

К вопросу об эффективности внедрения авиационного сконденсированного топлива



В. П. Зайцев,
генеральный директор
ОАО «Интеравиагаз»,
действительный член
Российской академии
космонавтики
им. К. Э. Циолковского,
заслуженный создатель
космической техники

Поиск приемлемой альтернативы топливам, производимым из нефти, в том числе авиационным, идёт уже несколько десятилетий. Отечественные специалисты авиационной и нефтегазовой промышленности еще с 1980-х годов сосредоточили усилия на разработке и внедрении в авиацию альтернативного вида топлива – авиационного сконденсированного топлива (АСКТ). Экологический потенциал газотопливной технологии позволит уменьшить парниковый эффект и ограничить давление на озоновый слой, что соответствует духу Киотских соглашений.

Необходимость внедрения альтернативного авиатоплива

Нарастающие потребности в мировых перевозках требуют всё больших энергетических затрат. Усугубляет эту тенденцию ожидаемое истощение традиционных энергетических ресурсов, падение добычи нефти и связанное с этим уменьшение производства жидкого топлива, включая и авиакеросин (рис. 1). Кроме того, мировую общественность беспокоят вопросы влияния всё увеличивающегося количества летательных аппаратов на атмосферные процессы.

На необходимость использования сжиженного газа в качестве газомоторного неоднократно указывали законодательные органы и заинтересованные министерства РФ. Использование газового топлива полностью отвечает цело-

му ряду международных документов по энергоэффективности, энергосбережению, экологии и другим, подписанным руководством России. Президент РФ В. В. Путин 14 мая 2013 г. в Сочи на специальном совещании о перспективах использования газомоторного топлива заявил, что у России есть все возможности – и ресурсные, и технологические, – чтобы занять в мире лидирующие позиции в развитии рынка газомоторного топлива, и предложил обсудить, какую технику и на какой вид газового топлива целесообразно переводить в приоритетном порядке.

Российские специалисты предложили начать использовать газомоторное топливо в авиации с более эксплуатационно приемлемых газов пропан-бутанового ряда. Затем, приобретя опыт, подготовив кадры и используя прибыль,

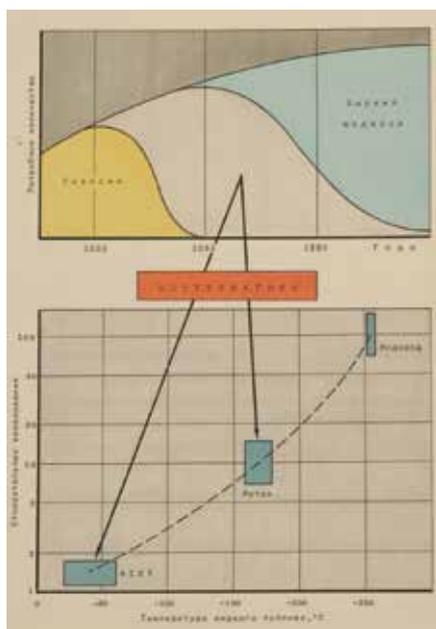


Рис. 1. Прогнозируемые тенденции относительного изменения общего энергопотребления и видов топлива в авиации (вверху), затраты на внедрение новых энергоносителей относительно авиакеросина (внизу)

