**ОРГАНИЗАТОР**

**ЦЕНТР СТРАТЕГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (ЦСР ГА)**

**ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ**

# БЕСПИЛОТНАЯ АВИАЦИЯ - 2015

## II международная конференция

**ПАРТНЕРЫ**

АССОЦИАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ИНДУСТРИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

СРО НП «СОДЕЙСТВИЕ РАЗВИТИЮ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ»

ВСЕРОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР**

Официальный печатный орган Министерства транспорта РФ

Транспорт России

Всероссийская транспортная еженедельная информационно-аналитическая газета

**17 апреля 2015 г**
**Москва**

**Марриотт Грандъ-Отель**

# Перспективы развития авиационных поршневых двигателей для БЛА

**Костюченков Александр Николаевич**,

Начальник сектора перспектив развития АПД, к.т.н.

## Электродвигатели

SolarEagle

Parrot AR.Drone

## ГТД

MQ-9 Reaper

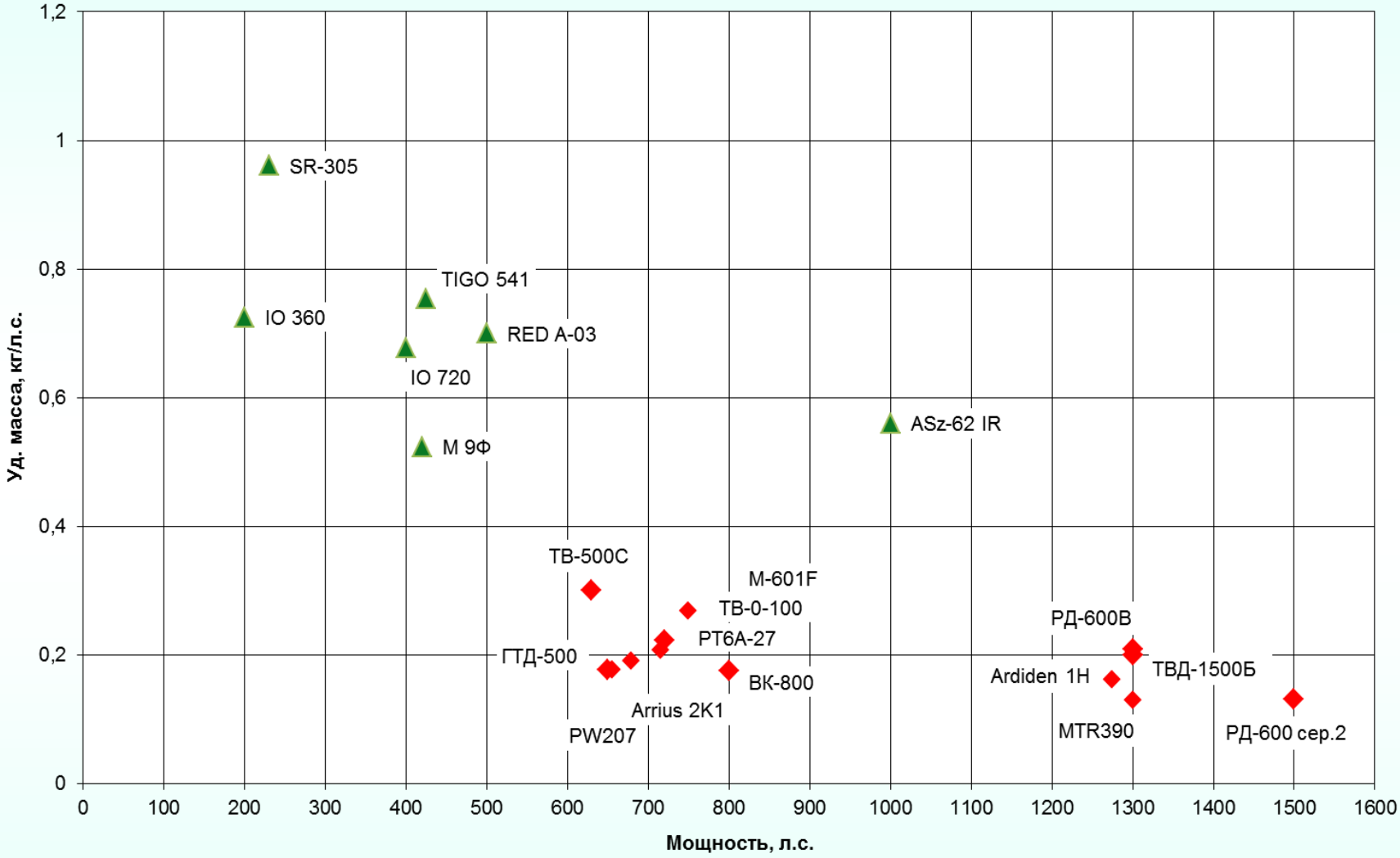
Global Hawk

## АПД

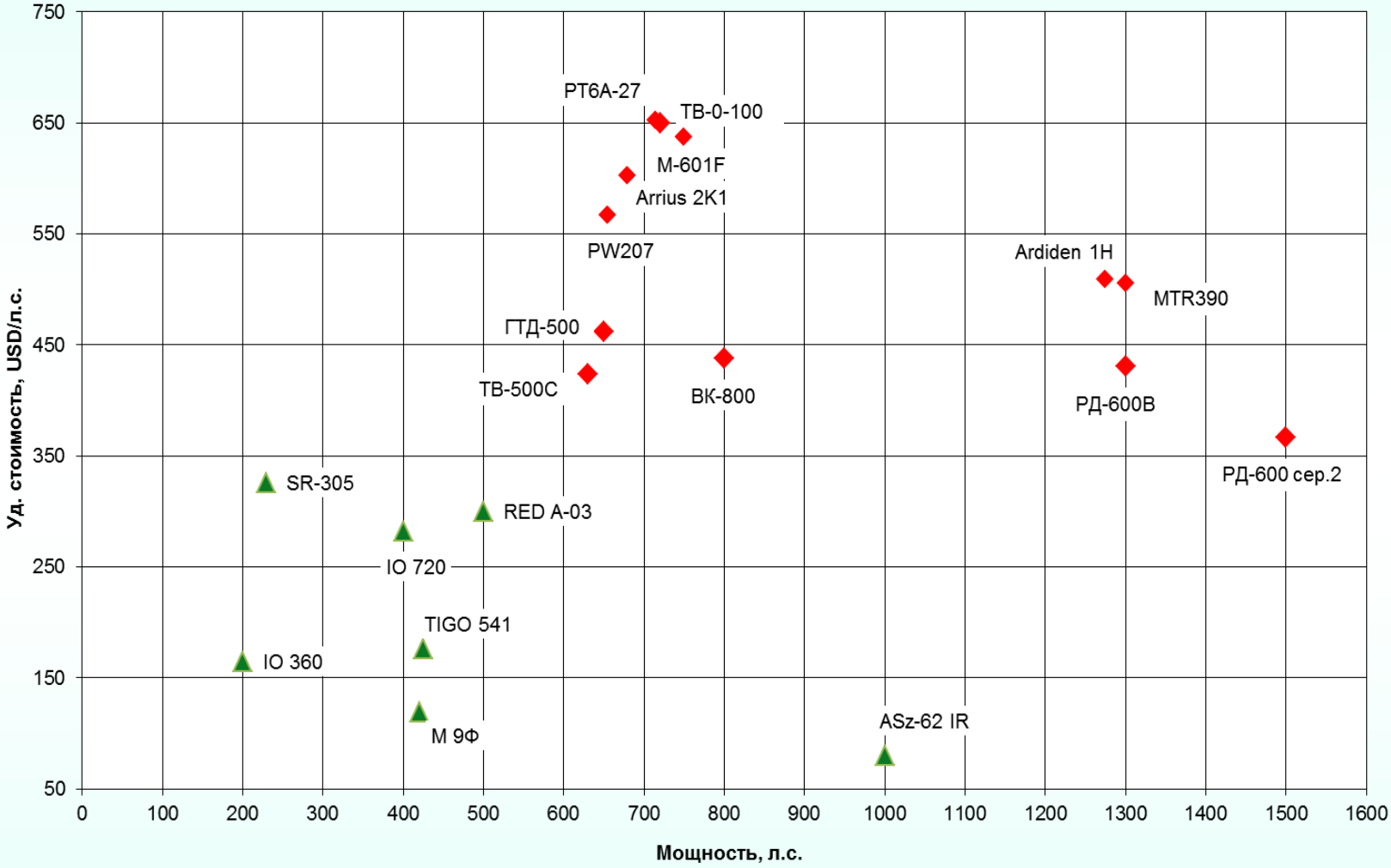
Predator

Форпост

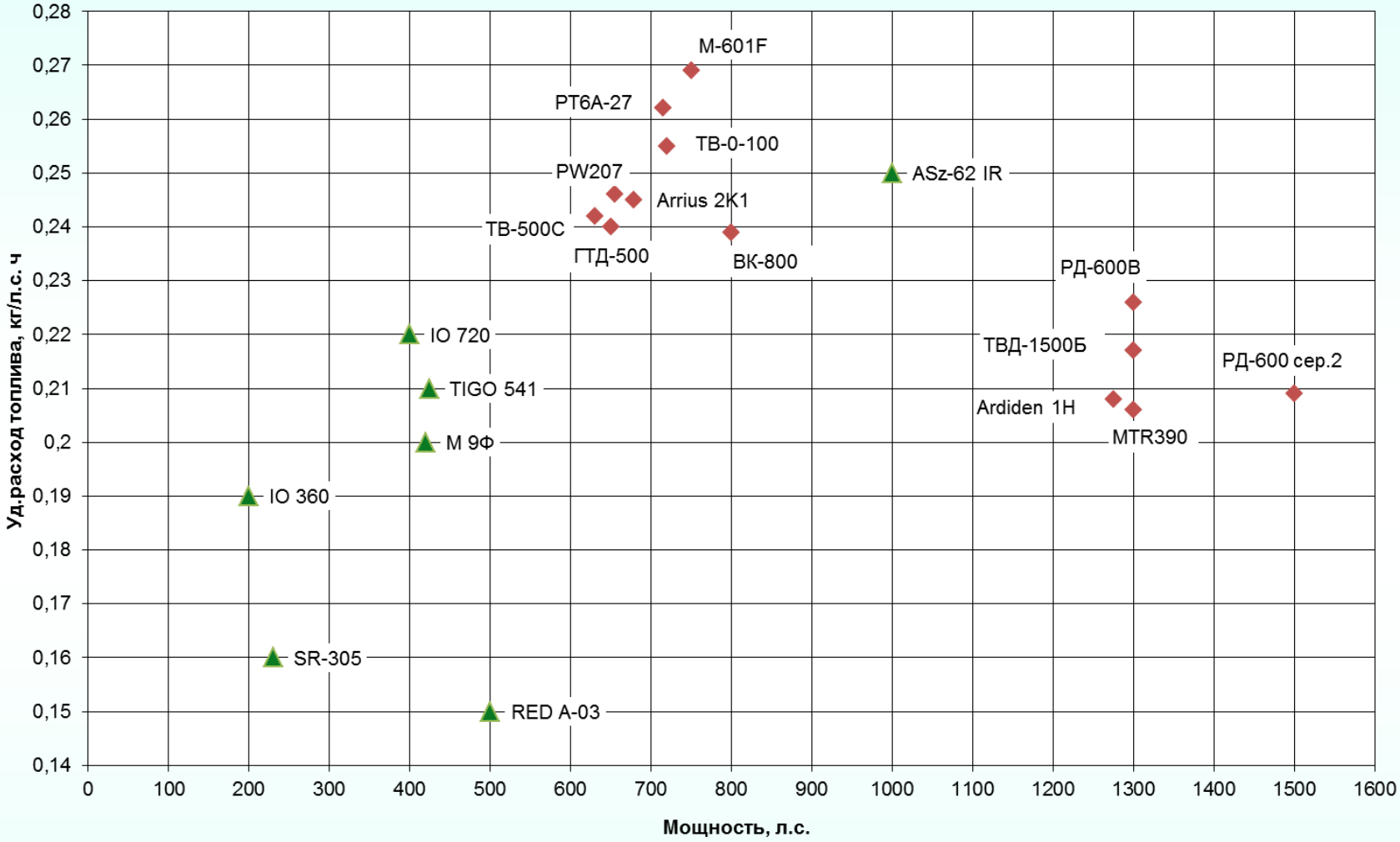
# Сравнение удельных показателей АПД и ГТД



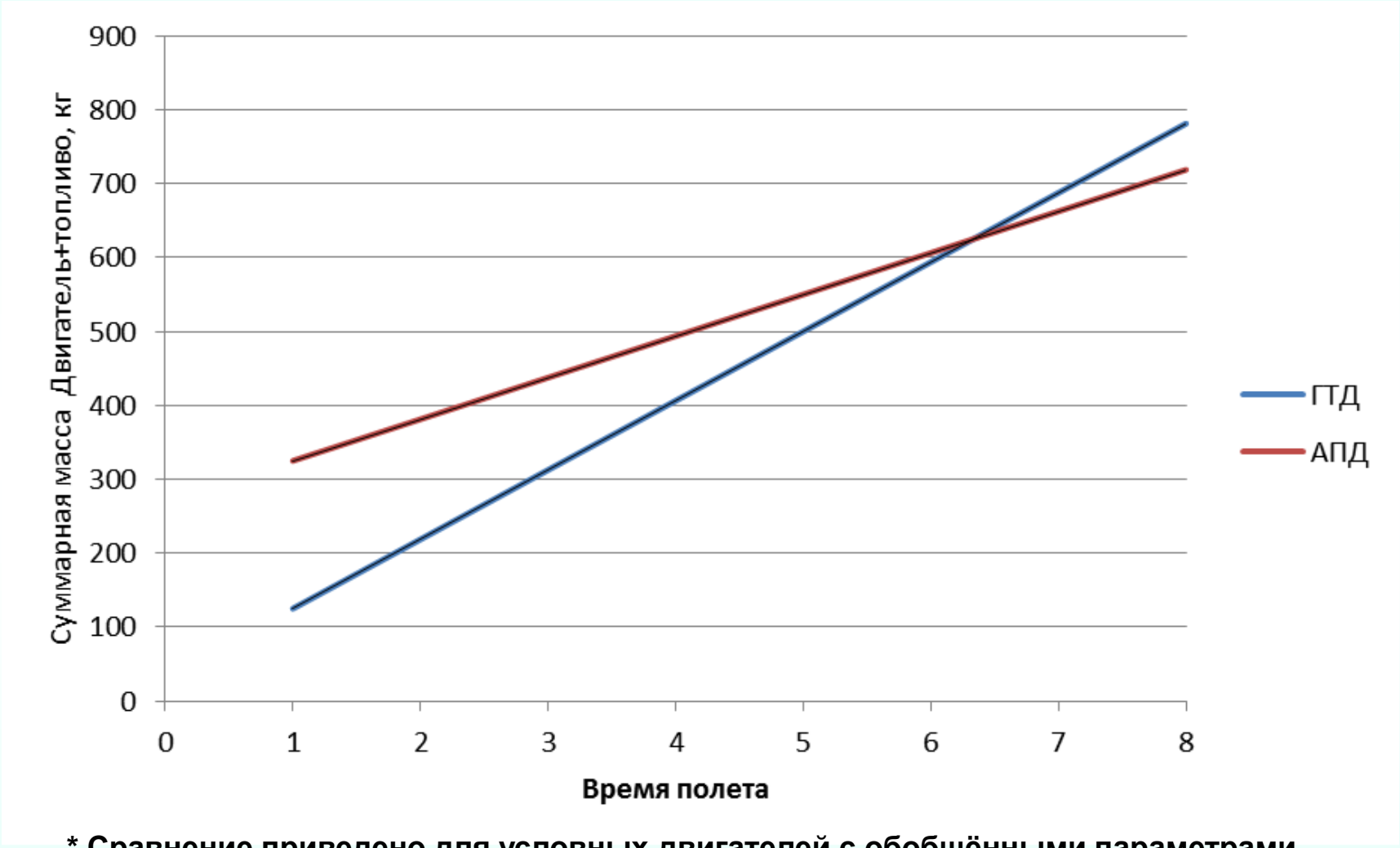
# Сравнение удельных показателей АПД и ГТД



