в мире в качестве международных) стандартам ASTM допустимые пропорции смешивания САТ с SAF рассчитаны лишь для американского топлива Jet A-1. Однако в Австралии, Бразилии, Великобритании, Испании, Канаде, Китае, РФ, Франции, Швеции и Японии действуют национальные стандарты на САТ. Поэтому для обеспечения возможности использования смесей будущих SAF с различными САТ необходимо будет договариваться и приходиться к единому международному стандарту смесей с SAF.

На сегодняшний день 11 технологий производства будущих SAF прошли соответствующую техническую сертификацию [13].

### **Применение нефтяного авиационного топлива с низким УС LCAF**

Поскольку в РФ масштабное производство SAF пока является достаточно далекой перспективой, то ближней и среднесрочной перспективой может стать применение нефтяного авиационного топлива с более низким УС, чем у САТ (в ИКАО такие виды топлива называются LCAF – Low Carbon Aviation Fuel). Более низкий УС LCAF достигается за счет использования технологий и передового опыта в области уменьшения эмиссии ПГ на этапах жизненного цикла (ЖЦ) САТ до сжигания его в полете, включая добычу нефти, ее транспортировку на НПЗ, переработку нефти и транспортировку авиационного топлива на борт самолета. Не последнюю роль в использовании LCAF в РФ играют свойства исходного сырья, его исходная углеродоемкость, которая считается у нас одной из самых низких в мире. Этот вид ААТ может быть выгоден странам, обладающим ресурсами легкодоступной нефти, в частности РФ, как инструмент монетизации ее преимуществ с точки зрения углеродного следа. LCAF не будет отличаться от САТ по физико-химическим свойствам, не потребуются создание дополнительных мощностей для его транспортировки/хранения, а также дополнительная техническая сертификация для использования в авиационных двигателях.

Для получения статуса LCAF (как и SAF) оно должно пройти сертификацию устойчивости производства с целью подтверждения его соответствия критериям устойчивости, прежде всего в отношении уменьшенного УС.

В целом применение LCAF в РФ в перспективной РА поможет совершить переход ГА на применение более чистых источников энергии более плавным и устойчивым путем. Такой подход к снижению вредных выбросов в авиационной отрасли РФ может быть реализован гораздо быстрее, с заметно меньшими затратами и без непредвиденных негативных последствий. Кроме того, де-факто в настоящее время имеющиеся различия в УС используемого в авиации САТ практически никак не учитываются при его использовании в РФ, что представляется авторам статьи не совсем логичным и справедливым.

В целом применение LCAF может позволить достичь умеренного сокращения выбросов при минимальных затратах. Предложение LCAF для использования в перспективной РА может быть организовано в достаточно короткие сроки и в объемах, достаточных для удовлетворения растущих потребностей авиаперевозчиков.

### **Оценка УС и экономической эффективности применения ААТ**

В связи с последними прогнозами ИКАО по применению ААТ в ГА, в частности сделанными на 3-й конференции ИКАО по ААТ (СААФ/3) в ноябре 2023 г. в Дубае, в настоящее время появились и активно внедряются авиационным сообществом новые подходы и методики оценки выбросов ПГ за ЖЦ (углеродного следа) ААТ. Они позволяют обоснованно определять величину пониженного УС ААТ [14]. Однако при всей объективности этих подходов, разработанных экспертами ИКАО из развитых стран, применимость и эффективность их для РФ не очевидна и требует дополнительной адаптации.

При сравнительной оценке УС различных видов ААТ в настоящее время используется индекс эмиссии (EI) за ЖЦ – количество ПГ, выраженное в граммах CO<sub>2</sub>-эквивалента, выделяющееся при получении 1 МДж энергии из топлива, т.е. гCO<sub>2</sub>/МДж.

ЕІ применительно к SAF рассчитывается как сумма базового ЕІ за ЖЦ топлива и ЕІ за ЖЦ, связанного с изменением землепользования, вызванного выращиванием сырья для производства топлива.

При оценке ЕІ SAF за ЖЦ ИКАО учитывает выбросы по всей цепочке этапов его производства и использования.

