IV. Экономика

УДК 656.7.022.8 629.7.015.3

Перевод авиации на газ. Варианты решения транспортной проблемы северных и арктических регионов

А.В. Дутов, кандидат экономических наук,
В.И. Маврицкий, кандидат технических наук,
ФГУП «ЦАГИ»
В.П. Зайцев,
ОАО «Интеравиагаз»

За последнее время региональные авиационные перевозки, особенно на Крайнем Севере России и приравненным к нему местностям, значительно сократились. Одной из причин этого является высокий летный тариф, обусловленный постоянно растущими ценами на авиатопливо, его транспортировку и хранение (с учетом сезонного завоза). Этот фактор, а также недостаточная платежеспособность населения делает воздушный транспорт практически недоступным для большинства жителей отдаленных и малонаселенных территорий России. В результате 12-15 миллионов человек на 60-67% территории практически отрезаны от жизни страны. Это может угрожать национальным интересам России. Поэтому транспортная подвижность населения в этих регионах низка и поддерживается субсидиями, величина которых по стране превышает несколько миллиардов рублей и размер которых ежегодно увеличивается.

Однако в рассматриваемых регионах имеются огромные запасы попутного нефтяного и природного газов, продукты переработки которых можно использовать в качестве авиатоплива. Они экологически чище авиакеросина, а некоторые и дешевле. Воздушные суда, работающие на газовом топливе, могли бы решить транспортную проблему труднодоступных северных, дальневосточных и арктических регионов Российской Федерации.

Этим направлением исследований ФГУП «ЦАГИ», ФГУП ГосНИИ ГА, ФГУП «ЦИАМ», ОАО «НИПИгазпереработка», ОАО «Интеравиагаз», вертолетные и самолетные конструкторские бюро и другие организации занимаются с конца прошлого века. В результате, в нашей стране первый в мире полет экспериментального вертолета Ми-8ТГ, один из двух двигателей которого работал на топливе пропан-бутанового ряда, состоялся в 1987 г., а на испытаниях самолета - летающей лаборатории Ту-154ЛЛ, начавшихся в 1988 г., один из трех двигателей работал на жидком водороде и сжиженном природном газе (метане).

В настоящее время в России и в мире проходит активный поиск альтернативы традиционному авиатопливу – керосину, обусловленный, с одной стороны, ростом его стоимости, с другой, повышенным вниманием общественности к экологическим вопросам, кульминацией которых может быть известная общеевропейская технологическая инициатива «Чистое небо» (Clean Sky). Одним из путей, который может комплексно решить эти проблемы, является внедрение в авиационную технику альтернативных газовых топлив, как получаемых в результате разделения нефтяного и природного газов на всевозможные смеси или отдельные компоненты (бутан, пропан, метан), так и синтетических, а также

водорода, которые по чистоте продуктов сгорания стоят на одном из первых мест, а некоторые из них еще и имеют преимущество в цене перед авиакеросином. Такими исследованиями ЦАГИ и другие институты авиационной и нефтегазовой промышленности занимаются с начала 60-х годов прошлого века.

Топлива, выделяемые из нефтяного и природного газов, а также водород обладают повышенным хладоресурсом, более высокой теплотой сгорания и другими специфическими характеристиками, которые могут позволить получить на летательных аппаратах (ЛА) следующие преимущества:

- уменьшить запас топлива на борту;
- 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 других теплонапряженных частей ЛА, что дает возможность уменьшить массу этих систем и сократить затраты топлива на обеспечение их работоспособности;
- осуществить эффективное охлаждение двигателя, поднять температуру газа перед турбиной и повысить тем самым КПД силовой установки;
- создать комфортные тепловые условия работы бортового оборудования, способствуя повышению его надежности и снижению массы;
- увеличить протяженность ламинарного пограничного слоя за счет охлаждения омываемой поверхности ЛА, что дает возможность повысить его аэродинамическое качество;
- 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.

Указанные газы отличаются друг от друга по своим теплофизическим свойствам. Их использование может существенным образом повлиять на конструкцию, энергетику, экономику и эксплуатационные особенности ЛА. Причем, чем **ниже** температура кипения и **у́же** температурный диапазон жидкого состояния исследуемого газа, тем большее количество проблем придется решать при проведении НИОКР и, следовательно, тем дороже будет обходиться его практическое внедрение. Отсутствие же явных интегральных преимуществ между рассматриваемыми альтернативными газовыми топливами требует проведения обширных комплексных исследований.