# Сравнение удельных показателей АПД и ГТД



# Сравнение удельных показателей АПД и ГТД

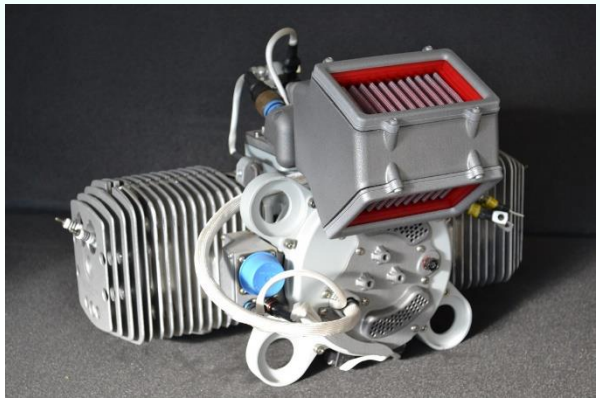



*** Сравнение приведено для условных двигателей с обобщёнными параметрами мощностью 500 л.с.**

| Авиационные поршневые двигатели от 100 до 500 л.с. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Марка / Страна / Данные | Hirth H30 ES Германия | Jabiru 3300 Aero Engine Австралия | Lycoming IO-390-X США | М-9Ф Россия | Rotax 914 UL DCDI Австрия | RED A03 дизельный Германия | Austro Engine AE300 дизельный Австрия | Centurion 4.0 дизельный Германия | SMA SR-305 E дизельный Франция |
| Схема | оппозитный | оппозитный | оппозитный | звезда | оппозитный | V-образный | рядный | V-образный | оппозитный |
| Тактность и кол-во цилиндров | 2x4 | 4x6 | 4x4 | 4x9 | 4x4 | 4x12 | 4x4 | 4x8 | 4x4 |
| Ne л.с. при n об/мин | 102 при 6500 | 120 при 3300 | 210 при 2700 | 400 при 2950 | 115 при 5800 | 500 при 4200 | 168 при 4000 | 310 при 4000 | 227 при 2200 |
| Ce, г/л.с.*ч | 320 | | | 205 | 276 | 154 | 158 | 168,7 | 162 |
| $\gamma_e$, кг/л.с. | 0,41 | 0,695 | 0,66 | 0,55 | 0,699 | 1,75 | 1,1 | 0,878 | 0,911 |
| Ресурс, ч | 500 | | 2000 | | 1200 | | 2000 | 2000 | 2000 |
| Цена | | €11,605.00 | | | € 16 000 | € 160 000 | 50 000 | | |

## Бензиновые

### Двухтактные (до 50 л.с.)

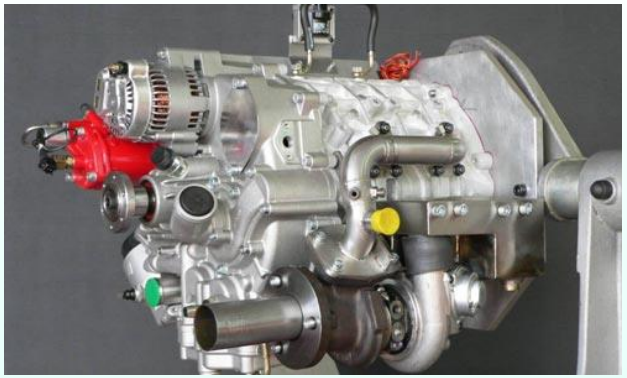


### Четырехтактные (50-400 л.с.)

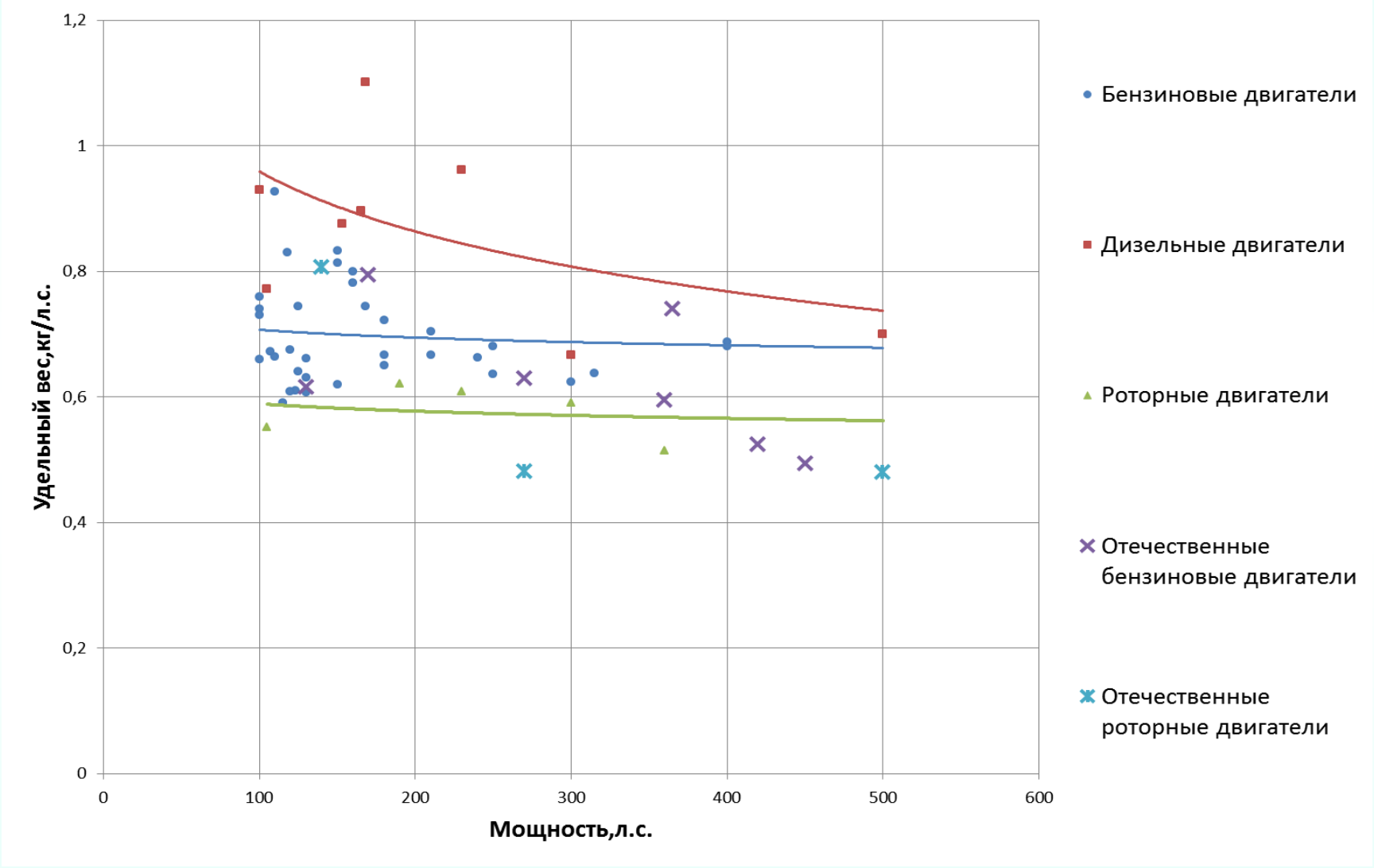
## С возможностью работы на авиакеросине