При этом оценивается эмиссия, сопровождающая производственные процессы (выращивание сырья, функционирование установки производства топлива), и эмиссия, связанная с использованием химических реагентов и энергоресурсов (электроэнергии, природного газа).

Для различных типов сырья SAF используются различные подходы к расчету базового ЕІ ААТ за ЖЦ.

При рассмотрении ЖЦ топлива, помимо эмиссии углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), также учитывается эмиссия других ПГ – метана ( $\text{CH}_4$ ) и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Для их учета используется 100-летний потенциал глобального потепления, то есть масса эмиссии  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  пересчитывается в эквивалентное количество  $\text{CO}_2$ , исходя из того расчета, что за 100-летний период воздействие данного количества  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  на климат планеты будет равноценно воздействию эквивалентного количества  $\text{CO}_2$ .

Для САТ в ИКАО был принят ЕІ ПГ за ЖЦ равный  $89 \text{ гCO}_2/\text{МДж}$ , для авиационного бензина –  $95 \text{ гCO}_2/\text{МДж}$ .

Кроме того, для многих технически сертифицированных SAF могут использоваться принятые ИКАО средние значения ЕІ  $\text{CO}_2$  за ЖЦ [15].

Оценка экономической эффективности применения ААТ в перспективной РА базируется на определении относительного изменения эксплуатационных расходов и себестоимости авиаперевозок, связанного с заменой САТ на ААТ. Замена топлива может повлиять не только на изменение затрат на покупку ААТ, но и на изменение других составляющих затрат, связанных с возможными модификациями конструкции двигателей, самолетов и наземной инфраструктуры топливообеспечения.

В связи с этим одной из самых актуальных задач является корректная оценка углеродного следа и экономической эффективности применения на перспективной РА LCAF, которая учитывает все этапы ЖЦ, в т.ч. добычу нефти, транспортировку нефти на НПЗ, переработку нефти на НПЗ, получение LCAF, транспортировку его борт самолета и сжигание LCAF в полете. Другими важными задачами здесь являются: сертификация LCAF как топлива, учитываемого в системах регулирования выбросов  $\text{CO}_2$ , формирование системы верификации пониженного УС и сертификация LCAF на национальном, региональном и международном уровнях.

Для перспективной РА оценка экономической эффективности и УС топлива АСКТ также является важной задачей, требующей детального учета характерных этапов ЖЦ, а именно, использования отходов нефтедобычи (ПНГ), получения АСКТ, транспортировки его на борт самолета, сжигания АСКТ в полете, а также учета предотвращения потенциальных выбросов  $\text{CO}_2$  из-за утилизации отходов (предотвращения сжигания ПНГ). С точки зрения АСКТ как топлива с низким УС необходимо также признание его в качестве более экологичного топлива в системах регулирования выбросов  $\text{CO}_2$  с помощью верификации УС и сертификации.

По сравнению с магистральными самолетами для РА характерно снижение требований двигателя к топливу, т.к. существует вероятность, что имеющееся топливо и условия его хранения будут не соответствовать тем же стандартам качества топливообеспечения, что и в крупных аэропортах. Это условие, а также меньшие размеры двигателей, меньшие высоты и скорости крейсерского полета, меньшие дальности маршрутов способствуют менее оптимальному использованию энергии топлива, что увеличивает расход топлива, приходящийся на единицу совершенной транспортной работы. Все это увеличивает стоимость авиаперевозок из-за затрат на дополнительное оборудование самолета, более «всеядных» двигателей, большего относительного расхода топлива.

Для уменьшения затрат на региональные перелеты необходимо следовать ряду мероприятий, полностью согласующихся со стратегией устойчивого развития. Это комплексная

проблема, касающаяся всех областей деятельности, связанных с осуществлением авиаперевозок. Необходимо экстенсивное (восстановление заброшенных или строительство новых ВПП и аэродромов) и интенсивное (улучшение эксплуатационных характеристик, ремонт, доукомплектование эксплуатируемых аэродромов) развитие сети региональных аэродромов. В результате увеличатся возможности маневрирования, объем, безопасность и экономическая привлекательность региональных и местных авиаперевозок. Улучшение наземной инфраструктуры позволяет упростить требования к оборудованию самолетов и двигателям, уменьшить массу конструкции самолета, тем самым уменьшить себестоимость перевозок. Также оптимизация нагрузки сети аэродромов в отношении использования РА будет способствовать отказу от получивших в последнее время распространение транзитных перелетов через Москву, осуществляемых магистральными самолетами, и реализации более коротких прямых беспересадочных маршрутов. Корректная оценка эффективности применения ААТ на подобных маршрутах позволит повысить доступность этих территорий и их экологическую и экономическую привлекательность.

