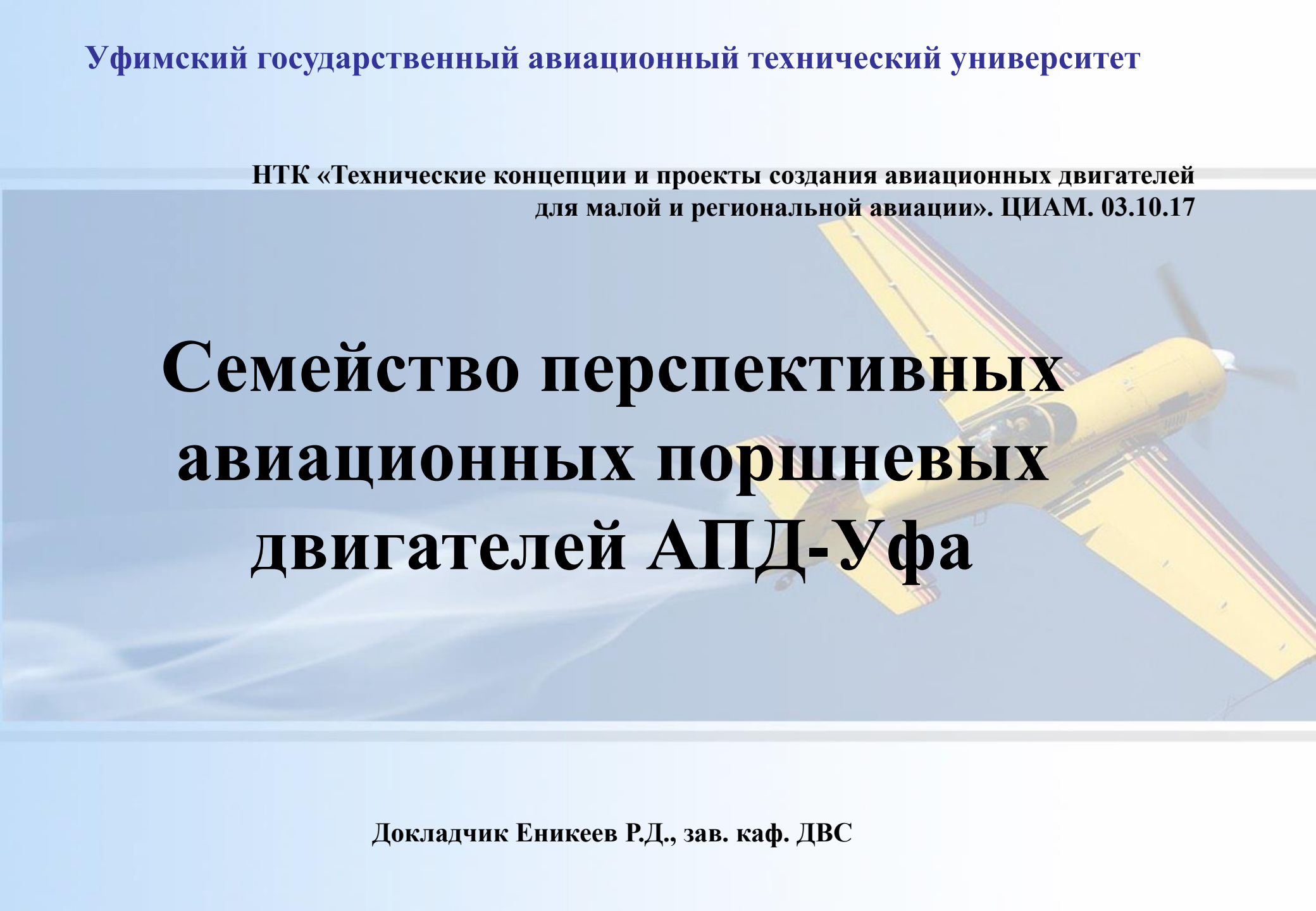


**НТК «Технические концепции и проекты создания авиационных двигателей
для малой и региональной авиации». ЦИАМ. 03.10.17**



Семейство перспективных авиационных поршневых двигателей АПД-Уфа

Докладчик Еникеев Р.Д., зав. каф. ДВС

Мировые тенденции:

1. Малая авиация играет огромную роль в экономике и обороне развитых государств.
2. Поршневые двигатели доминируют в малой авиации.
3. Малая авиация повсеместно переходит на авиационный керосин.



Состояние дел

- Российская малая авиация применяет поршневые двигатели иностранного производства и остро нуждается в современных отечественных двигателях.
- Применение авиационного керосина в поршневой авиации позволяет использовать существующую инфраструктуру производства, доставки, хранения, заправки и контроля качества авиационного топлива.

Так, в США действует директива Министерства обороны, в соответствии с которой военные должны приобретать только те системы, которые могут работать на авиационном керосине.

Причина: снижение логистических затрат и повышение безопасности.

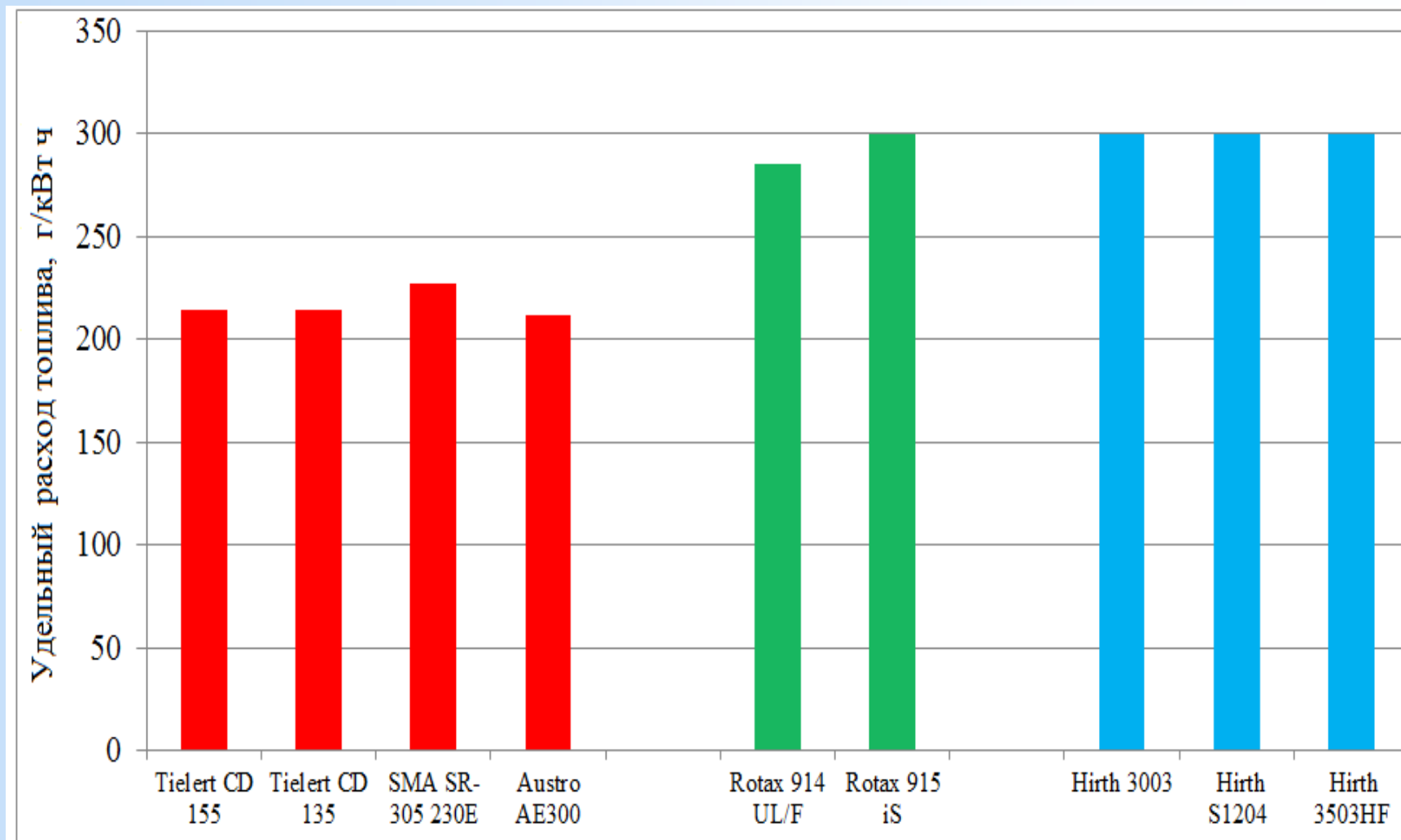
Альтернатива

Дизели могут работать на авиационном керосине и по этой причине они массово возвращаются в авиацию, **но**:

- дизели тяжелы для авиации и всегда будут проигрывать двигателям с искровым воспламенением по удельной мощности;
- в России отсутствуют технологии производства ключевых компонентов дизелей, обеспечивающих их работу на авиационном керосине (в первую очередь, топливной аппаратуры).