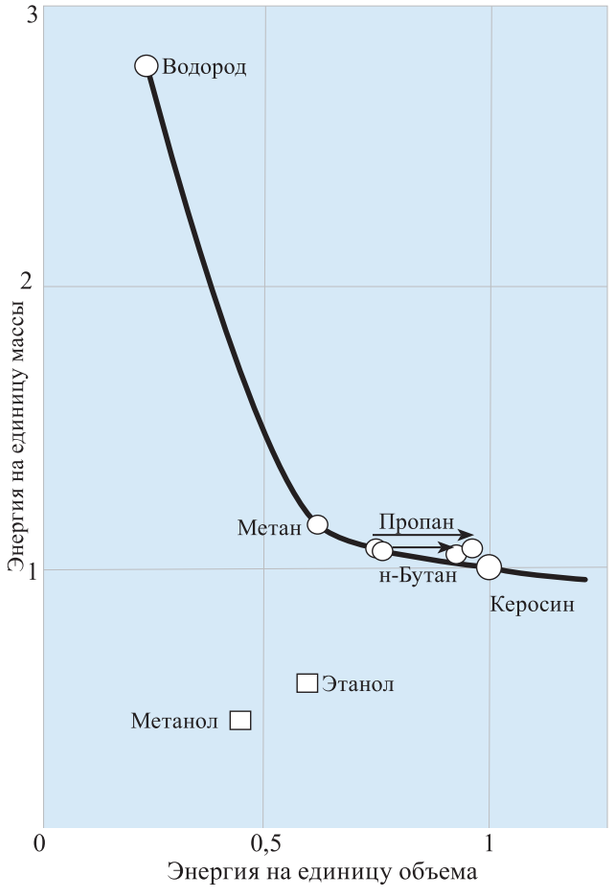

Рис. 1
Энергосодержание топлив
(энергосодержание сжиженных газовых топлив
относительно авиакеросина ТС-1)

В качестве первого шага решения этой проблемы в ЦАГИ был проведен сравнительный анализ теплофизических и эксплуатационных характеристик вышеуказанных газовых топлив и на его основе предложена стратегия проведения исследований и, особенно, внедрения таких топлив в авиационную технику *в условиях ограниченного финансирования.*

Среди вышеуказанных альтернативных газовых топлив наилучшие энергетические и хладоресурсные характеристики имеет водород (H_2). Его теплота сгорания на единицу массы в 2,7 раза больше, чем у авиакеросина *(рис.1).* Он обладает уникальными характеристиками горения по скорости распространения пламени, концентрационным пределам воспламенения и другим показателям. При сгорании водорода образуется экологически чистый продукт – вода, а применение водорода не нарушает круговорота вещества в природе, так как цикл его получения и использования является замкнутым и имеются неограниченные ресурсы сырья для его производства. По хладоресурсу на единицу

массы водород превосходит авиакеросин в несколько раз, например, при температуре 300°С в ~7,5 раза.

В общем, водород – это уникальное топливо для всех видов транспортных средств, и его массовое использование может не только изменить их облик и технические характеристики, но и, возможно, всю техногенную структуру человеческого общества.

Однако водород обладает некоторыми особенностями, которые в настоящее время на современном уровне развития технологии ограничивают возможность его широкого применения и не только в авиации. В первую очередь это связано с тем, что водород, являясь в конечном итоге жидким аккумулятором энергии – в свободном виде его в природе мало, требует определенных затрат для своего получения.

Массовое производство жидкого водорода путем электролиза воды по действующим технологиям сопряжено со значительным расходом электроэнергии, вырабатываемой большей частью на тепловых электростанциях за счет сжигания других теплоносителей, таких как нефть, газ и т.п. А это связано с выбросом в атмосферу большого количества экологически грязных продуктов сгорания и с расходом крайне дефицитного не возобновляемого органического сырья. Поэтому производство водорода в настоящее время нельзя считать экологически чистым, а его цена за тепловую единицу еще долго будет превышать аналогичную цену у других топлив. Широкого использования водородного топлива следует, видимо, ожидать только при наличии большого избытка дешевой экологически чистой энергии. Крупномасштабное использование водорода будет также ограничиваться необходимостью создания принципиально новой наземной инфраструктуры, что связано со значительными капитальными вложениями.

До сих пор водород в качестве топлива применялся только в космической ракетной технике и на экспериментальных ЛА. Полеты таких ЛА достаточно редки и тщательно готовятся. Условия подготовки и пуска ракет в рамках стационарного базирования значительно отличаются от условий эксплуатации самолетов. Стартовые комплексы для запуска космических ракет являются немногочисленными сложными инженерными сооружениями, которые обслуживает высококвалифицированный узкоспециализированный персонал. Они мало похожи на аэродромные. Авиация же характеризуется массовостью и многообразием типов ЛА, используемых достаточно интенсивно в течение длительного срока службы, а также большим количеством точек базирования и многопрофильностью обслуживающего персонала. В этих условиях опыт, имеющийся в космической технике, сложно использовать в авиации.

Большую эксплуатационную проблему при использовании водорода в авиации может также создать его низкая температура кипения (-250^{0}С), узкий (9^{0}С) температурный диапазон жидкого состояния, низкая плотность (71кг/м^3)и др. Это вызывает необходимость значительного увеличения размеров топливных баков ЛА, использования высокоэффективной и высоконадежной теплоизоляции для их защиты, а также решения сложных конструкционных и прочностных вопросов, связанных с большим перепадом температур, температурными напряжениями, температурными мостами и т.п.

С аналогичными проблемами столкнутся исследователи и конструкторы при разработке ЛА на метане (СН^4), т.к. он также имеет криогенную температуру кипения, узкий диапазон нахождения в жидкой фазе (21°С) и малую плотность.

Поэтому в настоящее время даже частичный перевод авиации на криогенное топливо, какими являются водород и метан, представляет сложную научно-техническую и организационную проблему. Все это может потребовать довольно больших затрат, которые необходимо будет произвести для решения прочностных, материаловедческих, конструктивных, температурных, аэродинамических, эксплуатационных и других проблем, с учетом их реализации на низком (криогенном) температурном уровне.