### **Проблемы перехода в РФ к более широкому использованию ААТ с пониженным УС**

В ходе СААФ/3 была принята Глобальная рамочная программа ИКАО в области SAF, LCAF и других более чистых источников энергии для авиации. Эта рамочная программа предусматривает сокращение эмиссии ПГ в области международных авиаперевозок на 5 % к 2030 г. за счет использования ААТ.

С 2027 г. система CORSIA должна применяться в обязательном порядке во всех странах, включая РФ.

В целом можно выделить 3 сценария выполнения российскими авиакомпаниями своих обязательств в рамках CORSIA и следования необязательным целям новой Глобальной рамочной программы ИКАО:

- 1) ускоренное развертывание производства LCAF в РФ;
- 2) покупка SAF за рубежом;
- 3) ускоренное развертывание производства SAF в РФ.

Реализация сценария 1 потребует адаптации методики ИКАО по расчету углеродного следа и экономической эффективности LCAF (разработанной Саудовской Аравией) к нашим условиям и учета особенностей ЖЦ САТ различных производителей авиационного топлива, а также создания национального центра сертификации устойчивости производства LCAF. Здесь уместно развитие сотрудничества с Саудовской Аравией, наиболее заинтересованной в международной сертификации LCAF.

В случае реализации сценария 2 будет необходимо найти зарубежных поставщиков SAF, организовать логистику доставки и использования этого топлива в РФ. При этом огромные финансовые ресурсы будут изыматься из российской экономики для финансирования производства SAF в других странах мира (в настоящее время производство SAF сконцентрировано в США и ЕС). Если бы платить пришлось уже в этом году, то расходы российских авиакомпаний по оценкам экспертов НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» составили бы 20–30 млрд руб., что эквивалентно увеличению стоимости авиабилетов в среднем на 1–1,5 тыс. руб. К 2030 г. потери российской экономики могут составить 50–150 млрд руб.

Для реализации сценария 3 необходимо преодолеть большое количество барьеров на пути производства и внедрения SAF в РФ. Однако в этом случае новые производства и рабочие места будут созданы на территории РФ. Более того, благодаря огромной ресурсной базе и низкой себестоимости производства, РФ могла бы в будущем стать одним из ключевых поставщиков SAF на мировом рынке.

В настоящее время в ГА можно применять только такие SAF, которые представляют собой смесь углеводородов со свойствами, близкими к свойствам САТ. Это связано с недостаточной плотностью SAF [16], а также с малым количеством (или в некоторых случаях отсутствием) ароматических углеводородов в составе SAF. Из-за последнего при взаимодействии

SAF с резиновыми уплотнениями и герметиками может происходить уменьшение их объема и, следовательно, утечка топлива [17–19]. В дополнение к этому, вследствие отсутствия сероорганических соединений и ароматических углеводородов SAF обладают более низкой смазывающей способностью по сравнению с САТ, что также может представлять проблему для некоторых авиационных деталей. Поэтому в последние годы зарубежные производители авиатехники работают над ее адаптацией к использованию 100 % SAF.

### Заключение

Для обеспечения транспортной и топливной доступности на удаленных территориях РФ возможно рассмотрение применения в перспективной РА доступных видов ААТ с пониженным УС.