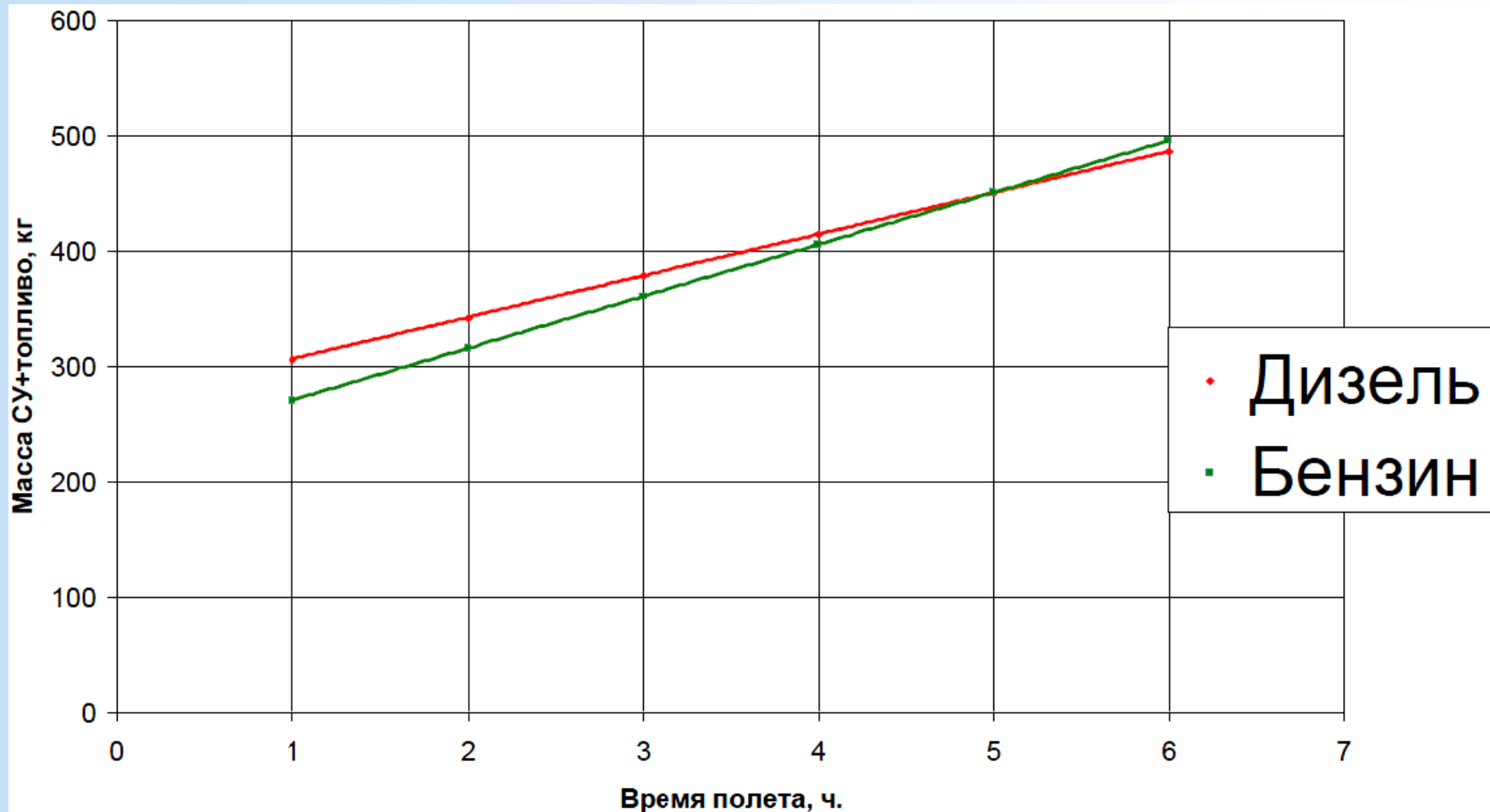
Альтернатива

Удельный расход топлива авиационных двигателей



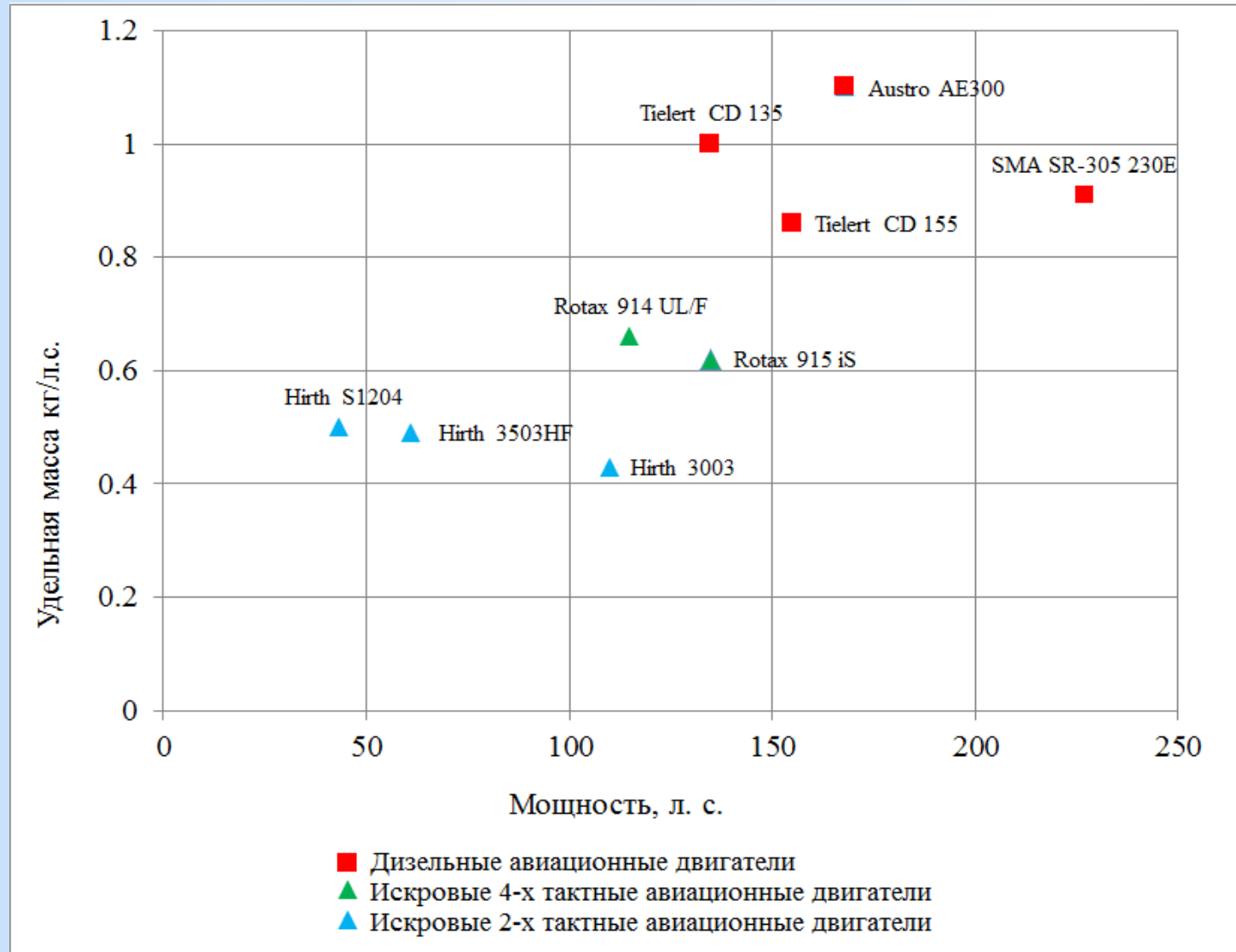
Альтернатива

Зависимость потребной массы двигателя и топлива от времени полета летательного аппарата для искрового и дизельного авиационных двигателей



Альтернатива

Сравнительная характеристика авиационных двигателей



Цели проекта

- Создание научно-технологического задела для разработки линейки отечественных поршневых авиационных двигателей нового поколения для улучшения летно-тактических характеристик летательных аппаратов, замещения импорта и обеспечения экспортного потенциала отрасли.
- Разработка и испытания экспериментальных образцов поршневых авиационных двигателей с искровым воспламенением, работающих на авиационном керосине.

Что мы предлагаем

Новый рабочий процесс, позволяющий поршневому двигателю:

- работать на авиационном керосине и дизельном топливе;
- иметь высокую удельную мощность (по массе), на уровне современных бензиновых двигателей;
- иметь низкий расход топлива, на уровне современных дизелей.