### Дизельные (100-500 л.с.)

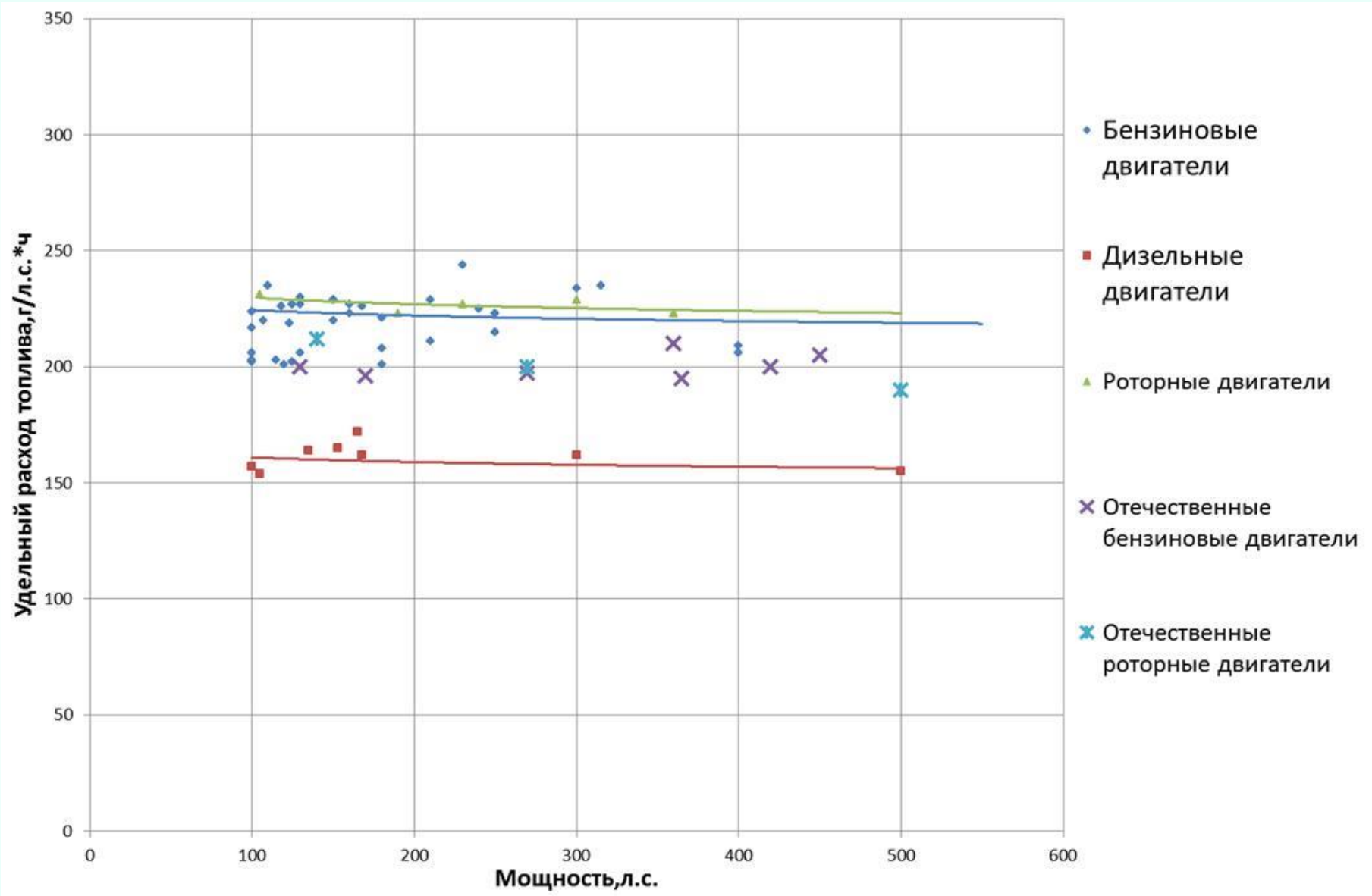
### Роторно-поршневые (до 300 л.с.)



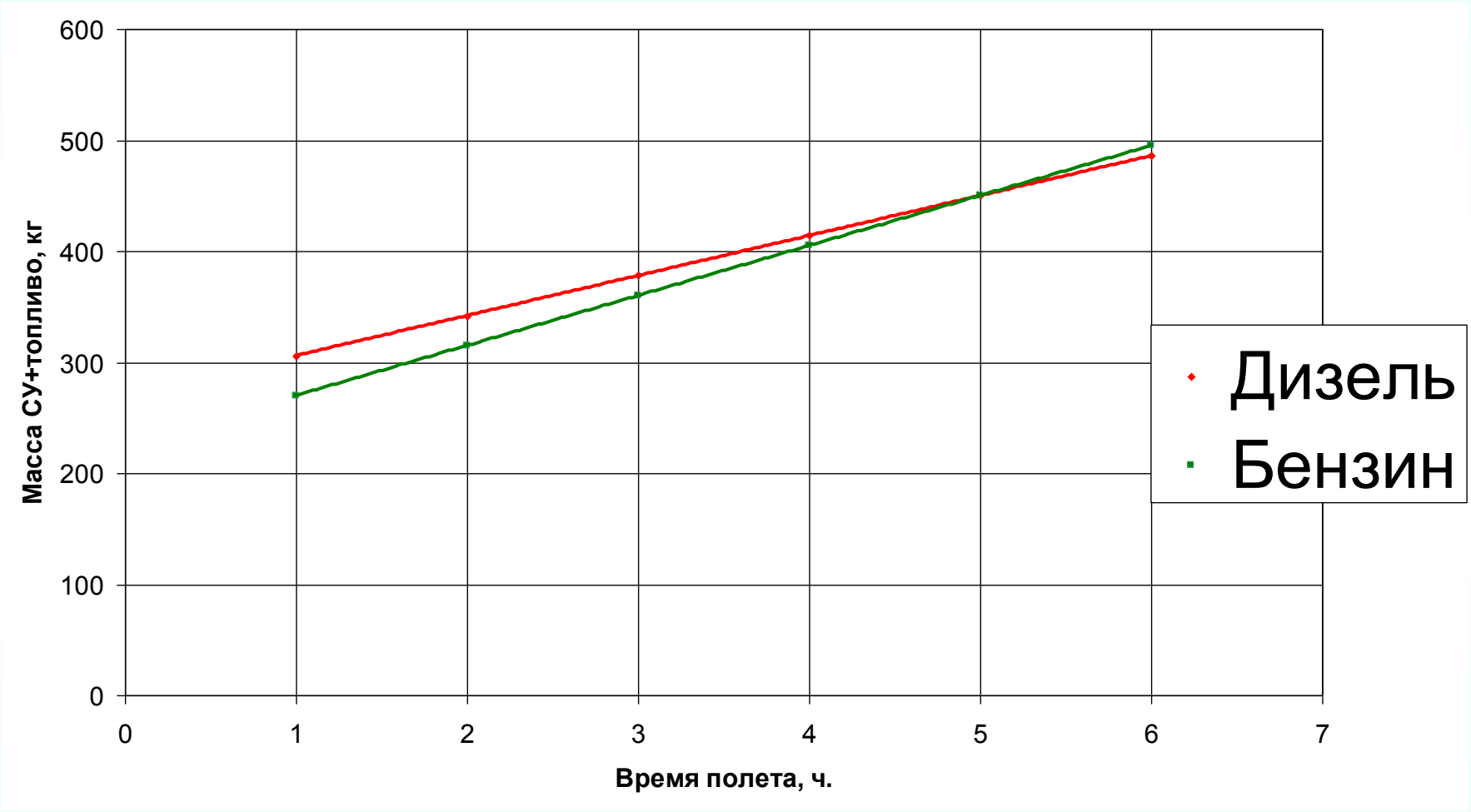
# Удельные характеристики АПД



# Удельные характеристики АПД



# Зависимость потребной массы двигателя и топлива от времени полета ЛА для бензинового и дизельного АПД



# Классы мощности АПД

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Двигатель с воспламенением от сжатия | | | | 6-цилиндровый | 12-ти цилиндровый |
| РПД | | Односекционный | 2-х секционный | 3-х секционный | |
| Двигатель с искровым воспламенением | 2-х цилиндровый | 4-х цилиндровый | | | |
| | 40-50 л.с. | 90-100 л.с. | 180-200 л.с. | 270-300 л.с. | 400-500 л.с. |

