

# Проблемы создания и применения альтернативных топлив из газа в авиационной технике

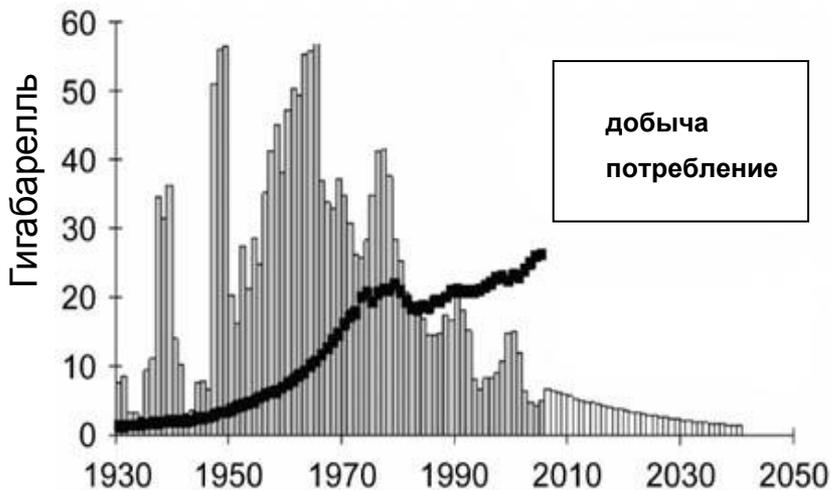
Докладчик - начальник отдела «Двигатели и химмотология»  
проф.Л.С.Яновский

Круглый стол МВВИ-2014  
г. Москва, 22 мая 2014 г.