Именно это сочетание качеств критически важно для современного авиационного поршневого двигателя

Концепция проекта

Современная концепция

Дизельный двигатель:

- высокая топливная экономичность
- большой вес и габариты
- использование традиционных и биотоплив с высоким цетановым числом и низкой испаряемостью

Бензиновый двигатель:

- высокая мощность
- лёгкость, компактность
- низкая топливная экономичность
- использование традиционных и биотоплив с высоким октановым числом и высокой испаряемостью

Концепция поршневого двигателя с перспективным рабочим процессом

- мощность, лёгкость, компактность бензиновых двигателей
- топливная экономичность дизелей
- многотопливность
- использование ископаемых топлив широкого фракционного состава
- использование низкокачественных, дешевых альтернативных топлив

Требования к поршневым ДВС для ЛА

1. Высокая удельная мощность
2. Работа на керосине и дизельном топливе
3. Низкий удельный расход топлива
4. Возможность работы двигателя на большой высоте

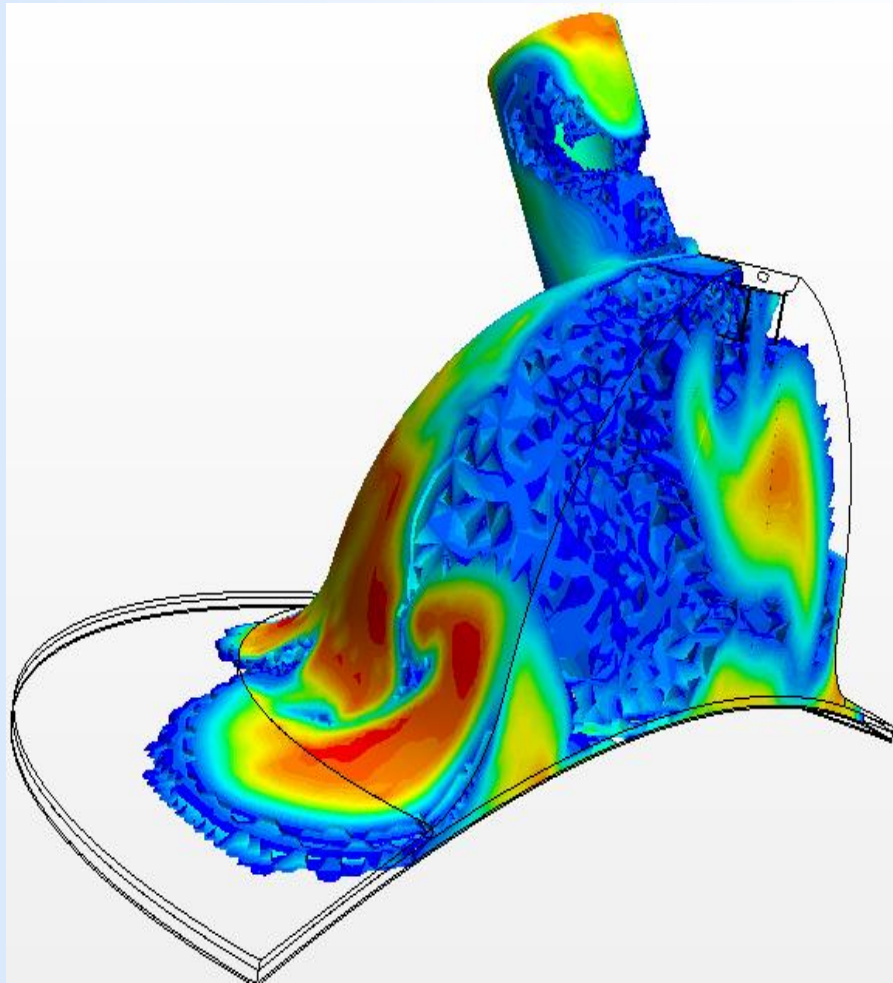
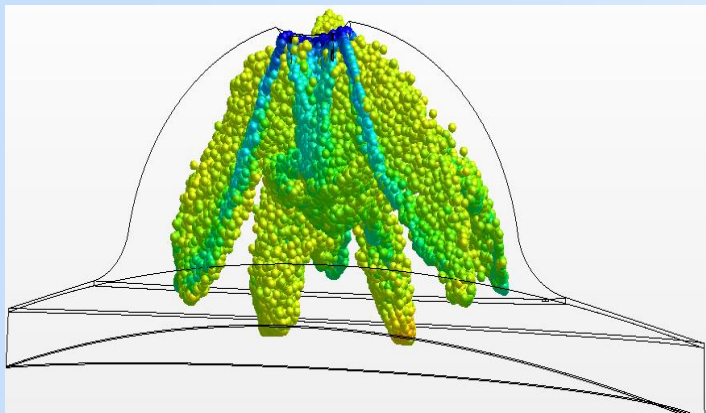
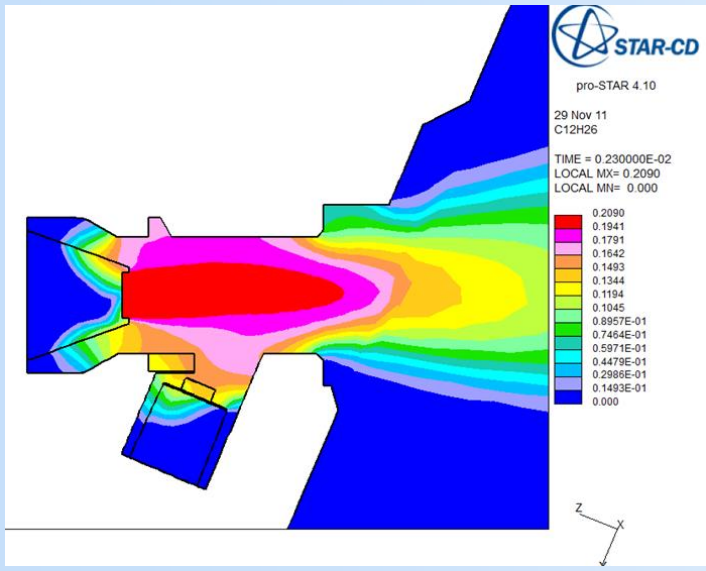
Концепция проекта

Требования к перспективному рабочему процессу

1. Подвод теплоты в цикле, близкий к изохорному.
2. Отсутствие ограничений по степени сжатия (оптимальная находится в диапазоне 12 – 15).
3. Качественное регулирование – работа в широком диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха (1 – 6).
4. Работа в широком диапазоне частот циклов (на уровне современных двигателей с искровым воспламенением).
5. Оптимальная характеристика теплоподвода (критерии оценки качества процесса – эффективный КПД, максимальное давление, максимальная температура, скорость повышения давления в рабочем цикле).
6. Многотопливность, что означает возможность работы на любых современных товарных топливах (от дизельного топлива и керосина до высокооктановых бензинов) и топливах растительного происхождения (без добавки ископаемых).

Научно-технический задел

Разработаны математические модели процессов в топливоподающей аппаратуре и рабочей камере двигателя с многотопливным рабочим процессом



Научно-технический задел

На различных типах двигателей подтверждены базовые характеристики процесса:

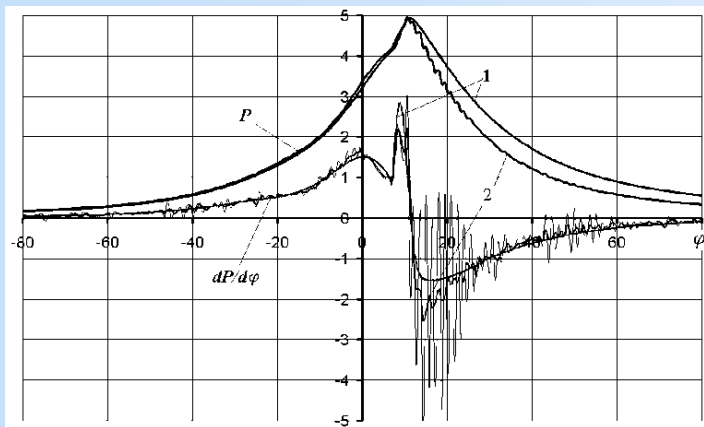
Многотопливность (работа на бензине, дизельном топливе, керосине, этаноле)

Возможность бездетонационной работы при высоких степенях сжатия. Экспериментальный двигатель со степенью сжатия 15 работает без детонации на бензине ОЧ 80, керосине ТС1, дизельном топливе

Возможность качественного регулирования мощности двигателя с искровым воспламенением во всем диапазоне нагрузок от полной до холостого хода на различных топливах. Впервые в практике мирового двигателестроения обеспечена работа двигателя с искровым воспламенением в диапазоне коэффициентов избытка воздуха от 1,0 до 5,0



Научно-технический задел



Диаграммы изменения давления P (МПа) и $dp/d\varphi$ (МПа/град) от угла поворота коленчатого вала φ ; карбюраторная версия двигателя:
1 – расчет; 2 – эксперимент