Может быть поэтому даже такая богатая страна, какой являются США, которая исследует проблему использования водорода в авиационной технике где-то с середины 60-х годов, так и не построила даже летающей лаборатории. В Советском Союзе приблизительно за это же время был создан и летал экспериментальный самолет - Ту-154ЛЛ (Ту-155), один из трех двигателей которого мог работать на криогенных метане или водороде, а в городах Самаре и Жуковском были построены специализированные наземные комплексы.

В настоящее время, в условиях ограниченных финансовых ресурсов, нашей стране необходимо выработать новую стратегию исследований по внедрению газо-топливной технологии в авиационную технику, которая позволила бы сохранить кадры специалистов, их научно-технические достижения и заделы прошлого, а также соразмерить имеющиеся финансовые возможности и эффект, в т.ч. коммерческий, который может быть получен от реализации достигнутых результатов.

Принимая во внимание существующее соотношение цен на жидкое и газовое топливо, а также достигнутый уровень развития криогенной техники, включая и подготовку кадров, разрабатывающих и эксплуатирующих авиационную и ракетную тех-

нику, представляется целесообразным проведение поэтапных действий, направленных на последовательное внедрение альтернативных газовых топлив в авиацию, с постепенным понижением уровня осваиваемых температур *(рис. 2)*. При этом многие эксплуатационные особенности использования газовых топлив, связанные с хранением и с охлаждением перед заправкой, с захолаживанием бортовых емкостей, с заправкой, с элементами техники безопасности при обращении и т.п., проще, легче и дешевле исследовать на более высоком температурном уровне (используя этот уровень в качестве модели топлива с более низкой температурой кипения).

Это даст возможность быстрее и с меньшими затратами выявлять и решать возникающие технологические, конструкционные, эксплуатационные и другие проблемы, обусловленные использованием в авиационной технике тех или иных газовых топлив, оценивать эффективность различных технических решений, определять область рационального применения таких топлив и, главное, создать научный и экспериментальный задел и приобрести необходимый опыт для решения аналогичных задач для газов с более низкой температурой кипения.

В этой же температурной последовательности на различных образцах и даже экспериментальных ЛА могут быть испытаны и отработаны отдельные конструктивные элементы и агрегаты планера, силовых установок и оборудования (бортового и наземного), а также исследованы вопросы предупреждения и локализации последствий аварийных ситуаций (разгерметизация баков, повреждение теплоизоляции и т.п.).

Исследования по внедрению сжиженных газовых топлив предлагается условно разделить на четыре этапа: **бутан→пропан→метан→водород**. Такая этапность позволяет учитывать эксплуатационные особенности указанных газовых топлив, состояние смежных областей науки и техники и уровень развития технологии, а также решать научные задачи и вопросы практической реализации на каждом этапе внедрения. Следует заметить, что исследовательские работы предлагается проводить на моногазах. Это обойдется дешевле, т.к. их свойства достаточно хорошо изучены. Практическая же реализация результатов исследований более целесообразна при использовании различных композиций состава углеводородных газов, т.к. в ряде случаев технология их получения оказывается значительно дешевле.

Исследования **первого этапа** в настоящее время практически закончены. **Бутан** (C_4H_{10}) – газ, использование которого возможно во всем температурном диапазоне, в котором в настоящее время эксплуатируется вся авиационная техника. По своим теплофизическим свойствам он наиболее близок к бензину и авиакеросину. Его температура кипения при нормальном давлении около 0^0C *(рис. 3)*. При плюсовых температурах