# Альтернативные топлива

## Топлива с высокой удельной теплотой сгорания

| | **Газомоторные топлива** | **Автомобильный бензин** | **Авиационный керосин** |
|---|---|---|---|
| + | - низкая стоимость по сравнению с авиационным керосином, в местах нефте-газодобычи;<br>- высокая детонационная стойкость | - Доступность топлива; | - Снижение удельного расхода топлива;<br><br>-универсальность применения (единое топливо для АПД и ГТД); |
| - | применение в авиации требует решения ряда практических задач, связанных с производством, хранением и транспортировкой и топливоподачей | - Высокое давление насыщенных паров<br><br>- Низкая детонационная стойкость | -нестабильность воспламенения;<br>-не высокие смазочные свойства для ТНВД;<br>- Создание новых конструкций двигателей; |

# Газомоторные топлива

| Показатель | СПГ (метан) | СНГ (пропан-бутан) | Водород |
|---|---|---|---|
| **Формула состава** | $CH_4$ | $C_3H_8$, $C_4H_{10}$ | $H_2$ |
| **Плотность в жидком состоянии, кг/м$^3$** | 415 | 490 | 70 |
| **Теплота сгорания низшая, МДж/кг** | 50,3 | 46,5 | 120 |
| **Октановое число** | 130 | 100 | - |
| **Температура кипения, °С** | -160 | -40, -5 | -252 |
| **Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг** | 17,2 | 15,7 | 34,3 |
| **Содержание, мас. %**<br>**С**<br>**Н**<br>**О** | <br>74,9<br>25,1<br>0 | <br>81,8<br>18,2<br>0 | <br>0<br>100<br>0 |

# Ориентировочный перечень беспилотных летающих систем с РПД компаний UAV и Austro Engine GmbH

- Blue Horizon II UAV, производитель EMIT
- Crecerelle UAV, производитель SAGEM
- Darter UAV, производитель Silver Arrow
- Deltron III UAV, производитель TESTEM
- Dragon UAV, производитель Matra
- Galileo UAV оснащен UEL AR-682
- Goldeneye UAV оснащен UEL AR-741
- Harpy UAV , производитель Israel Aircraft Industries
- Hellfox UAV, производитель Mi-Tex
- Hermes 180 оснащен UEL AR-74-1000 производитель Silver Arrow
- Hermes 450 и 450S оснащен UEL AR 80-1010, 20 ч и 30
- Foile UAV ISIS оснащен UEL AR-8010
- Lark UAV, производитель Kentron
- Marula UAV, производитель SAGEM
- Night Intruder 300 KAI
- Nishant UAV, производитель ADE
- Phantom Medium Tactical UAV
- Pioner RQ2A оснащен UEL AR-741, производитель PUI
- Pioneer RQ2B оснащен UEL AR-741, производитель IAI
- Prowler I, производитель GA-ASI
- Scout UAV оснащен UEL AR-801 производитель IAI
- Schiebel Camcopter S-100 оснащен Diamond Engines AE-50R
- Seabat UAV, производитель Orion
- Sea Scout оснащен UEL AR-801
- Searcher II Hersteller IAI
  Shadow 200 оснащен UEL AR-741
  Shadow 400 оснащен UEL AR-741
  Shadow 600 оснащен UEL AR-801
- Sikorsky Cypher оснащен UEL AR-801
- Skyeye оснащен UEL AR 80-1010, производитель BAE Systems
- Sniper UAV, Silver Arrow
- Starbird UAV, производитель Northrop Grumman
- STF-9A UAV, производитель Daedalus
- TPPV-1 Doysae UAV, производитель KAI
- UAV-X1, производитель TAI
- Vixen UAV, производитель Mi-Tex

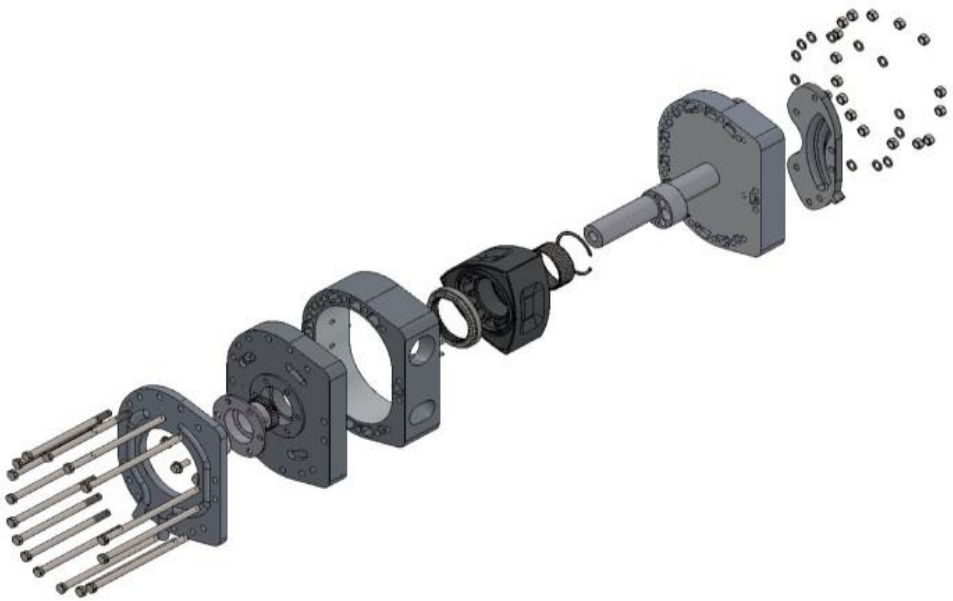
# Авиационные РПД, работающие на JET-A1

Cubewano Bobcat 34

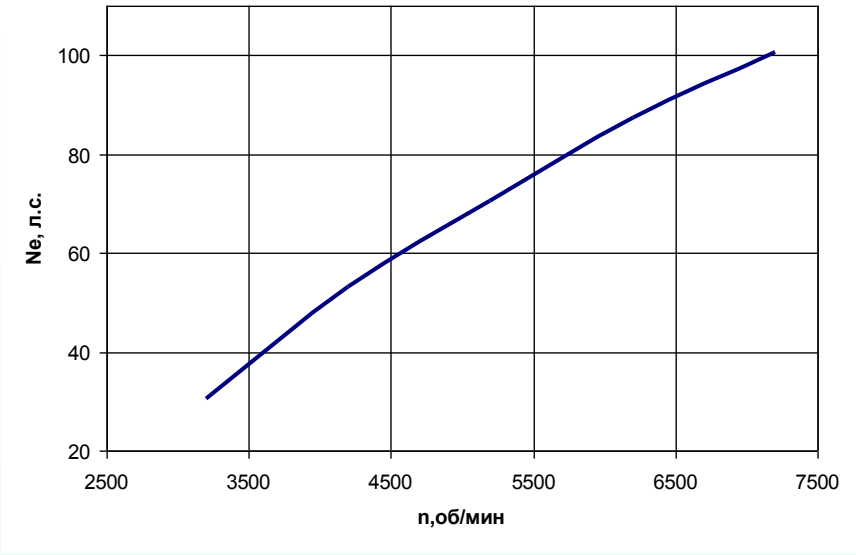
ККМ 352 Wankel SuperTec GmbH (WST)

| №№ п/п | Двигатель | Ne, л.с. | ge, г/л.с.ч | Масса, кг | n, об/мин |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Cubewano Bobcat 34 | 5 | 230 | 2.7 | 9500 |
| 2. | ККМ 352 | 95 | 182 | 36 | 6000 |