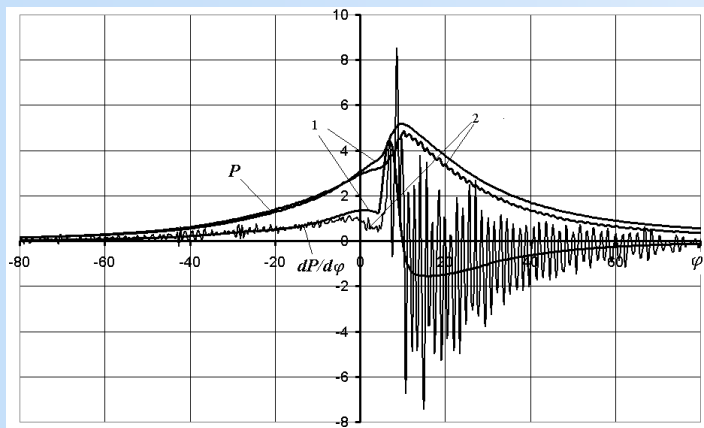
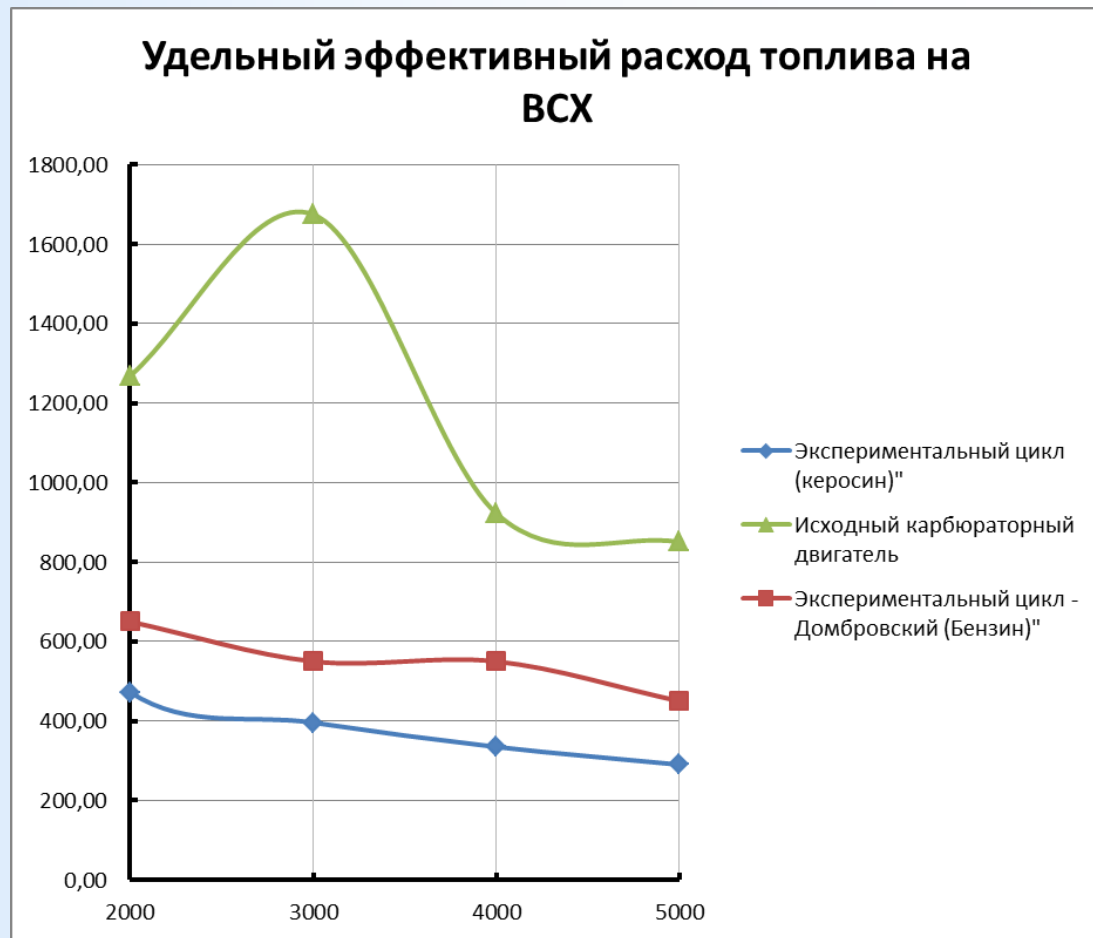


Диаграмма изменения давления P (МПа) и $dp/d\varphi$ (МПа/град) от угла поворота коленчатого вала φ ; топливо – дизельное:
1 – расчет; 2 – эксперимент



Конкурирующие технологии

Работы в этом направлении ведутся в ведущих исследовательских лабораториях мира

Технология HCCI.

- Combustion Processes Laboratories (University of California, Berkeley, США)
- National Institute for Advanced Transportation Technology University of Idaho (США)
- Sandia National Laboratories, Livermore, (США)

Технология FlexDI.

- Hirth Motor (Германия)
- Rotax (Австрия)
- Orbital (Австралия)

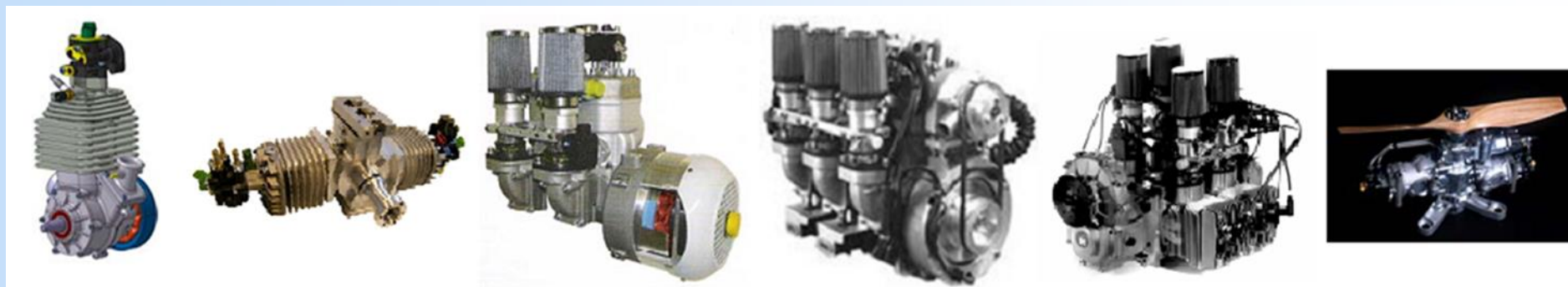
Конкурирующие технологии.

Фирмы – разработчики авиационных поршневых ДВС, ведущие работы в данном направлении

Компания Hirth Motor совместно с Orbital разрабатывает серию авиационных поршневых ДВС для работы на тяжелом топливе (керосин JP5, JP8, дизельное топливо).

В компании Continental ведется программа по разработке ПДВС на альтернативном топливе (дизельное и биотопливо).

Компания Rotax совместно с Orbital разрабатывает систему непосредственного впрыска топлива DI.



Семейство двухтактных двигателей АПД

Двигатель АПД-800, четырехцилиндровый, изготовлен и испытан в УМПО в бензиновом исполнении



Краткие технические характеристики

Рабочий объем:

193 куб. см (АПД-200), 772 куб. см (АПД-800)

Взлетная мощность:

30 л.с. (АПД-200). 120 л.с. (АПД-800)

Сухая масса:

16 кг (АПД-200), 64 кг (АПД-800)

Система охлаждения: жидкостная

Система подачи топлива: впрыск топлива

Вид топлива: бензины, **авиационный керосин**

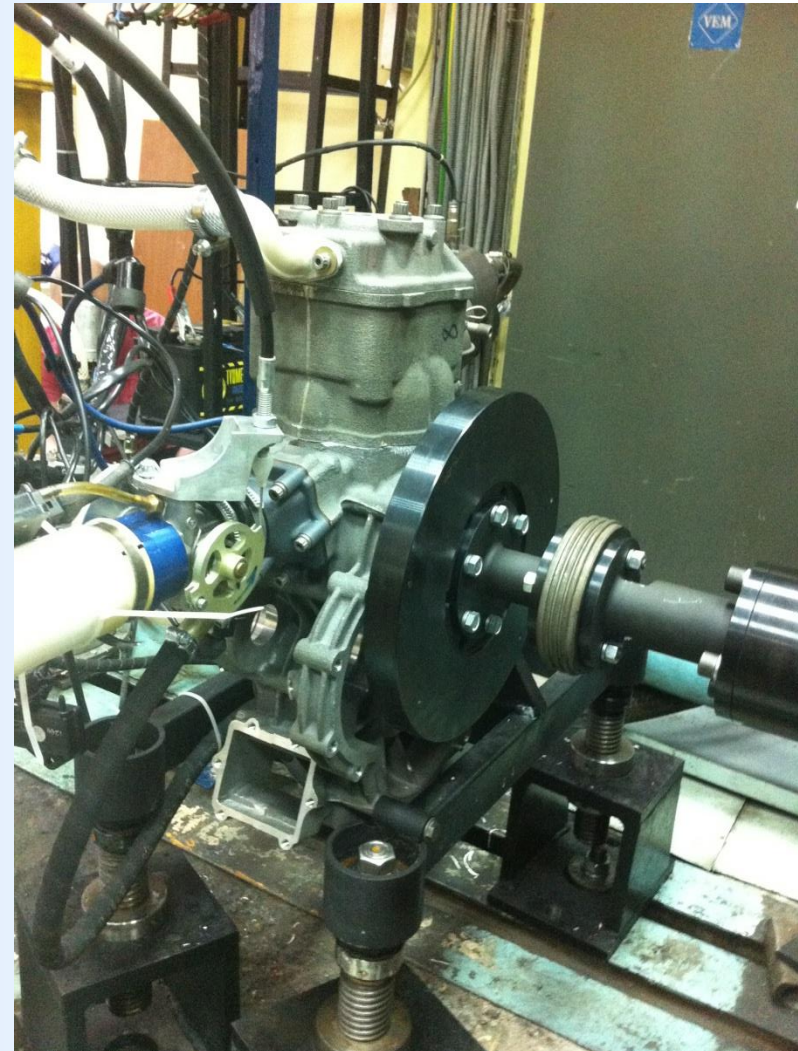
Система управления подачей топлива: электронная