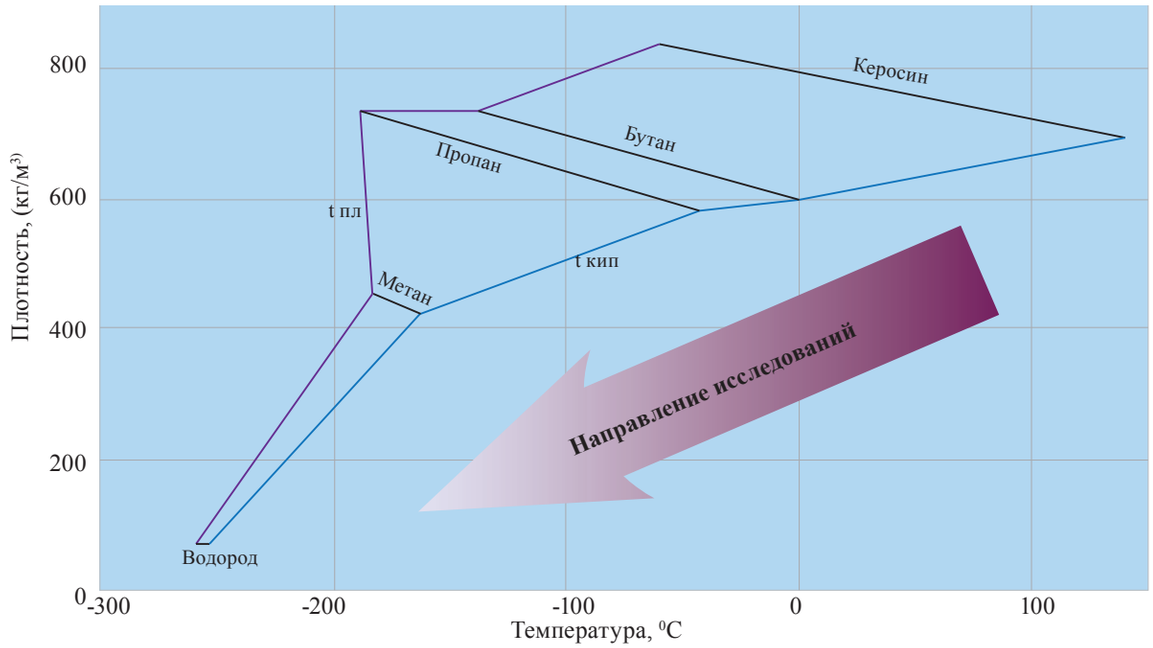

Рис. 2

Плотность топлива в жидком состоянии
(зависимость плотности газовых топлив и авиакеросина от температуры
в интервале от температуры плавления ($t_{пл}$) до температуры кипения ($t_{кип}$) при давлении 0,101МПА)

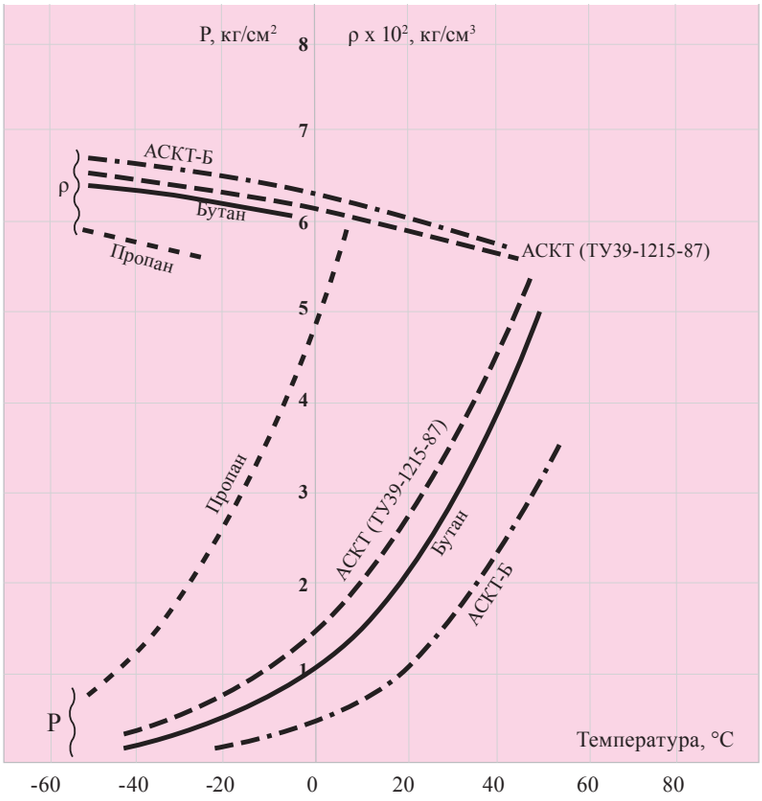

Рис. 3
Давление насыщенных паров
и плотность сжиженных газов
в зависимости от температуры

его можно хранить на земле и на борту ЛА в баках под небольшим избыточным давлением (при температуре 50°С – давление насыщенных паров 0,5 МПа). По сравнению с авиакеросином бутан обладает более высокой термостабильностью и менее агрессивен по отношению к конструкционным, резинотехническим и уплотнительным материалам. В смеси с пропаном бутан уже много лет используется в качестве топлива в автомобильных двигателях и бытовых приборах.

В ходе практической реализации результатов исследований по первому этапу выяснилось, что экономически целесообразнее использовать в качестве топлива на ЛА не чистый бутан, а смесь из нескольких газов, в которых доминирует бутан. Эта смесь, названная авиационным сконденсированным топливом – АСКТ, представляет собой композицию высококипящих углеводородных газов: пропана, бутана, пентана, гексана и др. Кроме газоперерабатывающих заводов (ГПЗ), АСКТ можно получать на нефтеперерабатывающих заводах, в пунктах осушки природного газа, а также в специально оборудованных точках по трассе продуктопровода или даже непосредственно на месторождениях, используя в необходимых случаях мобильные малогабаритные блочные установки (МГБУ) высокой заводкой готовности.

Теплотворная способность АСКТ около 5% выше, чем у авиакеросина. По ряду эксплуатационных показателей оно превосходит авиакеросин. Например, его использование позволит увеличить ресурс двигателей, а при низких температурах окружающей среды оно будет обеспечивать значительно лучше их пусковые свойства. Новое топливо экологически чище и менее агрессивно, так как в нем практически отсутствуют сернистые соединения, ароматические и непредельные углеводороды, смолы и другие вредные вещества, имеющиеся во многих жидких топливах, вырабатываемых из нефти.