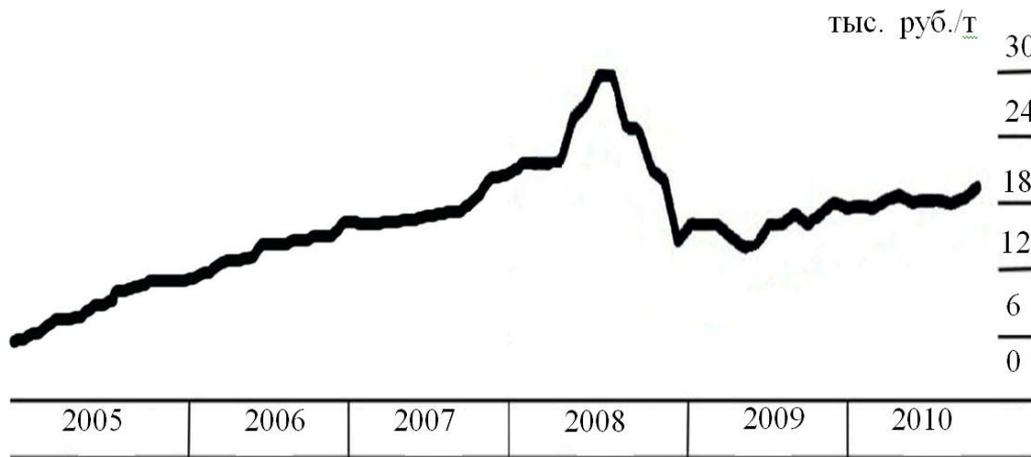


# Нефтяные и альтернативные авиационные топлива

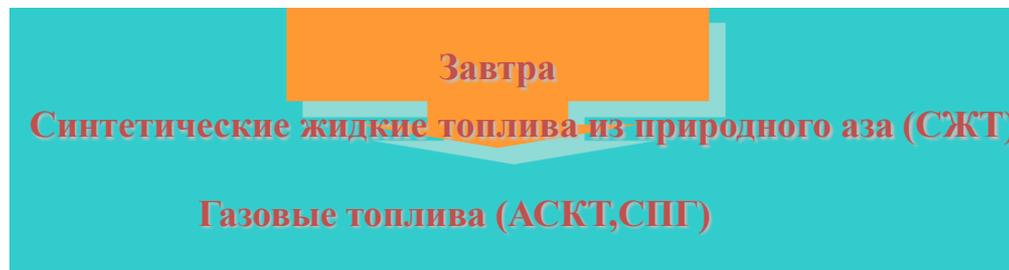
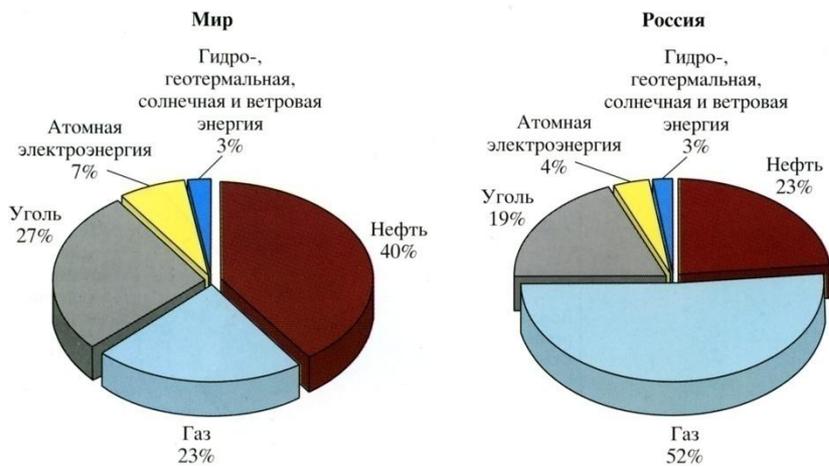
Уменьшение добычи нефти и возрастание её потребления



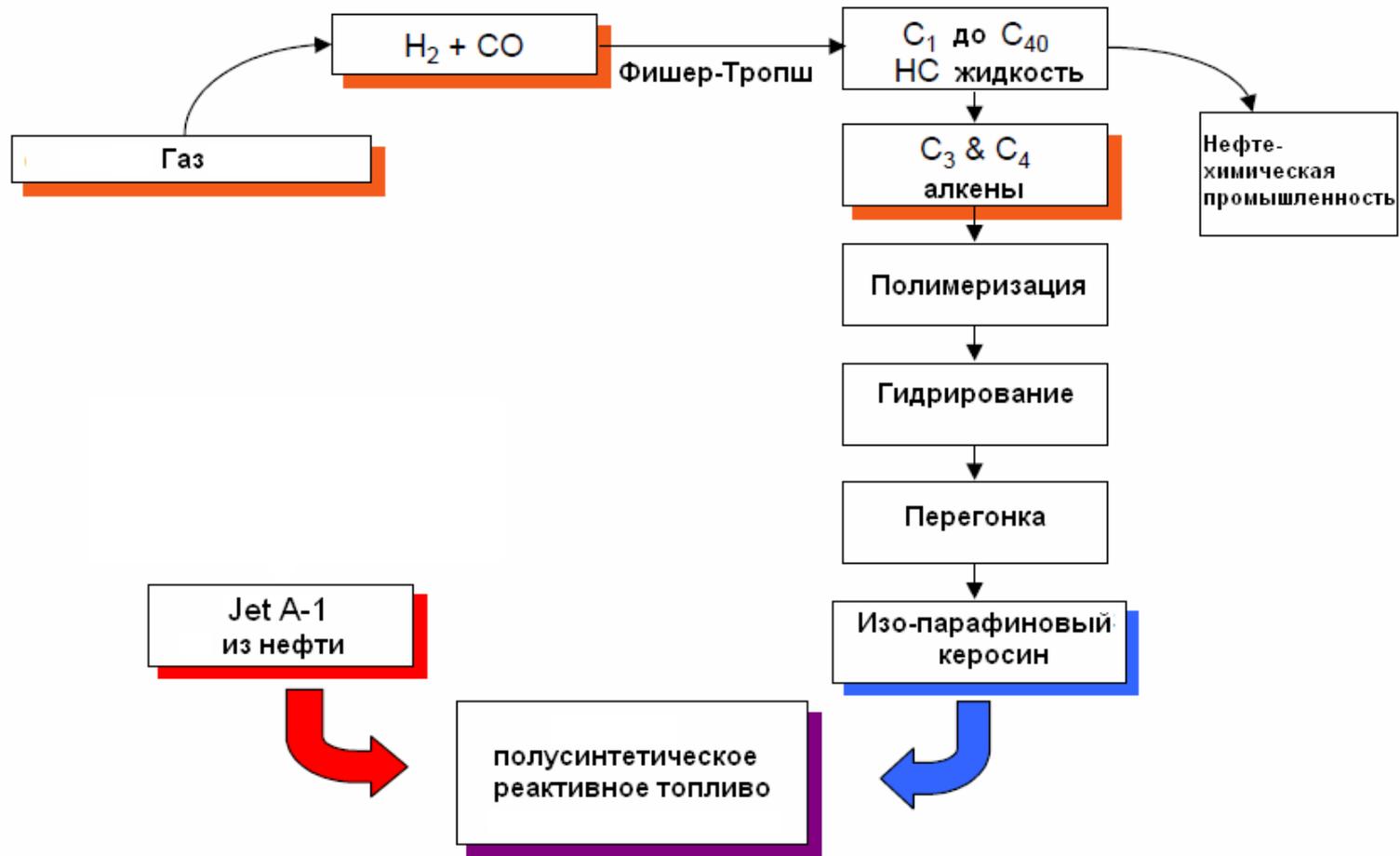
Средняя цена за тонну авиационного керосина