Система зажигания: дублированная

Модульность конструкции

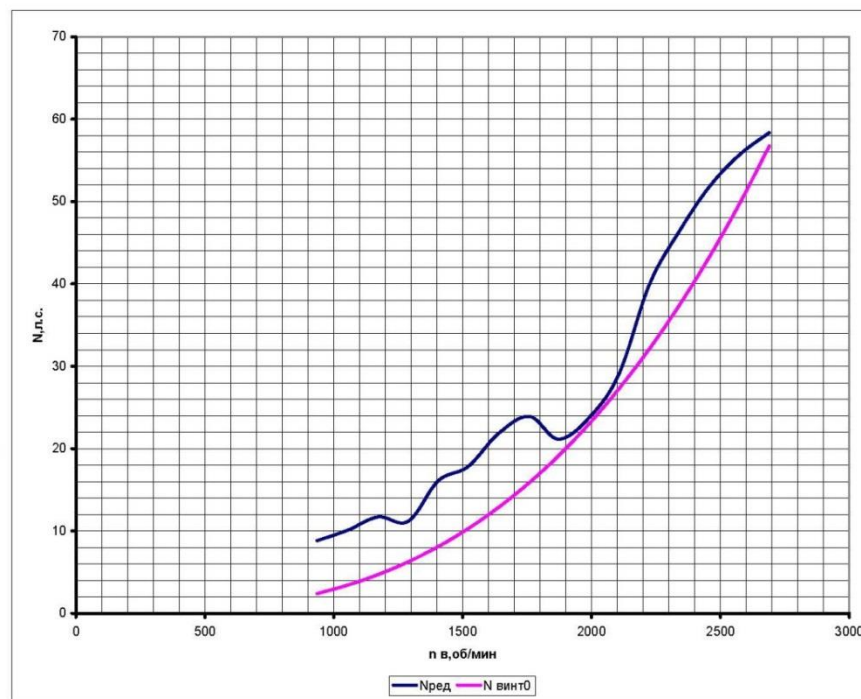
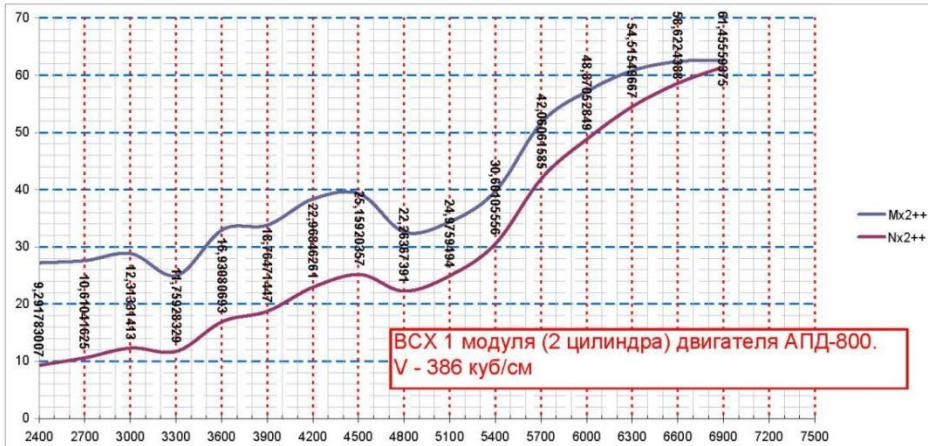
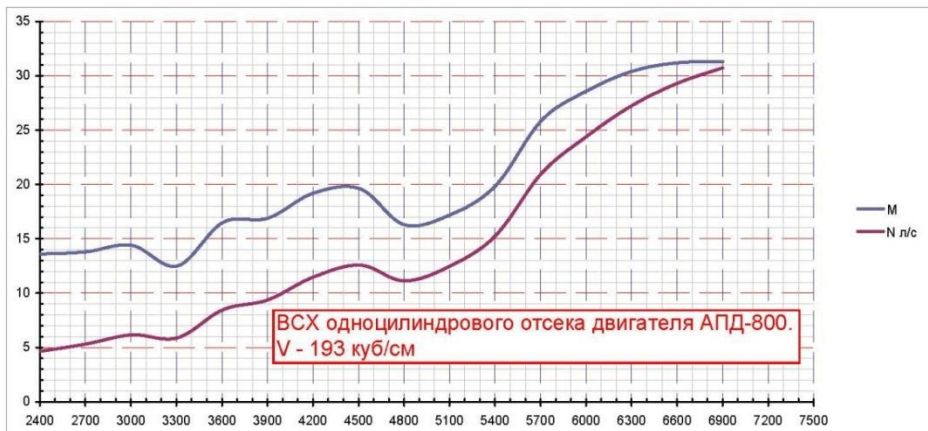
Семейство двухтактных двигателей АД

Двигатель АД-200, одноцилиндровый, изготовлен и испытан
в УМПО в бензиновом исполнении



Семейство двухтактных двигателей АД

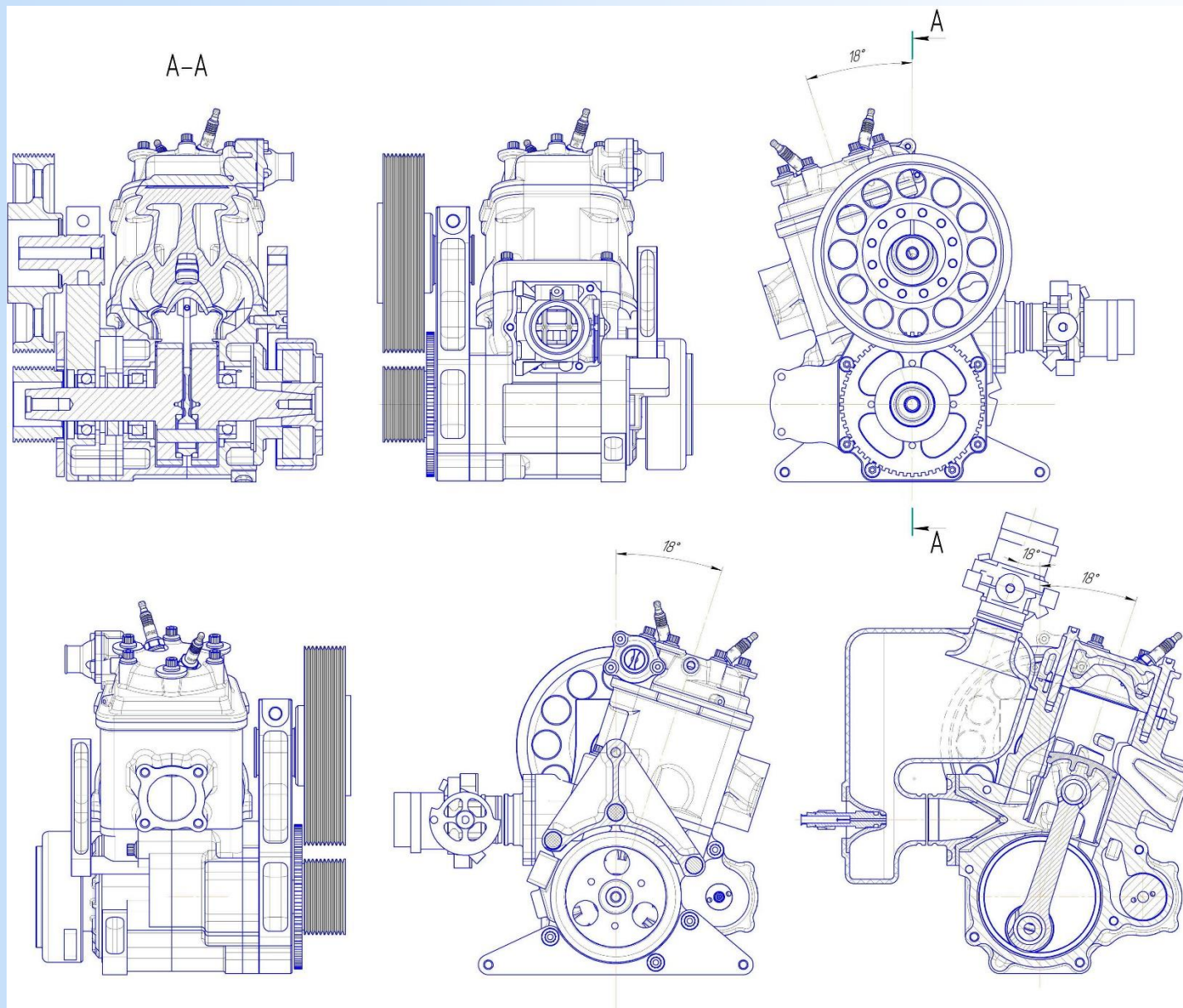
п	М	Н л/с	Мх2++	Нх2++	Пред	п винт	п с	Н винт0
2401	13,6	4,645892	27,2	9,291783	8,83	936,06	15,60	2,39222
2702	13,8	5,305208	27,6	10,61042	10,08	1053,41	17,56	3,409422
3005	14,4	6,156657	28,8	12,31331	11,70	1171,54	19,53	4,689841
3306	12,5	5,879642	25	11,75928	11,17	1288,89	21,48	6,245011
3606	16,5	8,465403	33	16,93081	16,08	1405,85	23,43	8,104045
3902	16,9	9,382357	33,8	18,76471	17,83	1521,25	25,35	10,26801
4204	19,2	11,48423	38,4	22,96846	21,82	1638,99	27,32	12,84141
4511	19,6	12,5796	39,2	25,1592	23,90	1758,67	29,31	15,86511
4800	16,3	11,13184	32,6	22,26367	21,15	1871,35	31,19	19,11386
5103	17,2	12,48797	34,4	24,97595	23,73	1989,47	33,16	22,96685
5404	19,9	15,30053	39,8	30,60106	29,07	2106,82	35,11	27,27537
5707	25,9	21,03031	51,8	42,06062	39,96	2224,95	37,08	32,12538
6005	28,6	24,43526	57,2	48,87053	46,43	2341,13	39,02	37,42517
6302	30,4	27,25775	60,8	54,5155	51,79	2456,92	40,95	43,25735
6603	31,2	29,31122	62,4	58,62244	55,69	2574,27	42,90	49,75636
6900	31,3	30,7278	62,6	61,45559	58,38	2690,06	44,83	56,77694



Наложенная винтовая характеристика (потребная винтовая мощность в л.с.), на ВСХ двухцилиндрового двигателя (1 модуль двигателя АД-800). N ред - мощность двигателя в л.с., с учетом механических потерь на трансмиссию (редукция 2,55) N винт - потребная винтовая мощность в л.с.