Характерной особенностью АСКТ является возможность его хранения в жидком виде на борту ЛА под небольшим давлением в нетеплоизолированных баках в диапазоне температур от +50 до -60°С, т.к. оно является некриогенным топливом. Для работы с АСКТ имеется большой выбор конструкционных и уплотнительных материалов, широко представлены наземные средства транспортировки, хранения и перелива таких газов. Для использования АСКТ газотурбинные двигатели требуют лишь незначительной доработки (в основном, автоматики), которая может быть проведена во время регламентных работ. Топливные баки могут быть разработаны с использованием ракетной технологии. Топливная система АСКТ по типажу применяемых агрегатов мало отличается от керосиновой. Не предвидится проблем и с наземной инфраструктурой.

Поэтому внедрение АСКТ в авиационную технику может пройти без больших проблем и затрат.

Реальным подтверждением этому является разработка и летные испытания экспериментального вертолета Ми-8ТГ, проведенные еще в 1987 году на техническом бутане *(рис. 4)*. В начале 90-х годов прошлого столетия на Московском вертолетном заводе им.М.Л. Миля при активном участии ОАО «Интеравиагаз» создан и прошел начальный этап испытаний первый в мире опытно-промышленный образец вертолета Ми-8ТГ с двигателями, работающими как на АСКТ, так и на авиакеросине, а также на их смесях *(рис.5)*. Вертолет в 1995 году был показан в полете на «Международном авиакосмическом салоне» в г. Жуковском и, учитывая его уникальность, привлек внимание отечественных и зарубежных специалистов и в дальнейшем получил ряд наград и дипломов.

Наиболее эффективно использование двухтопливных вертолетов при освоении новых удаленных от дорожной инфраструктуры месторождений нефти и газа. Расчеты показывают, что в этом случае достигается и максимальный коммерческий эффект, т.к. вертолеты, а также наземный транспорт, стационарные силовые агрегаты (дизель-генераторы и т.п.) и бытовое оборудование, используемые на месторождениях, будут заправляться непосредственно от установленной там же МГБУ. Внедрив газотопливную технологию непосредственно на месторождении, можно частично или даже полностью исключить его зависимость от поставок жидкого топлива. Экономия же в этом случае обеспечивается не только за счет дешевизны нового авиационного газового топлива, вырабатываемого из практически бросового сырья – сепарируемого газа, который в противном случае сгорел бы в факелах, но и за счет уменьшения затрат на поставку жидкого топлива (авиакеросина, бензина, дизтоплива и т.п.), значительное количество которого для авиации и других потребителей на эти месторождения завозится иногда даже вертолетами.

Результаты работы вертолетостроителей, исследования, проведенные в ЦАГИ и других институтах, а также в самолетостроительных ОКБ показали возможность и эффективность перевода на газ не только вертолетов, но и самолетов, как существующих *(рис. 6)*, так и перспективных *(рис. 7)*. А такую разновидность сжиженного авиагаза, как АСКТ-Б (обеспропаненное АСКТ), можно заливать непосредственно в плоские крыльевые топливные баки региональных самолетов до температуры окружающей среды на земле от $+5^0$С и ниже (такие температуры в некоторых районах Сибири и Севера бывают до 10 месяцев в году). При этом увеличение массы пустого самолета за счет дополнительных агрегатов газо-керосиновой топливной системы, например, для Ил-114 не превысит 20-25 кг.

Реализация первого этапа внедрения в авиацию газотопливной технологии позволит комплексно решить ряд энергетических, экономических, экологических, социальных и др. проблем, имеющих важное значение для России. Коммерческие результаты от внедрения АСКТ дадут возможность получить дополнительные средства для продолжения исследовательских работ. Главным же научно-техническим результатом использования первого этапа предлагаемых исследований является **приобретение опыта массовой эксплуатации ЛА на газовых топливах в штатных условиях**.

Следующим шагом исследований по внедрению в авиационную технику газотопливной технологии предполагается использование **пропана**, обладающего весьма благоприятными эксплуатационными характеристиками – большим температурным диапазоном жидкого состояния, допускающими работать с ним как при нормальных температурах, так и при криогенных. Это уникальное свойство пропана позволяет, постепенно понижая температуру, плавно перейти к исследованию проблем, обусловленных криогенным уровнем использования остальных газовых топлив.

Пропан (C_3H_8) входит в состав попутного нефтяного и природного газов, а также газов нефтепереработки, из которых он может быть выделен в количествах, достаточных для массового применения в авиационной технике. Теплота сгорания пропана приблизительно на 7% выше, чем у авиакеросина. Температура его кипения при нормальном давлении -42^0С, температура замерзания ниже, чем у метана (-188^0С). Таким образом, температурный диапазон жидкого состояния пропана (145^0С) близок к авиакеросину. Хладоресурс пропана, приходящийся на единицу массы, соизмерим с хладоресурсом метана *(рис. 8)*. Однако, значительная часть этого хладоресурса, в отличие от метана и водорода, приходится на жидкую фазу. Это дает возможность создавать компактные бортовые охладительные системы. Плотность сжиженного пропана в зависимости от температуры варьируется в пределах от 585 до 730 кг/м^3.

Для размещения пропана на борту ЛА потребуется незначительное по сравнению с авиакеросином (примерно на 4-8%) увеличение объема топливных баков при равной энергоемкости. Таким образом, имеется потенциальная возможность модифицировать существующие ЛА и их двигатели для работы на пропане. Топливная система ЛА для использования пропана также будет мало отличаться от штатной (керосиновой).