Структура потребления энергоресурсов



## Полусинтетическое реактивное топливо



Полусинтетическое реактивное топливо - смесь СПК с Jet A-1

- Выпущены спецификации ASTM D 7566 и DEF STAN 91-91 с изменением на топливо для авиационных ГТД, содержащее синтезированные углеводороды.

### Показатели качества

	Норма для SPK ASTM D 7566	Норма для Jet A-1 ASTM D 1655 и ASTM D 7566
1. Плотность при 15°C кг/м <sup>3</sup>	730-770	775-840
2. Ароматич. углеводороды, % об., не более	0,5	25
3. Фракционный состав:		
- 10% отгоняется при t, °C, не выше	205	205
- температура конца кипения t, °C, не выше	300	300
- T90 – T10, °C, не менее	22	-
4. Вязкость при t = - 20 °C	3,2-3,5 факт.	Не > 8
4. Температура замерзания, t, °C, не выше	- 40	- 47
5. Термоокислительная стабильность:		
- контрольная температура испытания, °C, не ниже	325	260
- перепад давления на фильтре, мм рт.ст, не более	25	25
- отложения на трубке, баллы, менее	3	3
6. Массовая доля общей серы, %, не более	0,0015	0,3
7. Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	-	0,003
8. Смазывающая способность, мм	0,85-1,04 факт.	не более 0,85

### **Проблемы:**

- Плотность ниже нормы на Jet A-1
- Отсутствие ароматических углеводородов
- Низкая смазывающая способность

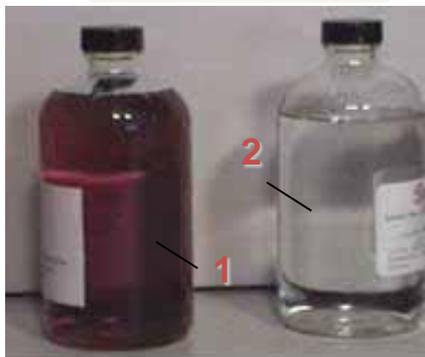
## Требования к смеси SPK с Jet A-1

- Содержание SPK в смеси не должно превышать 50 % об.
- Содержание в смеси ароматических углеводородов - не менее 8 % об.
- Обязательная проверка смазывающей способности (по BOCLE – не более 0.85мм )
- Обязательное введение в SPK антиокислительной присадки

Рекомендации отражены в новой спецификации ASTM D 7566 и в спецификации DEF STAN 91-91 на полусинтетическое топливо Jet A-1

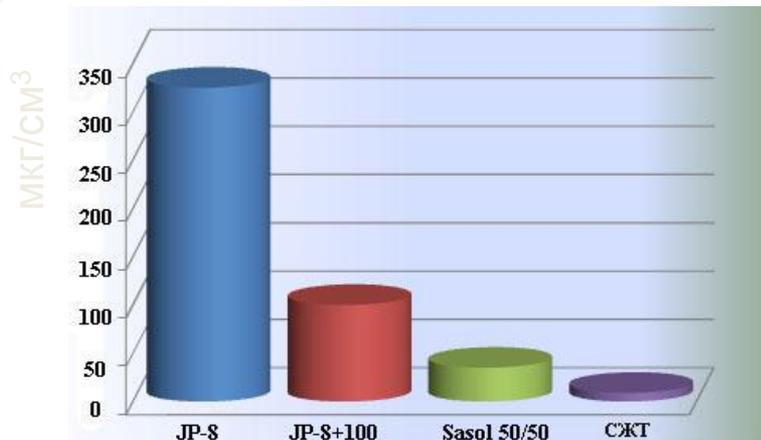
# Синтетические жидкие топлива из природного газа (СЖТ)