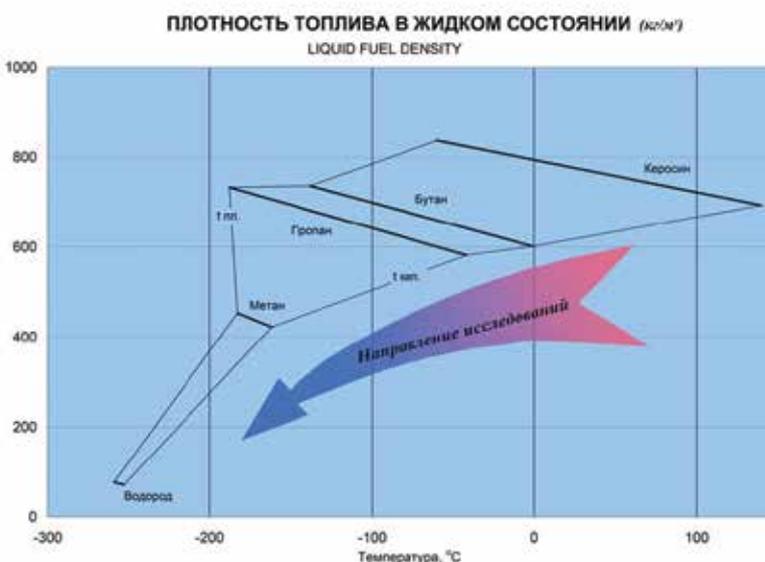


Рис. 2. Последовательность внедрения газомоторного топлива в авиационную технику

полученную на этом этапе, перейти к более сложному и дорогому внедрению криогенного СПГ – сжиженного природного газа (метана) и потом, возможно, – к внедрению водорода (рис. 2).

В этом случае научные достижения каждого этапа будут быстрее внедряться в производственную практику, а полученные средства – направляться на дальнейшие исследования. При значительно меньших затратах будет приобретен опыт эксплуатации газотопливных летательных аппаратов на относительно высоком уровне температур. Этот опыт затем можно применить при создании авиационной техники, работающей на топливе на более низком температурном уровне. Но перспективы широкого использования различных газов или газовых смесей в аэрокосмической технике должна определять экономика.

Усилиями целого ряда исследовательских организаций: ЦАГИ, ЦИАМ, ГосНИИ ГА, НИПИгазпереработка, Интеравиагаз и др. – было разработано альтернативное авиационное сконденсированное пропан-бутановое топливо (АСКТ), которое относительно несложно получать из попутного нефтяного (ПНГ) или «жирного» природного газа по ТУ 39-1547-91 (рис. 3). АСКТ имеет определённые преимущества перед авиакеросином: меньшую стоимость, более высокую теплотворную способность, меньшие нагароотложения и износ двигателя, большую чистоту выбросов при сгорании топлива, меньшее время запуска в зимних условиях и пр. Технология производства АСКТ отработана в НИПИгазпереработка.

Реальность использования АСКТ была доказана в ходе наземных и лётных испытаний экспериментального вертолёт Ми-8ТГ. Первый в мире опытно-промышленный образец вертолёт Ми-8ТГ, оба двигателя которого могут работать как на АСКТ, так и на обычном авиакеросине, а также на их смесях практически в любой пропорции, был создан в начале 1990-х годов на ОАО «Московский вертолётный завод им. М. Л. Миля» при активном участии ОАО «Интеравиагаз». Этот вертолёт показал отличные результаты на всех режимах, характерных для Ми-8Т. Двухтопливный вертолёт-газолёт демонстрировался в полете на авиасалоне «МАКС-95» (рис. 4). Расчеты и испытания показали, что при переходе на газовое топливо характеристики вертолёт остаются практически неизмен-



Рис. 3. Схема разгонки попутного нефтяного газа



Рис. 4. Газолёт – вертолёт на газовом топливе (МАКС-95)



Рис. 5. Эффект от внедрения АСКТ для различных отраслей

ными, а некоторые даже улучшаются (в том числе при эксплуатации в условиях пониженных температур). Позже Ми-8ТГ получил более 20 наград и номинаций на различных выставках. Доказано, что использование АСКТ возможно и на самолётах – как существующих (Як-42, Ил-114, возможно, Ан-2), так и перспективных (Ту-136) с газотурбинными и с поршневыми двигателями.

Наиболее эффективно использование АСКТ в труднодоступных и мало-

населённых арктических, северных, сибирских и дальневосточных регионах России, которые составляют около 70 % её территории. Там авиация является основным, часто единственным транспортным средством, при этом из-за высоких цен на авиатопливо тарифы на авиaperезвозки очень высоки, и показатель перевозок в этих регионах неуклонно снижается. Транспортная подвижность населения в этих регионах поддерживается постоянно растущими



Рис. 6. Схема распределения затрат при осуществлении проекта на базе ГЧП



Рис. 7. Мультипликативный эффект от внедрения АСКТ

субсидиями, составляющими несколько миллиардов рублей в год.