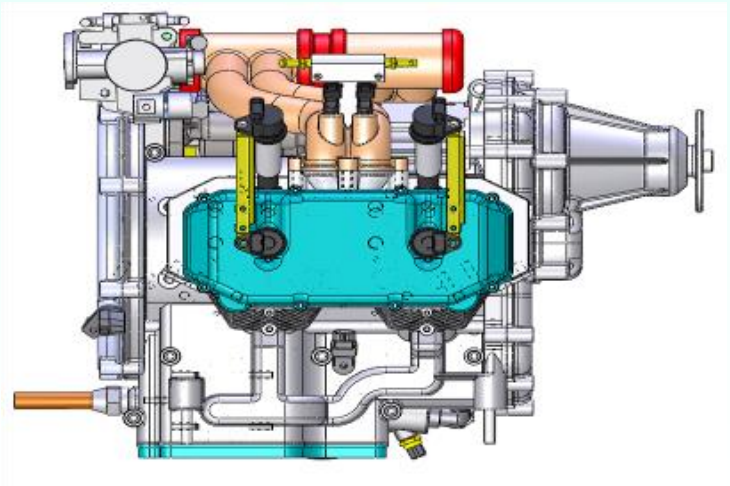
# Роторно-поршневой двигатель-демонстратор 100 л.с.



| Тактико-технические данные | |
|---|---|
| Рабочий объем двигателя, см$^3$ | 650 |
| Мощность л.с. | 100 |
| Топливо | Аи-92, Jet-A 1 |
| Удельный расход топлива, г/л.с.*ч | 205 |
| Система питания | Впрыск во впускной коллектор |
| Вес двигателя | 35-40 кг |

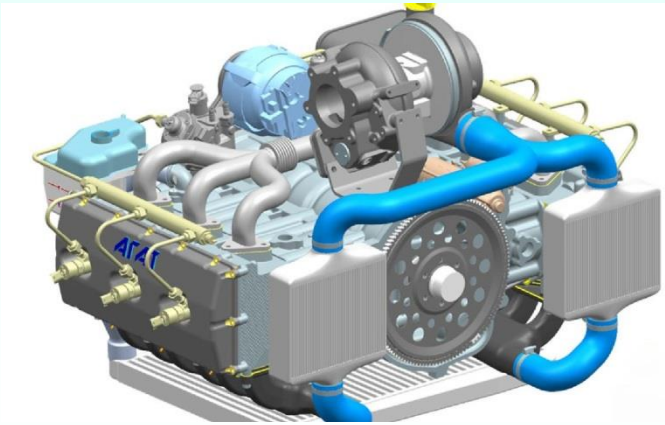


# Авиационный двигатель ПД-1400(Россия)



| | |
|---|---|
| Тип | Поршневой, четырёхтактный, воздушного охлаждения с редуктором |
| Число цилиндров | 4 |
| Расположение цилиндров | Оппозитное |
| Ход поршня, мм | 75,6 |
| Диаметр цилиндра, мм | 76,5 |
| Рабочий объем, $см^3$ | 1390 |
| Степень сжатия | 10,5 |
| Мощность (5800 об/мин), л.с. | 90 |
| Удельный расход, г/л.с.*ч | 210 |
| Удельный вес, кг/л.с. | 0,75 |

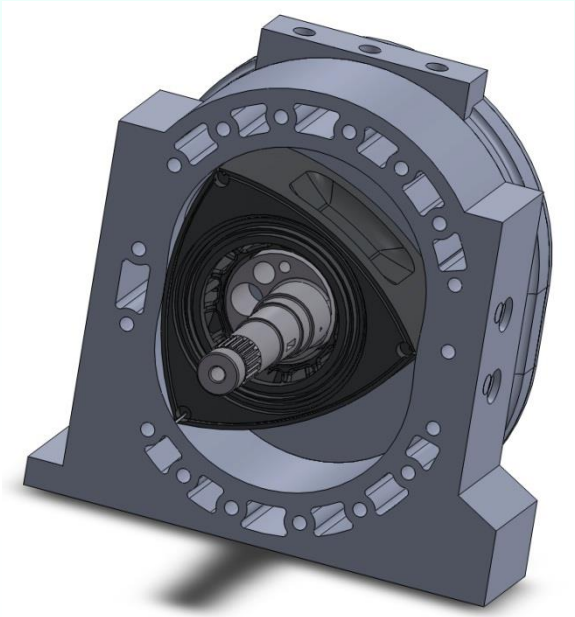
# Авиационный двигатель ПД-2800 (Россия)



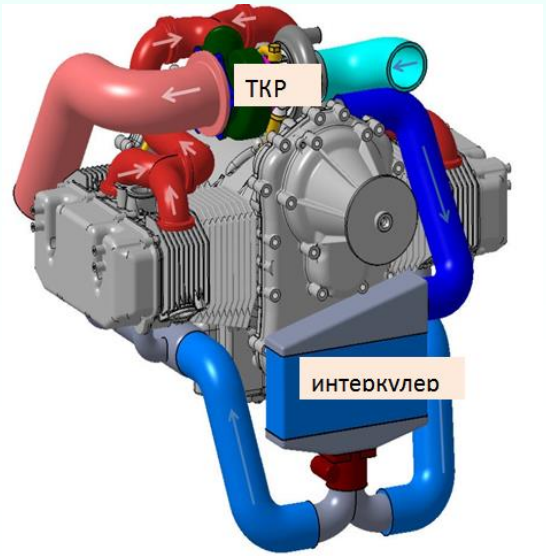
| | |
|---|---|
| Тип | Поршневой, четырёхтактный, дизельный жидкостного охлаждения |
| Число цилиндров | 6 |
| Расположение цилиндров | Оппозитное |
| Рабочий объем, $см^3$ | 1390 |
| Степень сжатия | 17 |
| Мощность (4000 об/мин), л.с. | 300 |
| Удельный расход, г/л.с.*ч | 160 |
| Удельный вес, кг/л.с. | 0,75 |

# Перспективные отечественные АПД создаваемые в рамках НИР и ОКР

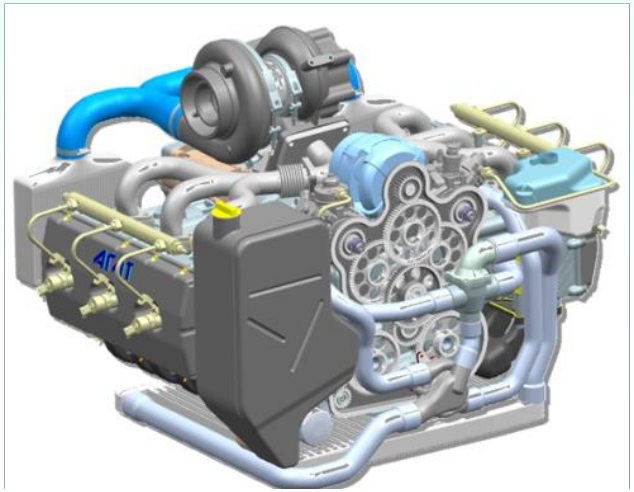
**Мощностной ряд АРПД 100 -300 л.с.**



**Бензиновый двигатель мощностью 120-150 л.с.**

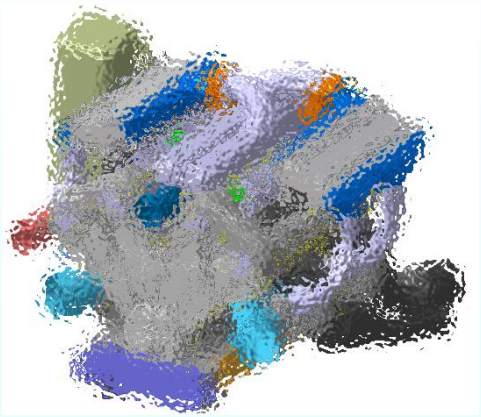


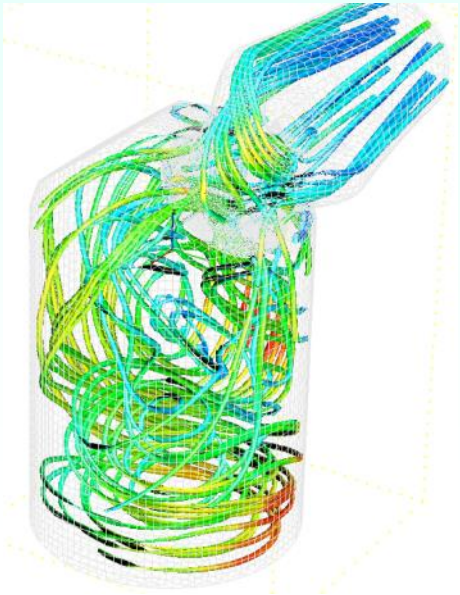

**Дизельный АПД мощностью 300 л.с.**



**АПД мощностью 50 л.с.**

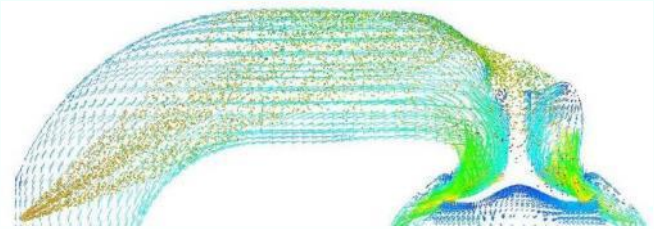
**Мощностной ряд дизельных АПД 450-800 л.с.**