**СЖТ**  
Смеси жидких  
н-парафиновых  
углеводородов

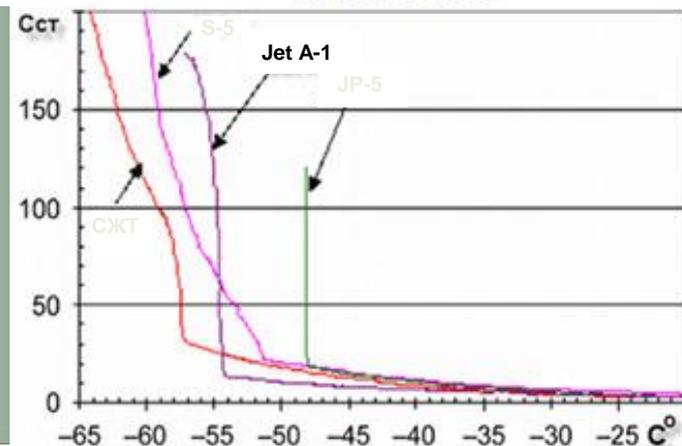


Топливо после  
нагрева до 150°C  
1 – Jet A-1; 2 – СЖТ

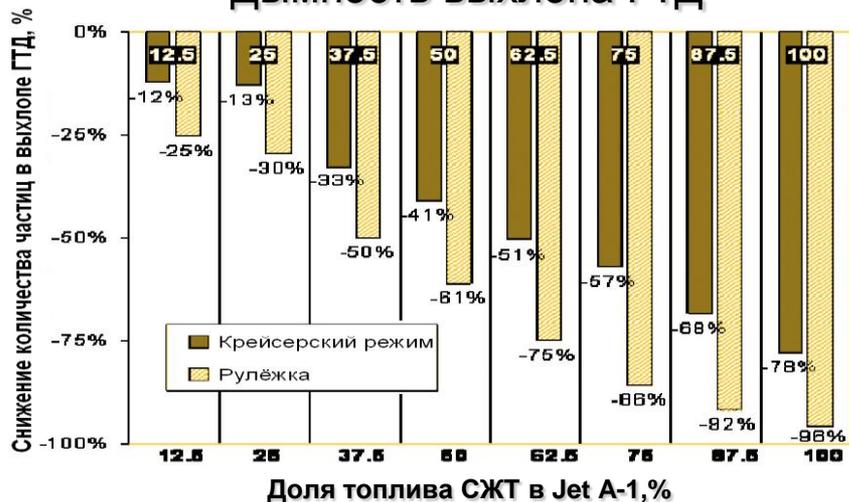
## Коксоотложение



## Вязкость



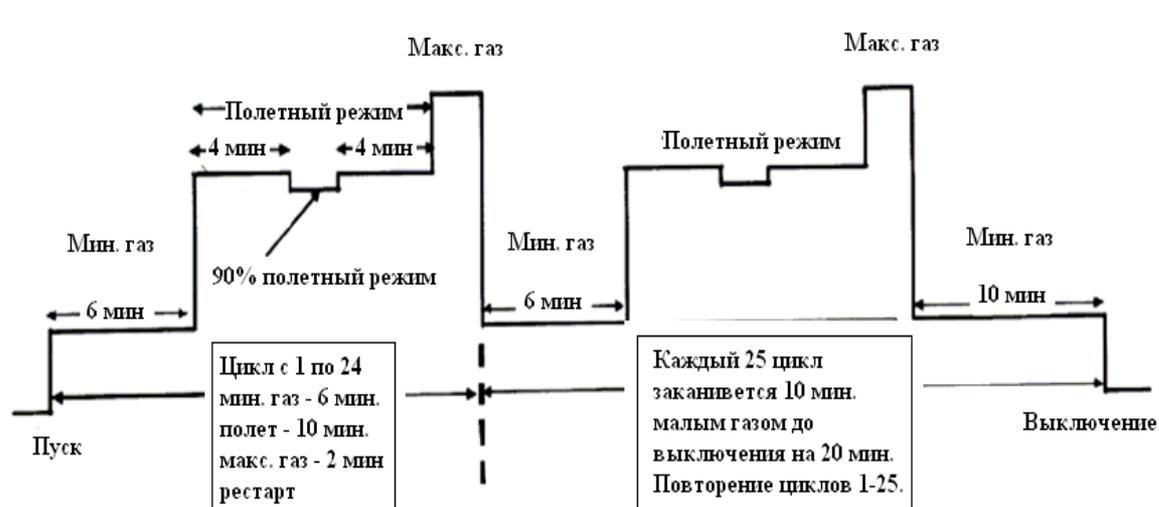
## Дымность выхлопа ГТД



- ✓ Повышенная ТОС
- ✓ Лучшие низкотемпературные свойства
- ✓ Пониженные коррозионные свойства (нет S-соединений)