Именно в этих регионах имеется ПНГ, излишки которого (от 20 до 40 млрд м³) из-за сложности транспортировки и отсутствия спроса на месте сжигаются в факелах. АСКТ в этих регионах будет в 3–4 раза дешевле авиакеросина. Учитывая теплофизические свойства АСКТ и низкие температуры, нормальные для северных широт, доработка воздушных судов может быть сведена к минимуму, что позволит обратить климатические особенности наших Севера и Арктики в преимущества.

Во внедрении АСКТ потенциально заинтересованы ряд федеральных и региональных ведомств и определённые бизнес-сообщества (рис. 5). Реализация предлагаемого проекта требует согласованной

работы заинтересованных министерств РФ (Минрегионразвития, Минтранс, Минпромторг, Минэнерго, Минсельхоз, Минэкономразвития, МЧС и др.) и регионов внедрения (ХМАО, ЯНАО, Коми, Саха, Красноярский и Приморский края и др.), а также хозяйствующих субъектов. Наиболее целесообразно осуществление проекта на базе государственно-частного партнерства в рамках соответствующих Федерально-региональных программ (рис. 6) при организующей роли государства.

Таблица 1. Групповой углеводородный состав топлив ТС-1 и АСКТ (% масс.)

Углеводороды	ТС-1	АСКТ
Парафиновые	42–32	100
Олефиновые	1,1–2,0	0
Нафтенновые	30–49	0
Ароматические	11–21	0

Внедрение данного инновационного решения позволит активизировать воздушные авиаперевозки и возродить региональную авиацию, а также более эффективно использовать ПНГ, ускорить и удешевить процесс освоения сырьевых регионов Сибири, Севера, Дальнего Востока и Арктики, что даст огромный мультипликативный эффект (рис. 7). А главное, это послужит наглядной демонстрацией восстановленных возможностей отечественной авиационной науки и промышленности. Ведь пока приоритет в создании высококонкурентных продуктов – экологически чистых авиатоплива и воздушного транспорта – за Россией.

Преимущества газового топлива АСКТ по сравнению с традиционным топливом

Авиакеросин ТС-1 является массовым реактивным топливом для дозвуковой и сверхзвуковой (с ограниченной продолжительностью сверхзвукового полета) авиации. Оно бывает прямогонным и смесевым. В последнем случае в прямогонную фракцию нефти добавляется гидроочищенный компонент. По физико-химическим свойствам топливо ТС-1 должно удовлетворять требованиям ГОСТ 10227-62.

АСКТ представляет собой смесь парафиновых углеводородов от пропана (C3) до гексана (с доминированием бутана) с небольшой примесью более тяжелых парафиновых углеводородов (вплоть до C10). В технических условиях на АСКТ (ТУ 39-1547-91) предусмотрено ограничение на содержание пропана – не более 7,2 % (масс.), так как он в основном и определяет давление насыщенных паров в топливном баке при плюсовых температурах. Содержание других компонентов не регламентируется. Оно полностью удовлетворяет всему комплексу требований со стороны авиационной техники. По экспертным оценкам, при его сгорании выделяется на 25–30 % меньше парниковых газов, чем от авиакеросина.

Основным сырьем для получения АСКТ является ПНГ. Групповой углеводородный состав топлив ТС-1 и АСКТ приведен в табл. 1.

Таблица 2. Физико-химические свойства топлив ТС-1 и АСКТ

№ п/п	Показатели	АСКТ	ТС-1
1	Теплота сгорания низшая, кДж	≥ 45217	≥ 42914
2	Плотность при 20 °С, кг/м ³	≥ 585	≥ 775
3	Массовое содержание пропана, %	≤ 7,2	-
4	Давление насыщенных паров при 45 °С, МПа	≤ 0,5	≤ 0,1
5	Содержание сернистых соединений, % (масс.)	≤ 0,002	≤ 0,25
6	Содержание свободной воды	Отс.	≤ 0,003 % (масс.)
7	Содержание механических примесей	Отс.	≤ 0,0002 % (масс.)
8	Содержание щелочи	Отс.	
9	Содержание растворённого кислорода	Отс.	
10	ПДК, мг/м ³	300	300
11	Класс опасности	4	4
12	Температура начала кипения при давлении 0,101 МПа, °С	-4 ÷ +15	~140
13	Стехиометрическое соотношение	15,40–15,45	14,7
14	Концентрационные пределы распространения пламени при 200 °С, % (об.): нижний верхний	1,2 7,1	1,5–1,6 8,0–9,5
15	Температура самовоспламенения, °С	400	210–220
16	Жаропроизводительность, °С	2080	2160

Известно, что по склонности к дымообразованию углеводороды располагаются в такой последовательности:

парафиновые < олефиновые < нафтеновые < ароматические.