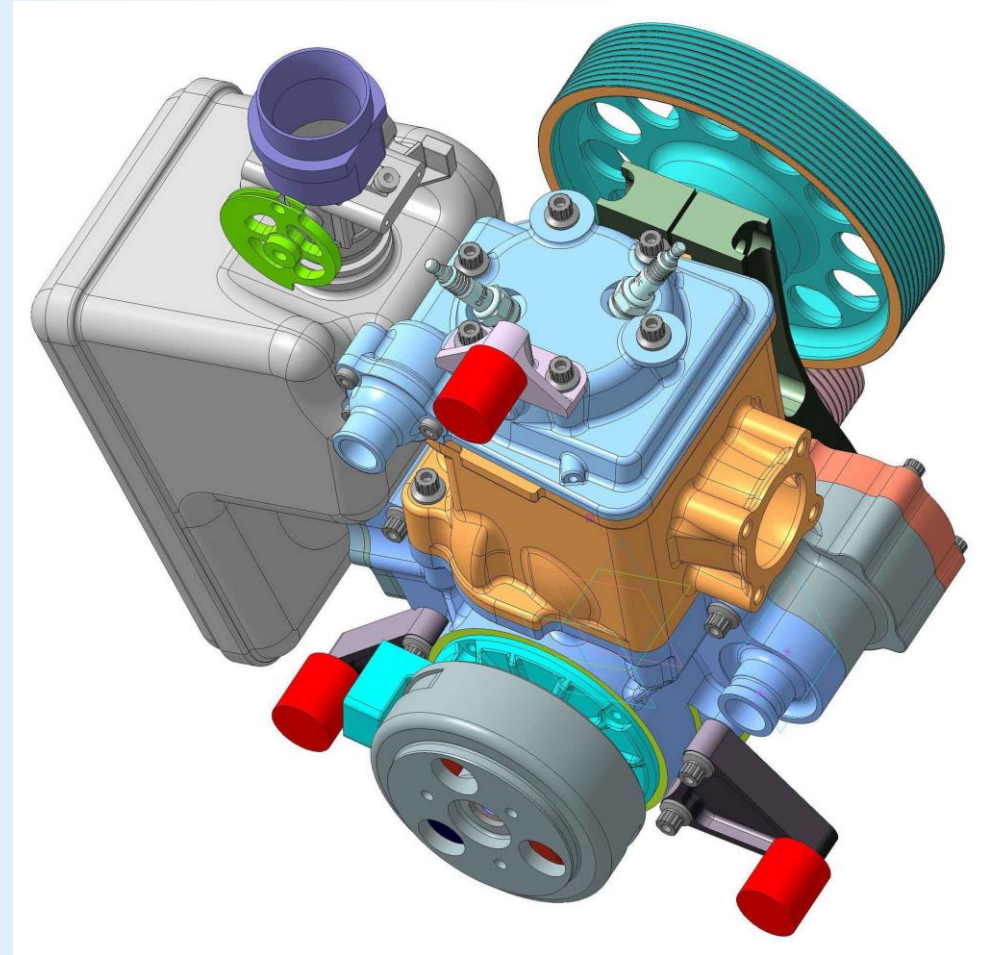
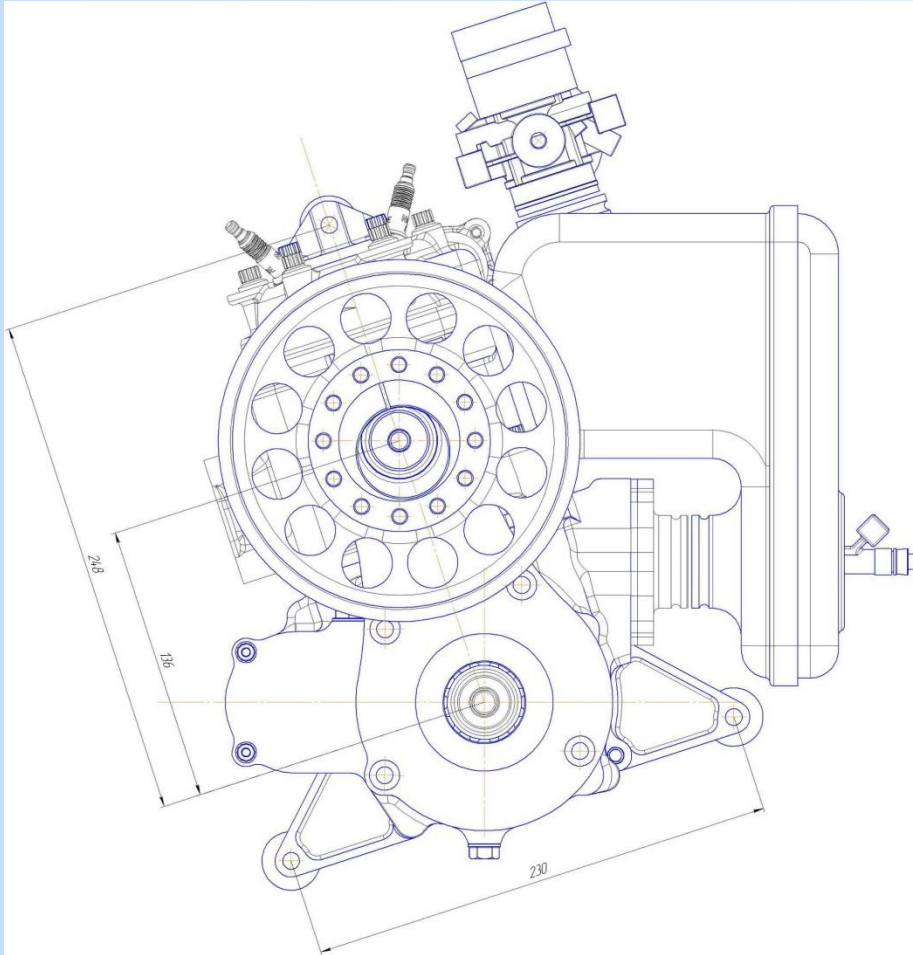
Семейство двухтактных двигателей АПД

Двигатель АПД-200



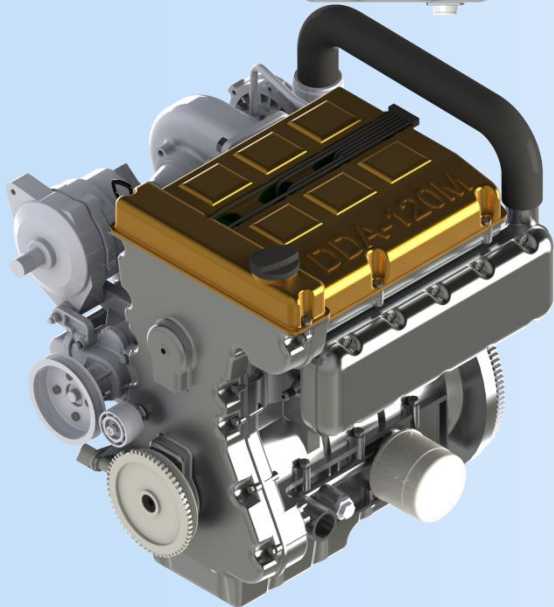
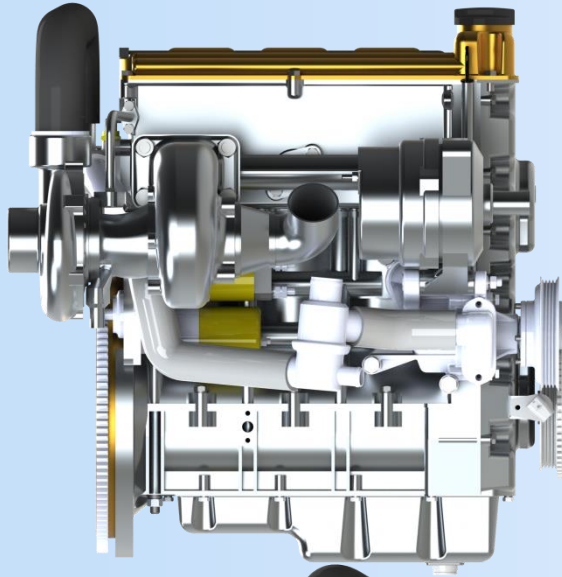
Семейство двухтактных двигателей АПД