## 1. Влияние топлива на ресурс двигателя

В качестве стенда использовался двигатель Pratt & Whitney JT-9D (по данным Sasol)



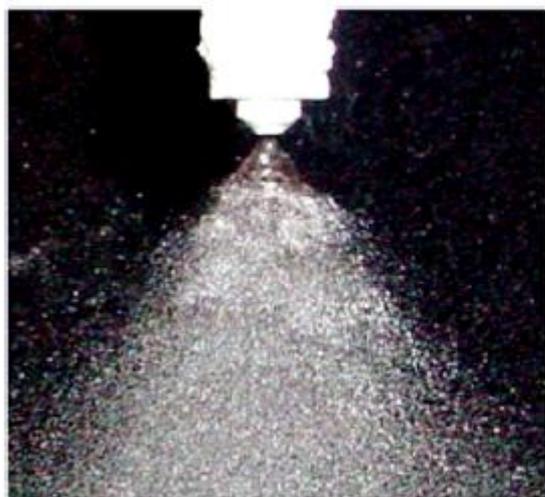
- 500 циклов  
имитирующих  
приземление и взлет

Испытания не выявили заметных отличий по ресурсу двигателя на топливе Jet A-1 и полусинтетическом топливе .

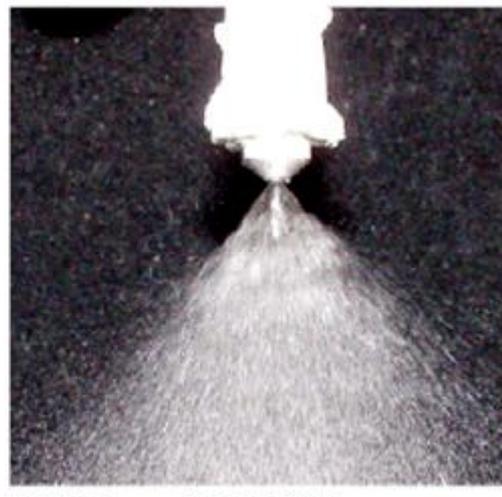
## Натурные испытания полусинтетического реактивного топлива

### 2. Низкотемпературное распыливание

Испытание проводилось на 3 типах форсунок производства фирмы Honeywell при температуре минус 40 С.



Jet A



B07-139-B

Sasol FSJF

Полусинтетическое топливо обеспечивает низкотемпературное распыливание на уровне топлива Jet A-1 и необходимый размер капель для надежного холодного запуска двигателя.

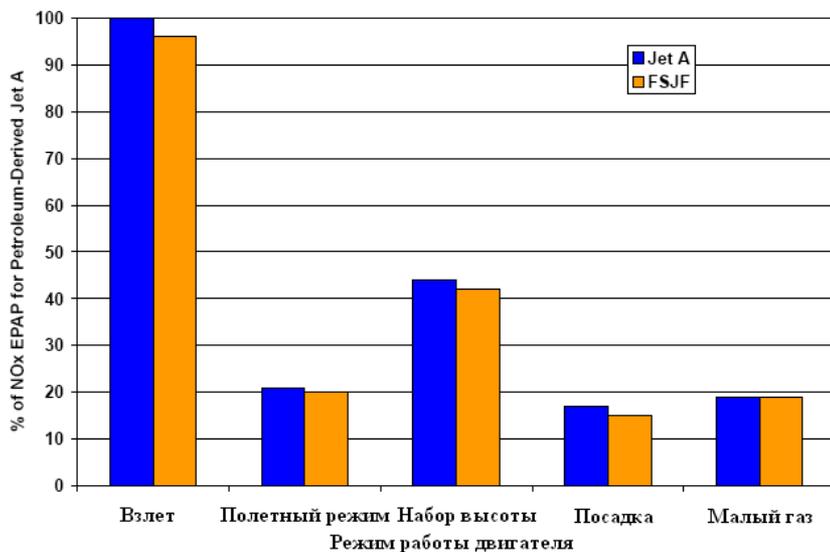
## Натурные испытания полусинтетического реактивного топлива