С учетом поставленных целей по декарбонизации российской экономики и международных тенденций по снижению выбросов в ГА одной из приоритетных задач для РФ становится разработка и верификация методик оценки УС и экономической эффективности применения ААТ в перспективной РА. Такие методики должны:

- включать определение затрат и экологических выгод как авиакомпаний, так и аэропортов, разработчиков самолетов/двигателей, производителей авиатоплива;
- учитывать изменение цены используемого топлива и других составляющих затрат, связанных с возможными модификациями конструкции двигателей, самолетов, наземной инфраструктуры топливообеспечения;
- базироваться на учете всего ЖЦ топлива – от добычи/производства или выращивания сырья до сжигания на борту самолета, а для некоторых ААТ (например, АСКТ) учитывать предотвращенные выбросы от использования отходов при добыче нефти или природного газа;
- для LCAF и АСКТ учитывать также региональные (местные) особенности добычи, переработки, транспортировки топлива.

Авторы выражают благодарность Л.С. Яновскому за ценные замечания и предложения, высказанные при обсуждении статьи.

### Литература:

1. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 3052-р от 29 октября 2021 [Электронный ресурс] <http://government.ru/docs/all/137358/> (дата обращения 24.05.2024) [The strategy of socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050. Decree of the Government of the Russian Federation No. 3052-p dated October 29, 2021. Electronic resource: <http://government.ru/docs/all/137358/> (accessed 24.05.2024) (in Russian)].
2. Климатическая доктрина Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации №812 от 26 октября 2023. [Электронный ресурс] <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910>. (дата обращения 24.05.2024) [The climate doctrine of the Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation No. 812 dated October 26, 2023. Electronic resource: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910> (accessed 24.05.2027) (in Russian)].
3. ТУ 39-1547-91. Топливо авиационное, сконденсированное из нефтяного газа. Технические условия. [TU 39-1547-91. Aviation fuel condensed from petroleum gas. Technical conditions (in Russian)].
4. Яновский Л.С., Зайцев В.П. Авиационное сконденсированное топливо и его преимущества // Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе», 2012, № 5(29), С.18–21. [Yanovskiy L.S., Zaytsev V.P. Aviation condensed (gas) fuel and its benefits // International Scientific and Technical Journal “Alternative Fuel Transport”, 2012, No. 5(29). P. 18–21 (in Russian)].
5. Дутов А.В., Маврицкий В.И., Зайцев В.П. Перевод авиации на газ. Варианты решения транспортной проблемы северных и арктических регионов // Арктика: экология и экономика. 2011. № 3(3). С. 80–89. [Dutov A.V., Mavritskiy V.I., Zaitsev V.P. Conversion of aviation to gas. Options