Широкий температурный диапазон жидкого состояния значительно облегчает решение проблем с транспортировкой и хранением пропана в наземных условиях и использования его на борту ЛА. Он может

Рис. 4
Первый полет вертолета Ми-8ТГ на газовом топливе 7 сентября 1987 года (экспериментальный вертолет Ми-8ТГ на газовом топливе в полете)

Рис. 5
Газолет – вертолет на газовом топливе вертолет (Ми-8ТГ в серийном исполнении, рассчитанный на эксплуатацию на сжиженном газовом топливе – АСКТ и авиакеросине)

храниться в жидком виде практически без потерь в теплоизолированных емкостях при нормальном давлении или без теплоизоляции при относительно небольшом избыточном давлении (1,6 МПа).

По сравнению с авиакеросином пропан, также как и бутан, обладает достаточно высокой термостабильностью. Он менее агрессивен, чем авиакеросин, по отношению к конструкционным, резинотехническим и уплотнительным материалам.

Пропан обладает еще одним серьезным преимуществом перед чисто криогенными топливами – метаном и водородом. Как указывалось выше, его можно хранить на аэродромах и на стартовых площадках практически без потерь в нетеплоизолированных шаровых или цилиндрических емкостях. А охлаждать, по мере необходимости, до криогенных температур только то количество пропана, которое необходимо для заправки очередного ЛА. При такой технологии отпадает необходимость иметь в аэропорту большие криогенные емкости и мощные системы поддержания топлива в криогенном состоянии. Все это может значительно упростить и удешевить технологические операции при использовании пропана в качестве топлива не только в авиации, но и в ракетно-космической технике.

Более низкая, чем у метана, температура плавления и широкий температурный диапазон жидкого состояния делают пропан поистине незаменимым веществом для всесторонних исследований, связанных с поиском оптимальных конструкторских, технологических и эксплуатационных решений при создании ЛА с криогенными топливами. В частности, широкий температурный диапазон жидкого состояния пропана позволяет, постепенно понижая его температуру, получить возможность своевременно выявлять и предот-

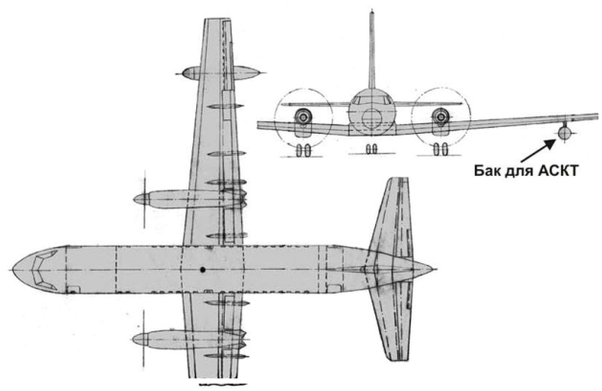

Рис. 6
Пассажирский самолет Ил-114 с двигателями ТВ2-117

Рис. 7
Пассажирский самолет Ту-136 с двигателями ТВ2-117СФ

вращать развитие нежелательных явлений в процессе испытаний. Например, опасность возникновения аварийной ситуации (в частности, при нарушении теплоизоляции) из-за перегрева пропана маловероятна, в то время как для метана такая опасность весьма реальна и чревата самыми серьезными последствиями. Это же свойство пропана позволяет более безопасно производить доводку новой авиационной техники, рассчитанной на использование криогенного топлива, начиная с умеренно низких температур и т.п.

В плане практической реализации результатов исследований этого этапа экономически целесообразнее, видимо, будет использовать в качестве топлива на ЛА не чистый пропан, а, также как и в предыдущем случае, смесь пропана, бутана и других углеводородов с низкой температурой кристаллизации. Эта смесь, которую условно можно назвать «АСКТ-К» (криогенное АСКТ), обладает практически теми же свойствами, включая криогенные, что и пропан, но будет иметь меньшую стоимость за счет более простой технологии производства и расширения сырьевой базы. Такие показатели делают криогенное топливо из легких парафиновых углеводородов весьма привлекательным в эксплуатационном и коммерческом отношениях.

Таким образом, при внедрении в авиацию результатов второго этапа этих исследований можно модифицировать существующие и создавать новые ЛА с улучшенными летно-техническими и экологическими характеристиками. Коммерческие результаты от внедрения пропана и АСКТ-К также дадут возможность получить прибыль и дополнительные средства для продолжения исследовательских работ. Главным научно-техническим результатом внедрения второго этапа предлагаемых исследований является **приобретение опыта массовой эксплуатации ЛА на криогенных топливах** в штатных условиях с использованием пропана – относительно более безопасного в эксплуатационном отношении газа, чем метан и водород.

Следующим объектом исследований по внедрению в авиационную технику сжиженных углеводородных газов и водорода будет **метан.**

Главное достоинство метана заключается в том, что, являясь основным компонентом природного газа, он обладает гораздо большей сырьевой базой, чем бутан и пропан.