### 3. Эмиссия $\text{NO}_x$ и $\text{CO}$

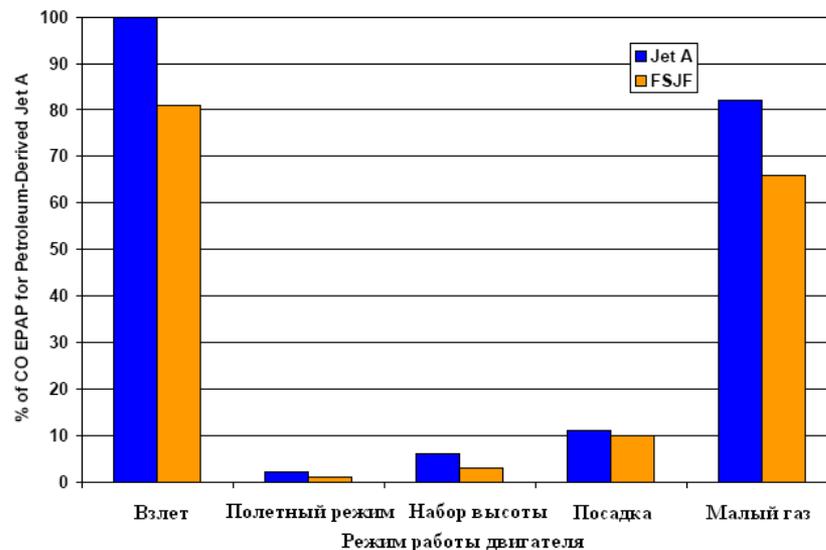
Испытание проводилось на кольцевой камере сгорания с четырьмя форсунками производства Pratt & Whitney при  $P = 0,3 - 1,7$  МПа, температуры воздуха - от 200 до 480 С

отношение расхода топлива к расходу воздуха:

$\alpha =$  от 0,005 до 0,035



Сравнение эмиссии  $\text{NO}_x$   
Jet A-1 и полусинтетического топлива 1



Сравнение эмиссии  $\text{CO}$   
Jet A-1 и полусинтетического топлива

Использование полусинтетического топлива вместо Jet A-1 не приводило к изменению полноты сгорания и эмиссии

## Натурные испытания полусинтетического реактивного топлива

### 4. Холодный и высотный запуск.

Испытание проводилось на полнокольцевой камере сгорания Rolls-Royce в наземных условиях при минус 40 С и имитацией высоты от 8,5 км до 11 км.

Испытуемые топлива AVTUR и полусинтетическое топливо Jet A-1 при холодном пуске и перезапуске двигателя на высоте ведут себя одинаково.

### 5. Определение срыва пламени на бедной смеси

Испытание проводилось на полноразмерной кольцевой камере сгорания от турбовального двигателя Rolls-Royce. Высота имитировалась от земли до 7,6 км., температура от нормальных дневных условий до минус 40 С.

Срывные характеристики горения на бедной смеси на полусинтетическом топливе незначительно отличались от характеристик для топлива JP-5.

Экспериментальные и коммерческие полеты самолетов на полусинтетическом топливе (Америка, Европа, Африка, Азия)



- ★ Стандарт РФ на синтетические авиатоплива отсутствует.
- ★ В России товарные авиационные СЖТ из **природного газа** не производятся

■ Поручение Президента РФ от 30.12.2008 №Пр.-2809 и Поручение Правительства РФ от 04.02.2010 №ВП-П7-631 Министерству обороны РФ, Роскосмосу, Минэнерго РФ, Минпромторгу РФ

«...Развернуть работы по созданию технологий получения **СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ** с требуемыми техническими и эксплуатационными характеристиками для авиационной и ракетно-космической техники....».

■ Обращение в 2010 г. Координационного Научного Совета Минобороны РФ к Правительству РФ с предложением открыть КНИР по созданию технологий опытных СЖТ из альтернативного сырья

---

В ЦИАМ в рамках госконтрактов с Минпромторгом РФ 2007-2010 г.г. разработаны ТТ к опытным образцам СЖТ из альтернативного сырья (**природного газа**) и совместно с ООО «ЮРД-Центр» изготовлены и испытаны в ЦИАМ опытные образцы СЖТ из **природного газа**.