Двигатель АПД-200, ранцевое исполнение



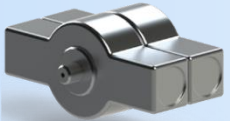
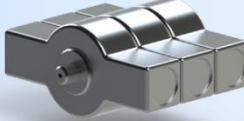
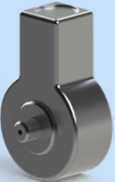
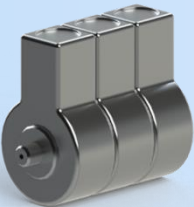
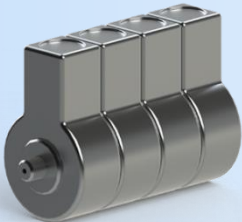
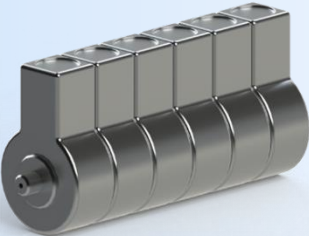
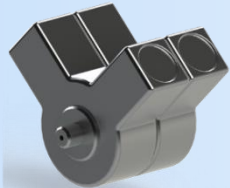
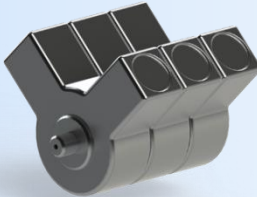
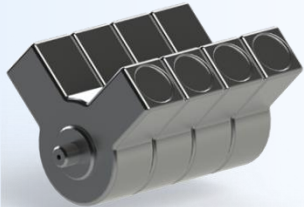
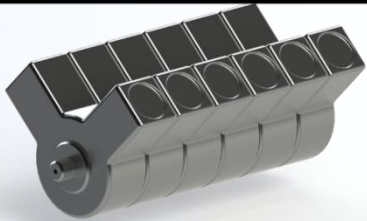
Семейство четырехтактных двигателей ДДА

Двигатель ДДА-120, четырехцилиндровый, проектируется совместно с ООО ДДА

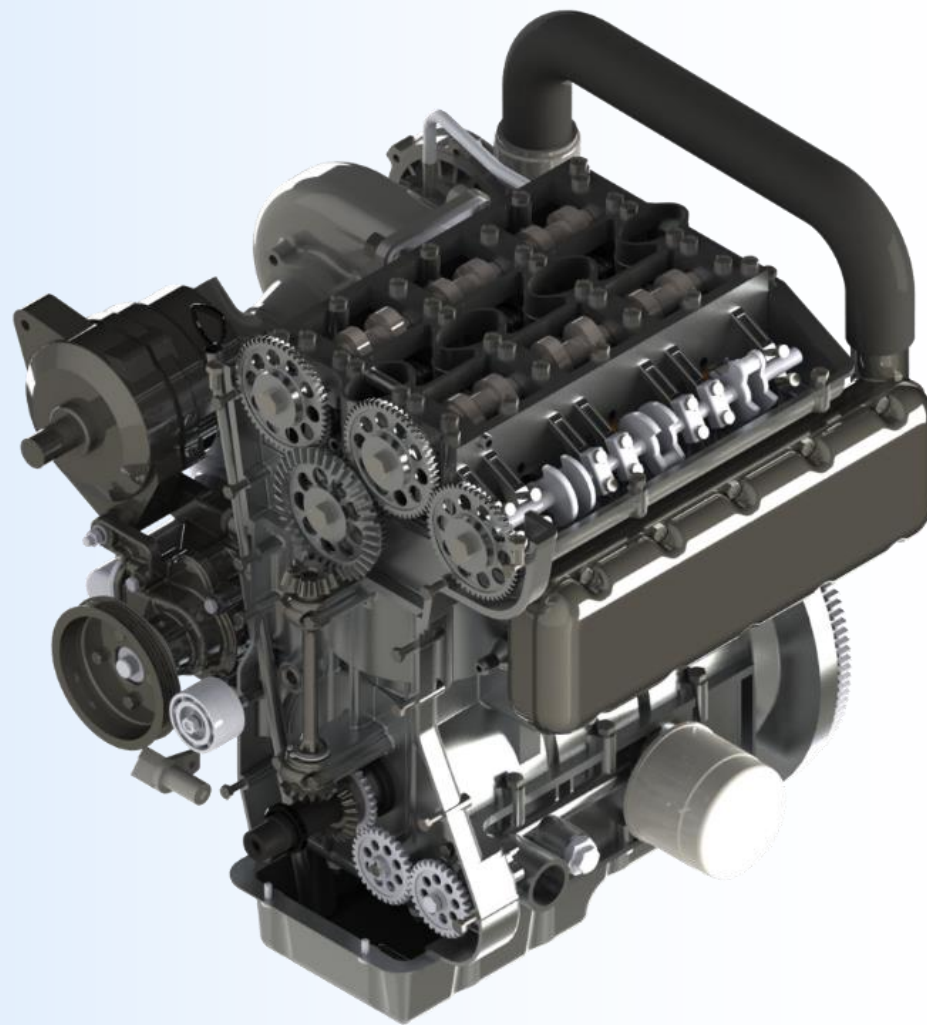
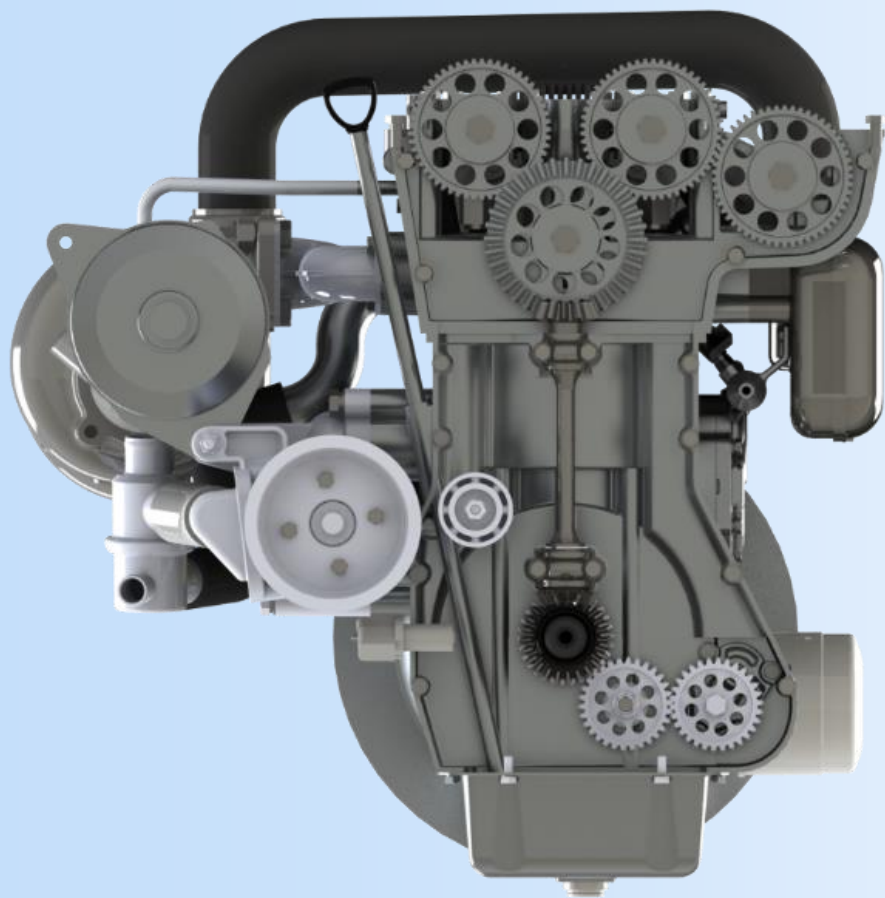


Объем двигателя, см ³	1200
Количество цилиндр	3 (рядное)
Отношение ход/диаметр	$68/86 = 0,79$
Геометрическая степень сжатия	9,2
Максимальная частота вращения, 1/мин	6000
Мощность при максимальной частоте вращения, кВт (л.с)	89,7 (121,8)
Часовой расход топлива максимальный, л/ч	28
Размеры с учетом навесных агрегатов, мм	590x580x580
Масса, кг	80
Топливо	авиационный керосин (дизельное топливо, бензин, этанол)