Парафиновые углеводороды, из которых состоит АСКТ, не только характеризуются самыми малыми значениями фактора дымности, но и менее всего склонны к образованию нагара. Этим и определяется существенно меньшая склонность АСКТ к дымлению (оно примерно на уровне легкого бензина Б-70) по сравнению с авиакеросинами. Меньшая склонность к отложению нагара на стенках камеры сгорания и лопатках турбины обуславливают при использовании АСКТ возможность значительно увеличения ресурса двигателей.

Из табл. 2 видно, что по удельной теплоте сгорания АСКТ превосходит реактивное топливо ТС-1 на ~5,0 %, что позволяет иметь соответственно меньший запас топлива (по массе) при неизменной дальности полета.

Процесс преобразования химической энергии в тепловую у топлива ТС-1 в отличие от АСКТ в значительной степени зависит от режимных параметров камеры сгорания. Кроме того, полнота сгорания у авиакеросина ТС-1 тесно связана с температурой окружающей среды и значительно снижается в области низких отрицательных температур из-за увеличения вязкости и ухудшения процесса его испарения. АСКТ, температура кипения которого составляет около -10 °С, при отрицательных температурах имеет в несколько раз меньшую вязкость и испаряется значительно легче. Это значительно облегчает запуск двигателей в зимних условиях, что позволяет понизить разрешительный порог эксплуатации авиационной техники с -40 до -50 °С и ниже, а возможность двигателя работать на смеси АСКТ и керосина позволит варьировать величину этого порога. Правда, меньшая вязкость несколько ухудшает противоизносные свойства АСКТ, но их можно легко улучшить с помощью противоизносных присадок типа вводимых в гидроочи-

щенные авиационные топлива (например, в топливо РТ).

С ростом температур окружающей среды давление в топливных баках с АСКТ повышается. Это обусловлено в основном испаряемостью пропана. Поэтому баки с АСКТ будут несколько тяжелее баков с ТС-1, так как должны быть рассчитаны на повышенное давление и выполняться с закрытым дренажем.

В АСКТ практически отсутствуют гетероатомные соединения (меркаптаны, сульфиды, дисульфиды и др.), которые ухудшают эксплуатационные свойства топлива: понижают термостабильность, вызывают коррозию конструкционных материалов, повышают склонность топлива к дымлению и отложению нагара в камерах сгорания, ухудшают экологические показатели. В топливе ТС-1 содержание гетероатомных соединений может достигать 2 % (масс.).

В АСКТ отсутствуют механические примеси и свободная вода. Это обусловлено специфической (изолированной от атмосферы) технологией его получения, хранения, транспортировки и заправки.

Для топлива ТС-1 максимальная эксплуатационная температура по термоокислительной стабильности допускаются в пределах 100–120 °С. АСКТ состоит из легких парафиновых углеводородов. Это однозначно определяет его более высокую термоокислительную стабильность.

Топливо ТС-1 и АСКТ относятся к легковоспламеняющимся продуктам. ТС-1 при хранении на борту летательного аппарата и на складе ГСМ, а также при некоторых вариантах перекачки и заправки находится в постоянном контакте с воздухом. Это повышает вероятность пожара. В отличие от АСКТ, продукты сгорания топлива ТС-1 обладают повышенной излучательной способностью пламени из-за наличия в них конденсированных частиц (сажи, капель, мехпримесей). Поэтому разлитое реактивное топливо будет гореть дольше и с более интенсивным излучением пламени, чем АСКТ. Пролитое реактивное топливо пропитывает поверхностный слой земли и смачивает конструктивные элементы, способно накапливаться в грунте, создавая риск пожара и негативных экологических последствий.