- for solving the transport problem of the northern and Arctic regions // Arctic: Ecology and Economy. 2011. No. 3(3). P. 80–89 (in Russian)].
6. Разносчиков В.В., Яновская М.Л. Оптимизация состава авиационного сконденсированного топлива для транспортных самолетов // Авто-газозаправочный комплекс + Альтернативное топливо - №4 (52), 2010. [Raznoschikov V.V., Yanovskaya M.L. Optimization of the composition of aviation condensed fuel for transport aircraft // Auto-Gas Refueling Complex + Alternative Fuel – No. 4 (52), 2010 (in Russian)].
7. Архипов В.В., Зайцев В.П., Зятямин И.Ю., Костерев Н.Б., Яновский Л.С. Особенности исследований, связанных с внедрением газомоторных топлив в авиационную технику // Научный журнал Российского газового общества № 1(29), 2021. [Arkhipov V.V., Zaitsev V.P., Zatyamin I.Yu., Kosterev N.B., Yanovsky L.S. Features of research related to the introduction of gas engine fuels into aviation technology // Scientific Journal of the Russian gas Society No. 1 (29), 2021 (in Russian)].
8. Приложение 16 «Охрана окружающей среды» к Конвенции о международной авиации, том IV «Система компенсации и сокращения выбросов углерода для международной авиации (CORSA)», 2-е изд., июль 2023. [Электронный ресурс] [https://elibrary.icao.int/home/product-details/229740?\\_gl=1\\*11ocml3\\*\\_ga\\*OTE5ODg2NDM3LjE3MTA5Mzk5Nzg.\\*\\_ga\\_992N3YDLBQ\\*MTcxMTQzNDAxMi4lLjAuMTcxMTQzNDAxMi4wLjAuMA](https://elibrary.icao.int/home/product-details/229740?_gl=1*11ocml3*_ga*OTE5ODg2NDM3LjE3MTA5Mzk5Nzg.*_ga_992N3YDLBQ*MTcxMTQzNDAxMi4lLjAuMTcxMTQzNDAxMi4wLjAuMA) (дата обращения 24.05.2024). [Annex 16 “Environmental Protection” to the Convention on International Aviation, Volume 4 “Carbon Compensation and Reduction System for International Aviation (CORSA)”, 2nd ed., July 2023. Electronic resource: [https://elibrary.icao.int/home/product-details/229740?\\_gl=1\\*11ocml3\\*\\_ga\\*OTE5ODg2NDM3LjE3MTA5Mzk5Nzg.\\*\\_ga\\_992N3YDLBQ\\*MTcxMTQzNDAxMi4lLjAuMTcxMTQzNDAxMi4wLjAuMA](https://elibrary.icao.int/home/product-details/229740?_gl=1*11ocml3*_ga*OTE5ODg2NDM3LjE3MTA5Mzk5Nzg.*_ga_992N3YDLBQ*MTcxMTQzNDAxMi4lLjAuMTcxMTQzNDAxMi4wLjAuMA) (accessed 24.05.2024)].
9. CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels, 2<sup>nd</sup> ed., November 2021. [Electronic resource] <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202021.pdf> (accessed 24.05.2024).
10. RED II – Обновленная европейская директива по возобновляемым источникам энергии, 2019. [Электронный ресурс] <https://www.fuelsdigest.com/post/red-ii-обновленная-европейская-директива-по-возобновляемым-источникам-энергии> (дата обращения 24.05.2024) [RED II – Updated European Renewable Energy Directive, 2019. Electronic resource: <https://www.fuelsdigest.com/post/red-ii-обновленная-европейская-директива-по-возобновляемым-источникам-энергии> (accessed 24.05.2024) (in Russian)]
11. Net zero carbon 2050 resolution. Fact sheet. IATA, October 2021. [Electronic resource] <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---iata-net-zero-resolution> (accessed 24.05.2024).
12. CORSIA Approved Sustainability Certification Schemes. ICAO, 2nd edition, June 2023. [Electronic resource] [https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA\\_Eligible\\_Fuels/ICAO%20document%2004%20-%20Approved%20SCSs%20-%20June%202023.pdf#search=CORSIA%20Approved%20sustainability%20certification](https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2004%20-%20Approved%20SCSs%20-%20June%202023.pdf#search=CORSIA%20Approved%20sustainability%20certification). (accessed 24.05.2024).
13. Approved Conversion Processes. ICAO, June 2023. [Electronic resource] <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx> (accessed 24.05.2024).
14. CORSIA Methodology for Calculating Actual Life Cycle Emissions Values, 3rd edition, June 2022. [Electronic resource] [https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA\\_Eligible\\_Fuels/ICAO%20document%2007%20-%20Methodology%20for%20Actual%20Life%20Cycle%20Emissions%20-%20June%202022.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2007%20-%20Methodology%20for%20Actual%20Life%20Cycle%20Emissions%20-%20June%202022.pdf) (accessed 24.05.2024).
15. CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels, 4th edition, June 2022. [Electronic resource] [https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA\\_Eligible\\_Fuels/ICAO%20document%2006%20-%20Default%20Life%20Cycle%20Emissions%20-%20June%202022.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2006%20-%20Default%20Life%20Cycle%20Emissions%20-%20June%202022.pdf) (accessed 24.05.2024).