<u>Физико-химические свойства СЖТ</u>	образец	
	ТТ	из газа
1. Плотность при 20 С, кг/м <sup>3</sup> не менее	755	757
2. Ароматич. углеводороды, % об., не более	20	10
3. Фракционный состав:		
- начало кипения, С, не выше	135	148
- конец кипения t, С, не выше	280	253
4. Температура нач. кристаллизации t, С, не выше	- 60	- 58
5. Термоокислительная стабильность в стат. условиях		
- осадок, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива, не более	6	отс.
- растворимые смолы, мг на 100 см <sup>3</sup> . не более	30	18
- нерастворимые смолы, мг на 100 см <sup>3</sup> . не более	3	1.5
6. Массовая доля общей серы, %, не более	0,1.	0,004
7. Низшая теплота сгорания, кДж/кг, не менее	43100	44050
8. Температура вспышки, С, не ниже	28	44
9. Фактические смолы, мг КОН на 100 см <sup>3</sup> топл.	не более 4	1,3
10. Вязкость кинематическая, сСт при минус 20 С	не более 8	3,5

*Опытные образцы соответствовали, в основном, ТТ ЦИАМ*

Эксплуатационные свойства	норма для ТС-1/РТ	образец из газа
<b>1. Термоокислительная стабильность:</b>		
- контрольная температура испытания, °С, не ниже	260/275	300
- перепад давления на фильтре, мм рт.ст, не более	25	0
- отложения на трубке, баллы, менее	3	1
<b>2. Противоизносные свойства</b>		
<u>на установке УПС-01М</u>		
- обобщенный показатель противоизносных свойств К, % , не менее	- / 95	172
<u>на установке ПСТ-2 (данные 25 ГосНИИ)</u>		
- показатель износа, у.е	не более 60	25
<b>3. Люминометрическое число</b>	не ниже 50	110
<b>4. Коррозионная активность в условиях конденсации воды</b>		
- потеря массы образца стали Ст-3, мг/м <sup>2</sup>	не более 8	1,5
- потеря массы образца бронзы ВБ-23НЦ, мг/м <sup>2</sup>	не более 8	2,1
<b>5. Воздействие на резины, по методу ЦИАМ:</b>		
- условная прочность, кгс/см <sup>2</sup>	не менее 85	115
- относительное удлинение, %	не менее 100	136
<b>6. Воздействие на тиоколовый герметик</b>		
- изменение твердости по Шору, %	не менее 80	96

- СЖТ превосходит топлива ТС-1 по термоокислительной стабильности.
- СЖТ совместимо с уплотнительными и конструкционными материалами.

-СЖТ увеличивают  $L_{\text{полета}}$  на 2,5% при максимальной полезной нагрузке (Мпн). При максимальной заправке топливом и одновременно максимально допустимой Мпн  $L_{\text{полета}}$  снижается приблизительно на 2%, но при этом увеличивается Мпн за счет снижения массы топлива в баках из-за его более низкой плотности, чем у ТС-1.

- СЖТ улучшают ТЭ средних и тяжелых транспортных самолетов на 25% и 15% при эксплуатации с коммерческими полезными нагрузками.

- Из-за меньшего содержания С в составе СЖТ и меньших расходов топлива по сравнению с ТС-1 эмиссия CO<sub>2</sub> в атмосферу меньше на 2–5 %.

★ Производство СЖТ –

кардинальное решение для погашения факелов на нефтепромыслах

★ Применение СЖТ-

эффективно для авиации

Методы испытаний и инструментальный КМКО для СЖТ из газа –имеются  
 Порядок допуска СЖТ на авиатехнику-тот же, что для топлив ТС-1 и РТ

## ПЕРЕЧЕНЬ НЕОБХОДИМЫХ РАБОТ

- Разработать прогрессивные конкурентоспособные технологии производства синтетических жидких углеводородных топлив (СЖТ) из **природного газа** для отечественной авиатехники.
- Разработать нормативную документацию на синтетические жидкие углеводородные топлива
- Сертифицировать синтетические авиатоплива из **природного газа** для применения в современной и перспективной отечественной авиатехнике:
  - наработка образцов СЖТ
  - квалификационные испытания СЖТ
  - стендовые испытания натуральных двигателей на СЖТ
  - ресурсные испытания двигателей на СЖТ