Отсутствие контакта АСКТ с воздухом на всем пути от производства до двигателя сводит его пожароопасность к нулю за исключением случаев аварийной разгерметизации ёмкостей и трубопроводов с АСКТ. При плюсовых температурах окружающей среды газ будет испаряться и разноситься по ветру, при отрицательных температурах – разливаться, как и ТС-1, но испаряться при повышении температуры. Таким образом, смачивания грунта не произойдет.

В продуктах сгорания реактивных топлив практически всегда присутствует группа полиароматических углеводородов (ПАУ) и продукты их химического взаимодействия с оксидами азота (нитроПАУ). Следует отметить, что эти вещества в определенных условиях обладают канцерогенным и мутагенным воздействием на человека и животных.

Продукты сгорания АСКТ экологически более чистые по сравнению с продуктами сгорания топлива ТС-1. Это обусловлено тем, что в АСКТ отсутствуют ароматические и непредельные углеводороды, смолистые вещества, а также существенно меньше сернистых соединений. В продуктах сгорания АСКТ меньше конденсированных частиц и продуктов термического разложения исходных углеводородов.

В заключение следует отметить, что производство реактивного топлива ТС-1 основано на использовании дорогостоящего химико-технологического процесса. АСКТ находится в попутном нефтяном газе в естественном виде в смеси с другими газами. Его выделение производится посредством обычных физических процессов – сжатия и охлаждения газа и не требует сложного технологического оборудования.

Таким образом, себестоимость производства АСКТ значительно ниже, чем реактивного топлива – авиакеросина и близка к себестоимости автопропана – ПБА, или бытового сжиженного газа – СПБТ, так как у них общая сырьевая база и они производятся на аналогичном оборудовании. Автопропан в ~2 раза дешевле, чем автобензин и авиакеросин; в труднодоступных газонефтедобывающих регионах их цена может различаться в 3–4 раза).

Итак, АСКТ имеет ряд существенных преимуществ (особенно для авиации) по сравнению с топливом ТС-1, которые в значительной мере компенсируют его несколько меньшую плотность и более высокое давление насыщенных паров.

Оценка эффективности внедрения нового авиационного газомоторного топлива

Внедрение АСКТ на воздушных судах региональной авиации может обеспечить существенный качественный и коммерческий эффект. Оценить коммерческий эффект, обусловленный разницей в стоимости традиционного и альтернативного топлива, достаточно сложно по ряду причин. Во-первых, эта разница по регионам России может сильно различаться. Во-вторых, сложно оценить суммарные объёмы потребления топлива. Расчёт необходимо проводить или на перспективу (2025–2030 гг.), или ориентируясь на суммарные расходы авиатоплива региональной авиацией и вертолётами на начало 1990-х годов. В-третьих, цену АСКТ и авиакеросина определяет рынок, и прогнозировать его поведение сложно. Хотя даже при одинаковой динамике роста абсолютная разность в ценах на сравниваемые топлива будет только увеличиваться.

По ориентировочным оценкам, годовая экономия для парка вертолётов может составить около 12 млрд руб. (около \$400 млн). Кроме того, региональная авиация, согласно прогнозам ГосНИИ ГА, в 2025–2030 гг. может допол-

нительно сэкономить около 9 млрд руб. (около \$300 млн) в год.

Переход вертолётов и самолётов региональной авиации на АСКТ позволит в перспективе высвободить 1,0–1,5 млн т традиционного авиатоплива и рационально использовать от 3 до 6 млрд м³ попутного нефтяного газа, а суммарная годовая экономия региональных авиаотрядов за счёт использования более дешёвого топлива может составить почти 20 млрд руб. в год (около \$700 млн). Использование этого топлива на других воздушных судах, включая вновь разрабатываемые (Ми-38, Ан-140, Ту-136 и т. п.) также может принести существенную прибыль.

Также следует отметить качественные эффекты внедрения АСКТ на региональных воздушных судах. Их условно можно разделить на три группы.