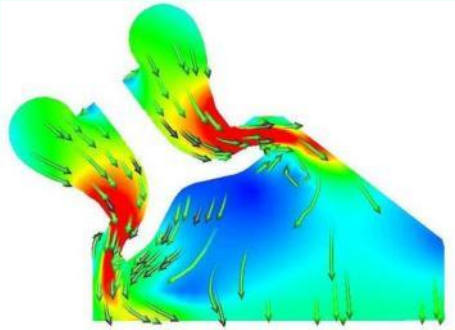


Закрутка потока в цилиндре ДВС

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ

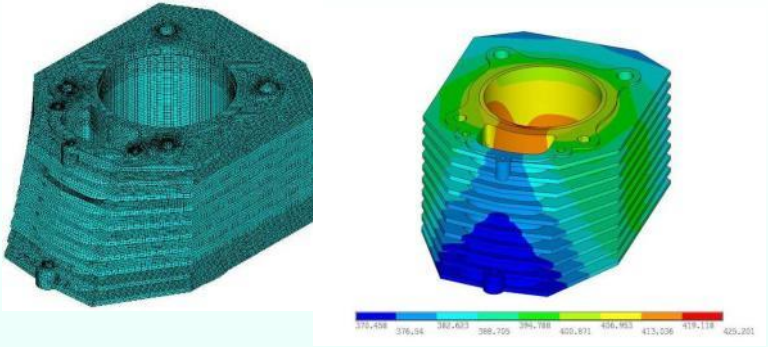


Распределение топлива при впрыске во впускной коллектор

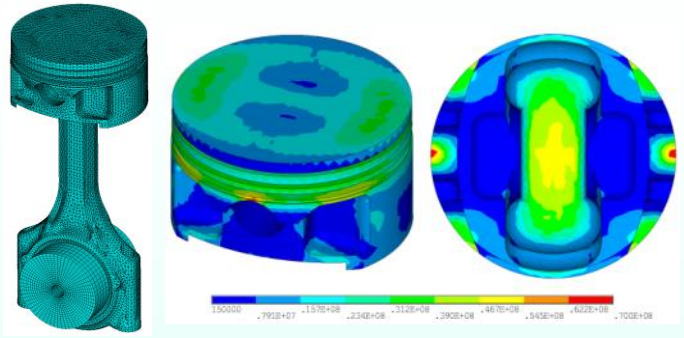


Скорость потока в клапанной щели

## ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ



Цилиндр воздушного охлаждения



КШМ и шатунно-поршневая группа

*Автоматизированная информационно-измерительная система специализированая для испытаний АПД*

*Исследовательский одноцилиндровый модуль двигатель на стенде У-338*

*Мобильный винтовой стенд с возможностью установки в ТБК (стенд У-335)*

*Тормозной стенд У-336*

ЭБУ

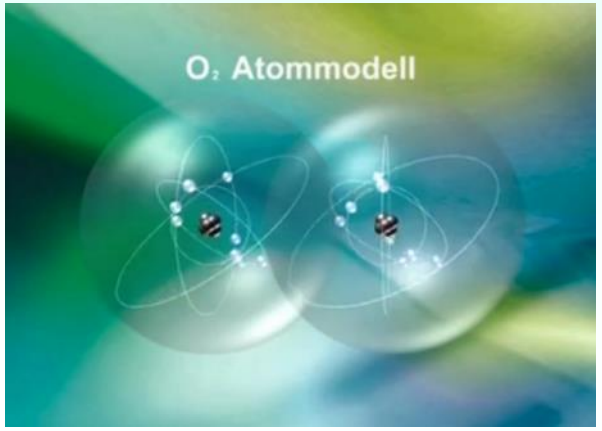
Бензин , АСКТ

топливо

Газообразное

Авиационный керосин

# Совершенствование рабочего процесса




| | Предварительная закрутка потока | Совершенствование систем впрыска | Введение добавок в ТВС |
|---|---|---|---|
| + | -Значительное увеличение скорости сгорания на 30-40 %; | -Повышение мощности;<br>-повышение пусковых свойств;<br>-Снижение удельного расхода топлива. | -возможность организации цикла с гомогенным воспламенением;<br>-значительное снижение удельного расхода;<br>-низкая склонность к образованию отложений. |
| - | -Снижение коэффициента наполнения;<br>- Усложнение конструкции. | -увеличение потерь на привод агрегатов (мех потерь); | -нестабильность рабочего цикла (отсутствие управляющего сигнала);<br>-дополнительное оборудование; |

## *Преимущества использования графитовых поршней*

- снижение массы на величину до 40% (в сравнении с традиционными алюминиевыми поршнями);
- повышение допустимых тепловых нагрузок на огневое днище поршня;
- снижение инерционных нагрузок на коленчатый вал двигателя.

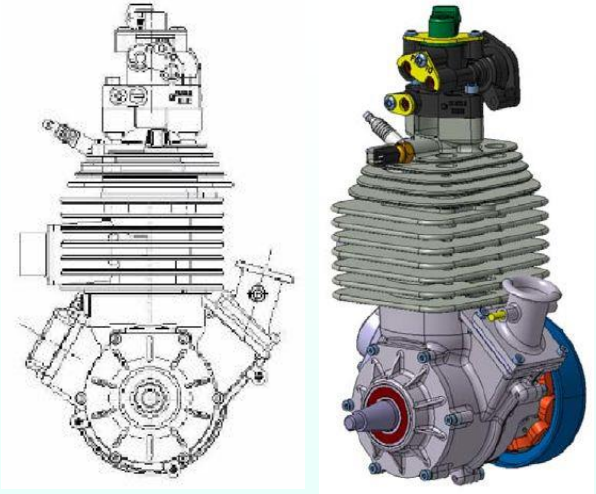
*Поршни производства фирмы Hirth (Австрия)*

## *Примеры серийных АПД, комплектующихся графитовыми поршнями*

**Мдвигателя = 30 кг**

*2-х тактный АПД Hirth 3503 HF (S/D = 69/76 мм/мм; Ne = 65 л.с. при n = 6500 об/мин)*

*2-х тактный АПД Hirth 65cc Heavy Fuel Engine (рабочий объем 65 см$^3$; $N_e$ = 5,5 л.с. при n = 8000 об/мин)*