Теплота сгорания метана (CH_4) на ~15% выше, чем у авиакеросина. Температура его кипения при нормальном давлении -162^{0}C, температура замерзания -183^{0}C, а температурный диапазон жидкого состояния 21^{0}C. Хладоресурс метана, приходящийся на единицу массы, соизмерим с хладоресурсом пропана. Системы кондиционирования воздуха на метане будут значительно тяжелее пропановых, т.к. основная доля хладоресурса метана находится в газовой фазе. Плотность сжиженного метана составляет 425-455 кг/ м^3. По теплоте сгорания, приходящегося на единицу объема, метан уступает пропану примерно в 1,5 раза, по хладоресурсу – в 1,3 раза, по плотности в 1,5-1,6 раза.

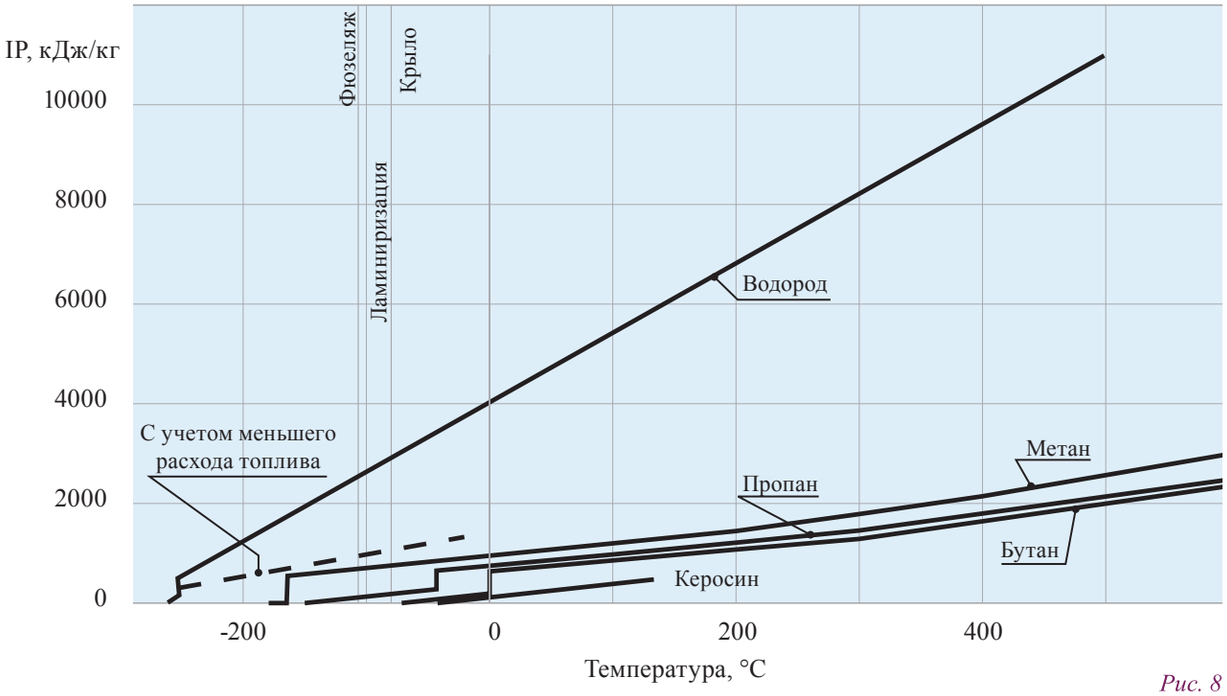

Рис. 8
Хладоресурс топлив

Таблица 1

Этапы внедрения сжижженых газовых топлив

Этапы		1	2	3	4
Топливо		Нормальное	Криогенное		
		Бутан (C_4H_{10})	Пропан (C_3H_8)	Метан (CH_4)	Водород
Рабочие температуры, t °C		+45 е -90	-42 е -188	-162 е -183	-253 е -262
Диапазон жидкого состояния, t °C		135	146	21	9
Относительная цена тепловой единицы		0,5 е 0,6	0,6 е 0,8	1,2 е 1,6	10 е 15
Отн. затраты на сооружение аэропорта		1.3	2	~ 6	> 100
Материалы	Конструкционные	100%	50%	50%	10%
	Уплотнительные	100%	20%	20%	0%
	Теплоизоляционные	50%	50%	50%	10%
Силовые установки	Двигатели	Незначительная модернизация	Модернизация	Новая разработка	
	Топливные баки	Создан образец	Имеются прототипы	Имеются прототипы	
	Топливная система	Некоторая доработка	Доработка	Имеются прототипы	
Система кондиционирования воздуха		Доказана высокая эффективность		Требуются исследования	
Наземная инфраструктура		Имеется серийная техника	Требуются исследовани		
Заводы по производству топлива		Имеются	Дооборудование существующих	Строительство новых заводов	
Практическая реализация вида топлива		АСКТ, АСКТ-Б	АСКТ-К	АСКТ-М	?
Основные задачи этапа		Приобретение опыта работы		Работа на криотопливах с узким диапазоном жидкого состояния	
		с газовым топливом	с криотопливом		

Поэтому для размещения на борту ЛА метанового топлива по сравнению с авиакеросином потребуется увеличить примерно в 1,5-1,6 раза объем топливных баков (при равной энергоемкости). Таким образом, в отличие от пропана, возможность модификации существующих ЛА для работы на сжиженном метане весьма проблематична. Двигатели потребуют значительных переделок. Метановая топливная система ЛА также будет значительно сложнее и тяжелее штатной. Могут возникнуть проблемы (если они не будут решены на предыдущих этапах) с конструкционными, уплотнительными и теплоизоляционными материалами, а также с наземной инфраструктурой.