Топливо-энергетический эффект:

- более рационально использовать топливо-энергетические ресурсы Российской Федерации для производства высококачественного авиа- и автотоплива;
- высвободить за счёт замены газом значительное количество авиакеросина и автобензина, отказаться от их ввоза в газо- и нефтедобывающие регионы, снизить расходы на их хранение в течение несудоходного периода, сократить внутрирайонные перевозки топлива, обеспечить региональный авиапарк (особенно вертолёты, широко используемые в условиях бездорожья), а также автопарк более дешёвым (в 2–5 раз) экологически чистым топливом и решить тем самым топливо-транспортную проблему этих регионов;
- создать выгодную для газопереработчиков безотходную технологию выработки авиатоплива из конденсата нефтяного газа с получением АСКТ и автомобильного пропан-бутана;
- практически исключить снабжение жидким топливом силовых агрегатов, а также воздушного и наземного транспорта, обслуживающих нефтяные и газовые месторождения, комплексно перевести их на газовое топливо;
- уменьшить издержки при освоении новых месторождений;
- повысить топливную независимость сырьевых регионов;
- рационально использовать попутные газы, сгорающие в факелах;
- сформировать крупного потребителя газового топлива в местах его добычи.

Технико-эксплуатационный эффект:

- улучшить лётно-технические и эксплуатационные характеристики вертолётов и самолётов (ресурс, запуск, эмиссия и т. д.);
- увеличить площадь обслуживания нефте- и газодобывающих промыслов вахтовыми посёлками за счёт увеличения радиуса действия вертолётов при заправке их авиатопливом от размещённых на месторождениях и морских платформах малогабаритных установок;
- удешевить авиаперевозки и возродить региональную авиацию;
- приобрести опыт эксплуатации летательных аппаратов на АСКТ при температурах выше криогенных, впоследствии использовать этот опыт при создании летательных аппаратов на криогенном природном газе;
- создать новое поколение воздушных и наземных транспортных средств, работающих на газовом топливе, которые будут обеспечивать экологически щадящее освоение ресурсов Сибири и Севера России.

Социально-экологический эффект:

- удешевить авиаперевозки и сделать их более доступными для населения;
- уменьшить размер субсидий, выделяемых на социально значимые авиаперевозки;
- способствовать взаимовыгодному объединению промышленных и сырьевых

регионов России;

- обеспечить загрузку конверсионных предприятий авиационной и ракетной промышленности, а также региональных авиаремонтных предприятий и авиаотрядов;
- восстановить в северных регионах социальные достижения прошлого, которые традиционно обеспечивали вертолёт, такие как скорая медицинская помощь, обслуживание оленеводов, доставка почты и продуктов в дальние поселки и геологические экспедиции и т. п.
- уменьшить воздействие на экологически хрупкую среду тундры, в которой сосредоточены основные запасы российской нефти, газа и других полезных ископаемых;
- улучшить экологическое состояние воздушной среды в районах интенсивной нефте- и газодобычи и переработки, а также в районах аэропортов и в верхних слоях атмосферы;
- способствовать развитию туризма, в том числе экологического и экстремального;
- способствовать увеличению рабочих мест и ускоренному развитию производительных сил в регионах за счёт расширения авиаработ и увеличения грузоперевозок;
- увеличить валютную выручку России за счёт продажи транспортной техники, работающей на газовом то-

пливе, газомоторного топлива, установок для его получения и квот на выбросы CO₂.

Внешние рынки АСКТ

Учитывая отсутствие на зарубежных рынках газотопливных летательных аппаратов, можно с уверенностью предположить, что их появление в России вызовет определённый интерес и у иностранных покупателей. Для продажи на внешнем рынке Россия наряду с двухтопливными вертолётами и самолётами может предложить и авиационное сконденсированное топливо или лицензию на его производство, а также весь комплект наземных средств для систем топливоснабжения и обеспечения полетов.

Потенциальными покупателями газотопливной техники и АСКТ могут быть страны ближнего зарубежья, в первую очередь Казахстан, Беларусь, Украина, Азербайджан, Армения и другие страны, имеющие вертолёты семейства Ми-8: бывшие страны СЭВ (Румыния, Польша, Болгария и др.) и развивающиеся страны (Китай, Перу, Мексика, Египет и др.). Большой интерес могут проявить и страны, имеющие сырьевую базу для производства АСКТ – нефтяной газ: Норвегия, страны Ближнего Востока (Кувейт, Саудовская Аравия, Ирак, Иран и др.), Юго-Восточная Азия (Индонезия, Вьетнам).

Т