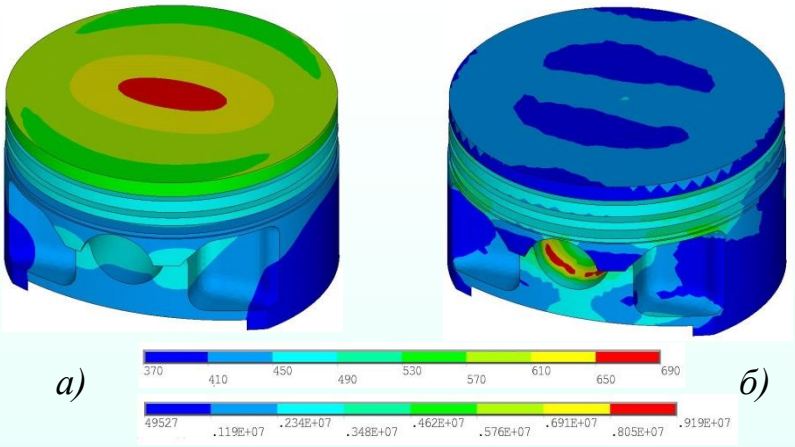
**Мдвигателя = 5,9 кг**

# Разработки ЦИАМ

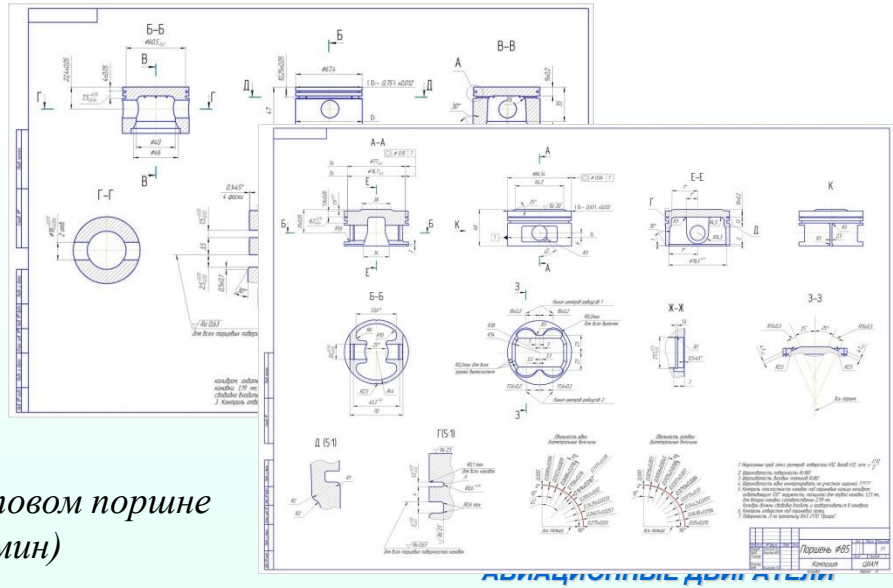
*Поршень перспективного 4-х тактного АПД (S/D = 75,6/76,5 мм/мм; ε = 10,5; $N_e$ = 90 л.с. при n = 5700 об/мин)*

*Поршень 4-х тактного одноцилиндрового модуля-двигателя ОМД (S/D = 54/68 мм/мм; ε = 8,65; $N_e$ = 8 л.с. при n = 4500 об/мин)*

***Конструкторская документация и результаты расчета теплонапряженного состояния поршня АПД из углеграфитового материала***




а) б)

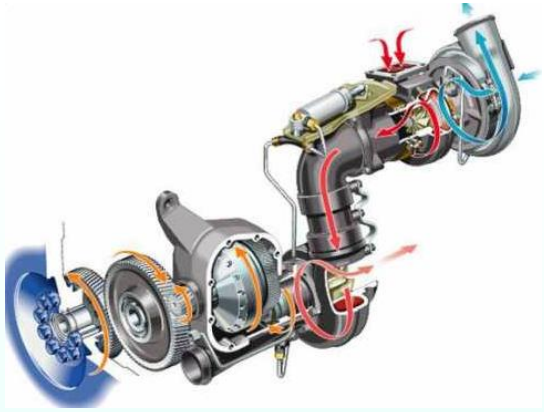


*Распределения температур (а) и напряжений (б) в графитовом поршне перспективного АПД (Ne=71 л.с. при n=4500 об/мин)*

# Перспективные конструктивные решения

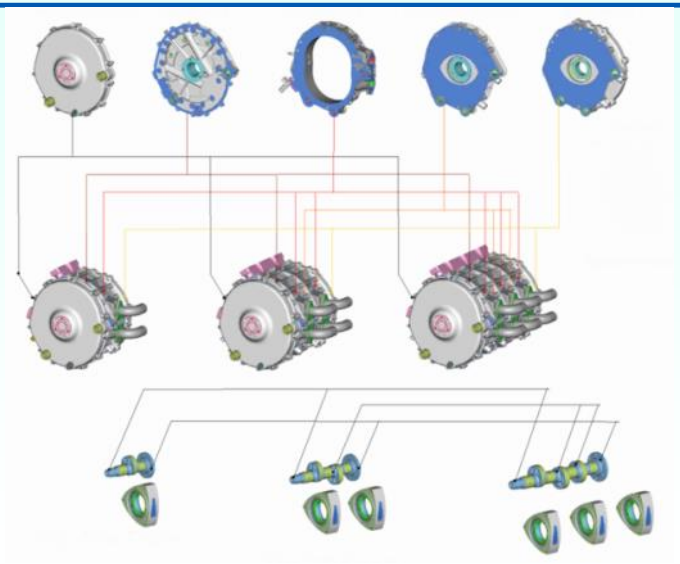
Гибридный привод воздушного винта

- Снижение удельного расхода топлива на 3-5%



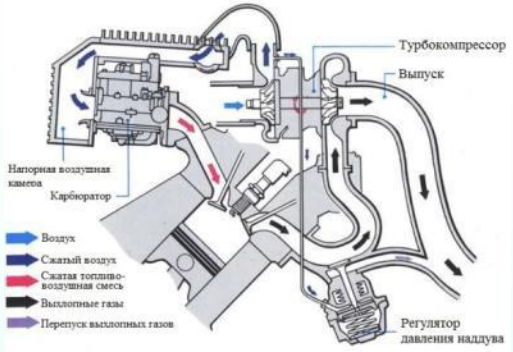
Турбо-компаундный двигатель

- Снижение удельного расхода топлива на 15-20%



Модульный принцип (на базе односекционного РПД)

- Снижение удельной массы на 15-20%



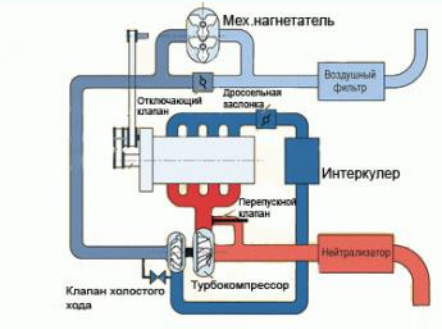

Применение агрегатов наддува

- Увеличение высотности (до 15-20 км)
- Снижение удельного расхода топлива на 5-7%

# Технические решения для высотного АПД

*Для эффективной работы авиационного поршневого двигателя на больших высотах (боле 10 км), необходимо совершенствование рабочего процесса за счет :*

- *обеспечения двигателя воздухом ( агрегаты наддува);*
- *повышение степени сжатия (расширения);*
- *применение новых (альтернативных) типов топлива и систем их применения.*




*- Применение комбинированного многоступенчатого наддува позволит перераспределить часть механической мощности на привод высокоэффективных нагнетателей объемного типа.*

*- Использование схемы двухтактного двигателя с противоположно движущимися поршнями позволит значительно повысить степени сжатия, при сохранении высоких удельных параметров для крейсерского режима .*

*- Системы хранения и топливоподачи высокоэнергетического топлива.*

Ключевыми моментами для создания НТЗ при разработке АПД является:

• Применение перспективных технологий изготовления основных деталей АПД, в том числе из интерметаллидов и композитных материалов.
•Разработка новых алгоритмов управления рабочим процессом двигателей (гомогенное сгорание ТВС, совершенствование систем впрыска) и электронной многопараметрической системой управления рабочим процессом.
•Отработка перспективных конструктивных решений включающих гибридные и турбокомпаундные схемы.

Применение данных технологий при разработке перспективных АПД позволит:

• Снизить вес силовой установки на 20-25%;
• Снизить удельный расход топлива на основных режимах на 15-20%;
• Повысить ресурс авиационных двигателей до 5000 часов;
• Снизить эксплуатационные расходы на 30-40%;

Спасибо за внимание!