Проведенный анализ показал, что использование метанового топлива приведет к необходимости решения фактически тех же сложных температурных, прочност-

ных, конструктивных, аэродинамических, схемных, эксплуатационных, аэродромных, транспортных и других проблем, что и при использовании сжиженного водорода. Это лишний раз подтверждает правомерность предлагаемого этапного подхода в исследованиях по внедрению газотопливной технологии в авиационную технику. Не имея опыта эксплуатации ЛА вначале на АСКТ, а затем и на пропане (АСКТ-К) вряд ли удастся, в случае необходимости, в сжатые сроки и с относительно малыми затратами внедрить в массовом порядке в авиационную технику криогенное метановое, а затем и водородное топливо.

Как вариант практической реализации результатов исследований использования метана в качестве топлива, можно представить смесь, состоящую, в основном, из метана, пропана и, возможно, этана. Оптимальное соотношение составляющих этой смеси необходимо установить в ходе исследований. Эта смесь, которую условно можно назвать «АСКТ-М», по сравнению с метаном будет иметь более высокую плотность, более широкий диапазон жидкого состояния и меньшую стоимость.

В *таблице 1* в обобщенном виде представлены характеристики каждого из четырех рассмотренных этапов, подтверждающие целесообразность предложенной последовательности внедрения газовых топлив в авиационную технику.

В этом случае будет обеспечена возможность более быстрого внедрения в промышленность России результатов научных достижений, приобретенных на каждом этапе, и получения от этого дополнительных средств для проведения дальнейших исследований на основе самоокупаемости. Кроме того, это позволит при значительно меньших затратах изучить особенности и приобрести опыт эксплуатации газотопливных ЛА на относительно высоком уровне температур, который можно затем использовать при создании авиационной техники, использующей топлива на следующем, более низком температурном уровне, вплоть до применения жидкого водорода (если человечество к тому времени не откроет более эффективный или более приемлемый в эксплуатационном отношении аккумулятор энергии).

В конечном итоге, целесообразность и перспективы широкого использования какого-либо из газов или их смесей в авиатехнике определит экономика. Ответ должны дать последовательное комплексное изучение и анализ всех технико-экономических аспектов применения рассматриваемых газов, начиная с разработки и производства ЛА и самого газового топлива и кончая особенностями эксплуатации ЛА, которые будут их использовать. Эти исследования должны также включать анализ специфики создания наземной инфраструктуры обслуживания, учет возможной динамики изменения цен газовых топлив относительно цены авиакеросина и т.п. Поэтому каждое из рассматриваемых газовых топлив может иметь свою нишу в авиатранспортной системе, если при определенных требованиях обеспечит необходимый эффект при меньших удельных затратах.

Литература

1. *Зайцев В.П., Маврицкий В.И. и др.* Перспективы использования сжиженного природного газа в качестве авиационного топлива/Материалы 1-ой Всесоюзной научно-технической конференции по экономии топливоэнергетических ресурсов на воздушном транспорте. – М.: ГосНИИ ГА, 1983. С. 157-163.
2. *Дубовкин Н.Ф., Брещенко Е.М.* Легкие моторные топлива и их компоненты: Справочник. – М.: Химия, 1999. С. 480. ил.
3. *Дубовкин Н.Ф., Яновский Л.С., Харин А.А. и др.* Топлива для воздушно-реактивных двигателей. – М.: МАТИ, 2001. С. 443.
4. *Зайцев В.П.* Новое топливо для авиации.// Журнал «Авиаглобус». № 12 (116) декабрь 2008 г. С. 18-21.
5. *Зайцев В.П., Маврицкий В.И., Постоев С.К., Яновский Л.С.* Возможности и перспективы использования в гражданской авиации АСКТ – сконденсированного топлива пропан – бутанового ряда» /Материалы Авиафорума Россия и СНГ: «Новые инвестиционные возможности и стратегия успеха». Москва, 29-30 января 2009 г.
6. Газовые топлива и их компоненты. Свойства, получение, применение, экология: Справочник/ *В.Н. Бакулин, Е.М. Брещенко, Н.Ф. Дубовкин, О.Н. Фаворский.* М.: Издательский дом МЭИ, 2009г. С. 614. ил.
7. *Фаворский О.Н., Зайцев В.П.* Улучшение экологических характеристик летательных аппаратов при работе на газовом топливе.// Журнал «Экологический вестник России (ЭВР)» № 9, 2009 г. С. 22-26.
8. *Аджиев А.Ю., Зайцев В.П., Маврицкий В.И., Постоев С.К., Фаворский О.Н., Шмаль Г.И.* Об одной возможности рационального использования попутного нефтяного газа./АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо, № 3 (51) 2010 г. С. 69-72.
9. *Разносчиков В.В., Яновская М.Л.* Оптимизация состава авиационного сконденсированного топлива для транспортных самолетов/Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо.– №4 (52), 2010.