16. Савельев А.М., Савельева В.А., Кадочников И.Н., Козлов В.Е., Кострица С.А., Новаковский Д.В. Синтетические углеводородные топлива: развитие технологий, проблемы и перспективы применения в авиационных ГТД // *Авиационные двигатели*. 2023. № 2(19) июнь. С. 51–74. [Savelyev A.M., Savelyeva V.A., Kadochnikov I.N., Kozlov V.E., Kostritsa S.A., Novakovsky D.V., Synthetic hydrocarbon fuels: technological advancements, issues and potential for use in aviation GTEs // *Aviation Engines*. 2023. No. 2(19) June. P. 51–74 (in Russian)].
17. S. Kramer, G. Andac, J. Heyne, J. Ellsworth, P. Herzig, K.C. Lewis. Perspectives on Fully Synthesized Sustainable Aviation Fuels: Direction and Opportunities // *Frontiers in Energy Research*. 2022. No. 9 P. 1–7.
18. A. Anuar, V.K. Undavalli, B. Khandelwal, S. Blakey. Effect of fuels, aromatics and preparation methods on seal swell // *Aeronautical Journal*. 2021. No. 125, P. 1542–1565.
19. Impact of Alternative Jet Fuel and Fuel Blends on Non-Metallic Materials Used in Commercial Aircraft Fuel Systems, CLEEN Project Final Report – Submitted by the Boeing Company, 2011. 61 p. [Electronic resource] [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/about/office\\_org/headquarters\\_offices/apl/Impact\\_of\\_Alternative\\_Jet\\_Fuel\\_and\\_Fuel\\_Blends.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/about/office_org/headquarters_offices/apl/Impact_of_Alternative_Jet_Fuel_and_Fuel_Blends.pdf) (accessed 24.05.2024).

#### Об авторах:

**МИРЗОЯН Артур Амазаспович**, начальник сектора, Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», +7 495 362 39 20, mirzoyan@ciam.ru.

**НИГМАТУЛЛИН Руслан Радикович**, инженер II категории отдела «Оценка эффективности применения силовых установок на летательных аппаратах различного назначения», Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», +7 495 362 02 74, rnigmatullin@ciam.ru.

**ПОЛЯКОВ Алексей Романович**, начальник сектора, Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», +7 499 763 61 69, arpolyakov@ciam.ru.

**СМОЛЯКОВ Олег Александрович**, кандидат экономических наук, научный сотрудник, Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», +7 499 763 61 69, oasmolyakov@ciam.ru.

**ФОКИН Даниил Борисович**, начальник отдела, Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», +7 495 361 29 98, dbfokin@ciam.ru.

#### Metadata:

**Title:** Current approach to the methodology for evaluation of the efficiency of using the alternative (low-carbon) aviation fuel on advanced regional aircraft.

**Author 1:** Artur Amazaspovich Mirzoyan, Central Institute of Aviation Motors, 2, Aviamotornaya st., Moscow, Russia, aamirzoyan@ciam.ru, ORCID ID 0000-0003-0663-9625, Scopus Author ID: 55753878400, Web of Science ResearcherID: K-4887-2017.

**Author 2:** Ruslan Radikovich Nigmatullin, Central Institute of Aviation Motors, 2, Aviamotornaya st., Moscow, Russia, rnigmatullin@ciam.ru.

**Author 3:** Alexey Romanovich Polyakov, Central Institute of Aviation Motors, 2, Aviamotornaya st., Moscow, Russia, arpolyakov@ciam.ru, ORCID: 0000-0002-6000-6637, Web of Science ResearcherID: AAR-6575-2021.

**Author 4:** Oleg Alexandrovich Smolyakov, Cand. Sci. in economics, Central Institute of Aviation Motors, 2, Aviamotornaya st., Moscow, Russia, oasmolyakov@ciam.ru, ORCID: 0000-0002-2074-2138.

**Author 5:** Daniil Borisovich Fokin, Central Institute of Aviation Motors, 2, Aviamotornaya st., Moscow, Russia, dbfokin@ciam.ru.

**Abstract:** In regional aviation in accordance with Russia's low-carbon development strategy, it is planned to introduce technologies for using more ecological alternative types of aviation fuel. At the

same time, the aviation industry ensures transport accessibility throughout the country and requires an assessment of the effects of decarbonization on the economic efficiency of air transportation. The features of the use of aviation condensed fuel ACF, petroleum-based low life cycle emissions fuel LCAF and aviation fuel from renewable sources SAF are shown. The possibility of using a particular type of fuel is related to its production process and the availability of raw materials. The main provisions of the methodology for environmental and economic assessment of the efficiency of the use of various types of alternative aviation fuels for advanced regional aircraft, including in order to fulfillment obligations to reduce greenhouse gas emissions in aviation, are presented.

**Keywords:** alternative aviation fuel, regional aircraft, ecology, economic efficiency.