## Авиационное сконденсированное газовое топливо АСКТ

Физико-химические свойства	АСКТ	ТС-1
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	655 - 670	≥ 775
Теплота сгорания, кДж/кг	45100 – 45200	43200
Гетероатомные соединения, % масс.	отсут.	2
Мех. примеси, % масс.	отсут.	0,0002
Свободная вода, % масс.	отсут.	0,01
Ароматические углеводороды, % масс.	отсут.	22
Нитро ПАУ, % масс.	отсут.	0,001
Температура застывания, °С	-90	-60
<hr/>		
Себестоимость, в долях	1	3 - 4

- Теплота сгорания на 5% выше, чем у ТС-1.
- Плотность меньше на 11-15%, чем у ТС-1.
- Высокая термоокислительная стабильность.
- Нет дымления при сгорании.
- Экологически более чистое топливо.
- Себестоимость в 3 – 4 раза меньше, чем ТС-1.

## \* Характеристики горения

- Срывные характеристики при горении АСКТ лучше, чем у ТС-1
- Нагарообразование в КС при горении АСКТ в ~10 раз меньше, чем у ТС-1

## \* Противоизносные свойства – хуже в 2-3 раза, чем у ТС-1, детально не изучены

Введение присадки типа ДНК (ГОСТ 13303) в концентрации 0,003 % (масс.) в АСКТ может улучшить противоизносные свойства, количественный эффект не известен

## \* Совместимость АСКТ с конструкционными и уплотнительными материалами топливной системы ГТД не изучена

Коррозионные свойства,  
взаимодействие с неметал.материалами не изучались

## \* Нормы на эксплуатационные свойства АСКТ должны быть такими же, как у топлива ТС-1. Инструментальный КМКО для оценки эксплуатационных свойств АСКТ отсутствует

## Требования

к контролю качества АСКТ при применении его на вертолетах.

Применение топлива АСКТ в авиационных ГТД –подача в КС в **жидкой фазе**.

2. К эксплуатационным свойствам АСКТ должны предъявляться требования, аналогичные требованиям, предъявляемым к реактивным топливам.

3. Дополнительно к требованию соответствия АСКТ ТУ 39-1547-91 должны **контролироваться** следующие показатели:

- содержание сероводорода - отсутствие по методу ГОСТ Р ..... (**введение показателя в ТУ**);
- воздействие АСКТ на уплотнительные и конструкционные материалы, применяемые в топливной системе двигателя (**разработка метода**);
- противоизносные свойства (**разработка метода**);
- термоокислительная стабильность в статических условиях (**разработка метода**).

4. По результатам эксплуатационных испытаний АСКТ на вертолете типа Ми-8 решить вопрос о **целесообразности введения на месте производства в АСКТ противоизносной присадки типа Хайтек-580**.

1. Разработка методологии оценки эксплуатационных свойств АСКТ (сернистые соединения, ТОС в статических условиях, воздействие на конструкционные и уплотнительные материалы, применяемые в топливных агрегатах), позволяющая определять качество АСКТ в лабораторно-стендовых условиях.
2. Проведение квалификационных испытаний образцов АСКТ и их смесей с ТС-1 и допуск опытно-промышленных образцов АСКТ к применению на авиатехнике.
3. Разработка компонентов для доработки базового двигателя, топливной системы и системы управления, позволяющих обеспечить их работоспособность на двух видах топлива (традиционное АТ и АСКТ), создание двигателя-демонстратора, разработка комплексной программы доводочных испытаний и проведение предварительных испытаний.
4. Оценка возможности применения АСКТ на др. типах двигателей (поршневых) ЛА

№ этапа	Наименование этапа	Сроки выполнения
1 этап	Формирование требований для разработки концепции двухтопливного ЛА-демонстратора, использующего сжиженный газ пропан-бутанового ряда (АСКТ) и традиционное авиатопливо (АТ)	25 декабря 2013 г.
2 этап	Исследования в обеспечение разработки аэродинамических компоновок двухтопливных ЛА, комплекса методов квалификационной оценки эксплуатационных свойств АСКТ и создания двигателя-демонстратора	январь 2014 г. – 08 декабря 2014 г.
3 этап	Разработка рекомендаций для проектирования двухтопливного ЛА-демонстратора, использующего АСКТ и АТ	декабрь 2014 г. – декабрь 2015 г.





**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**