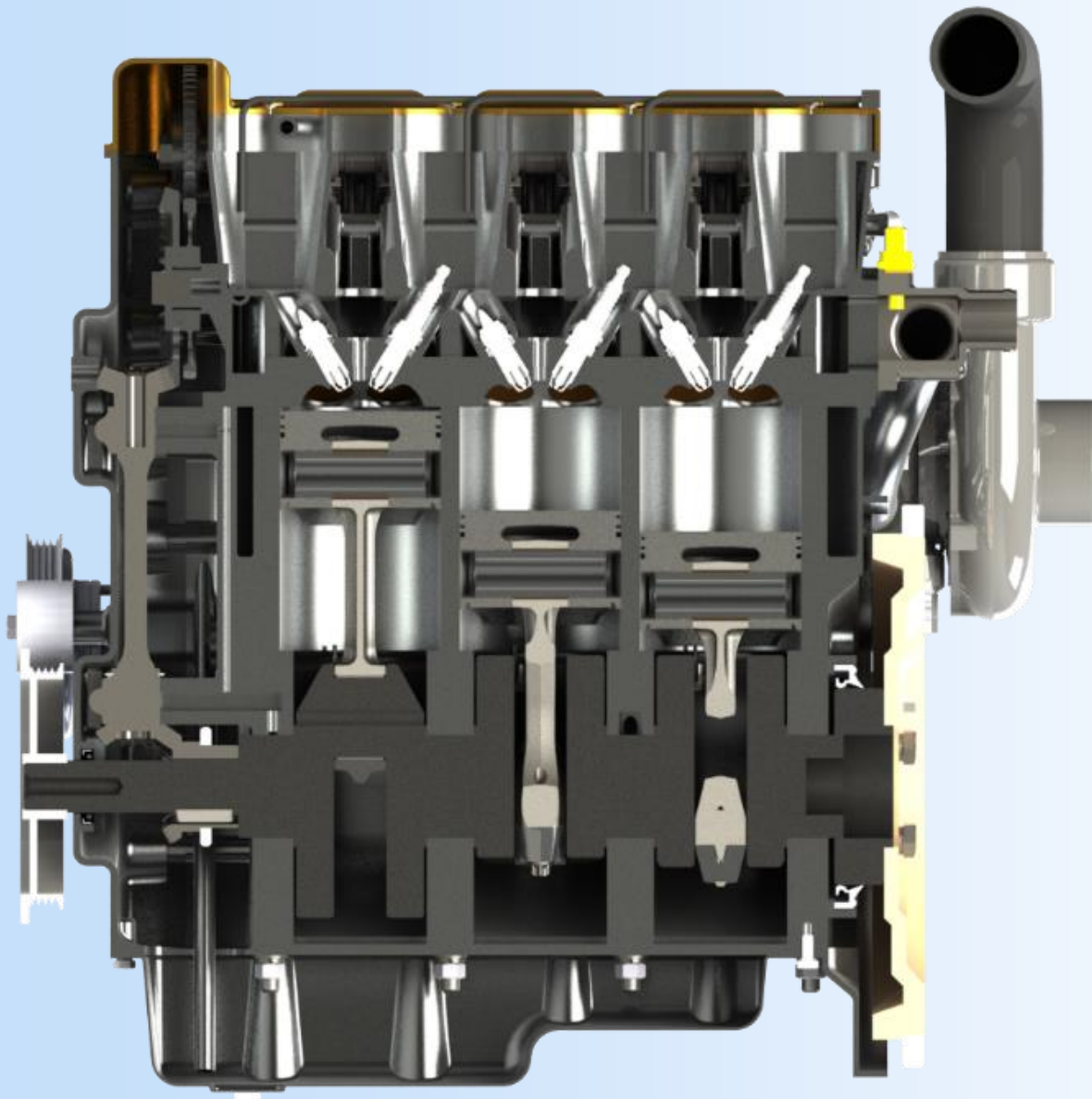
Семейство четырехтактных двигателей ДДА

Схема	40 л.с.	120 л.с.	160 л.с.	240 л.с.	320 л.с.	480 л.с.
Опозитная	-	-			-	-
Рядная					-	-
V-образная	-	-				

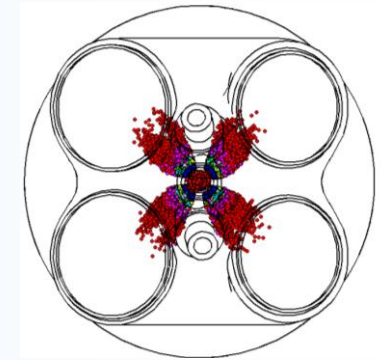
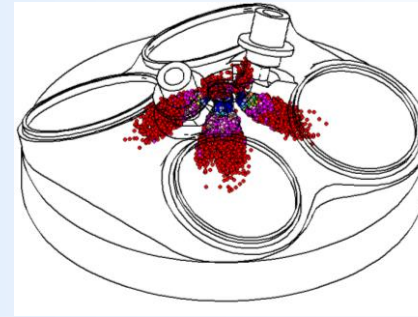
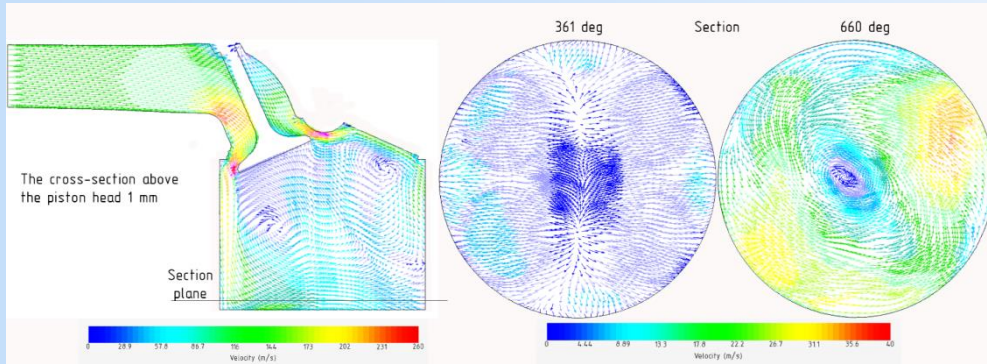
Двигатель ДДА-120



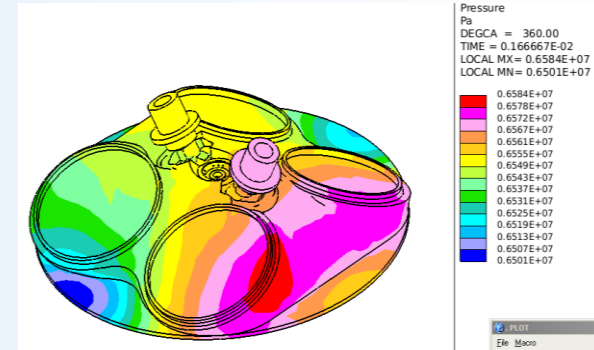
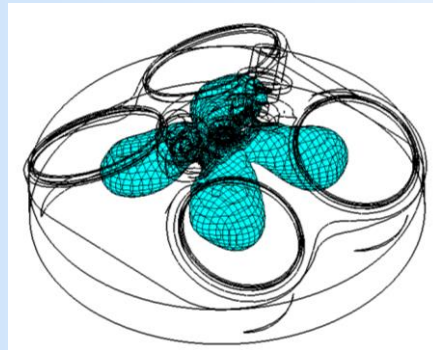
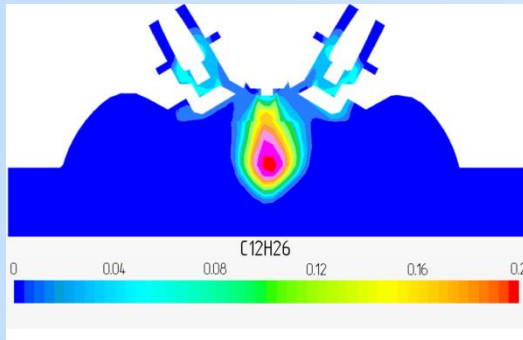
Двигатель ДДА-120



Двигатель ДДА-120



Поля скоростей в режиме холодной прокрутки Распространение капель в камере сгорания



Концентрация (изоповерхность) топлива

Поля давлений и температур в ВМТ

	Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч)	Среднее эффективное давление p_e , МПа	Среднее индикаторное давление p_i , МПа	Степень сжатия ϵ
Базовый дизель Yanmar L100	259	0,64	0,8	19,3
Модифицированный двигатель Yanmar L100 с предлагаемым рабочим процессом	263	0,63	0,8	13,5

Технология микродугового оксидирования

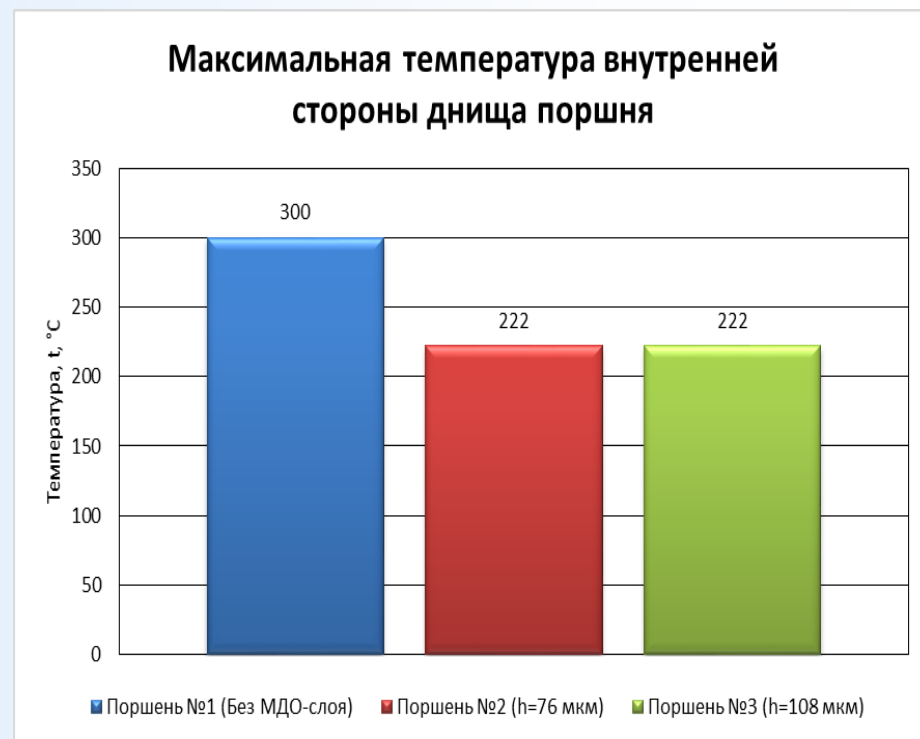
Результаты моторных испытаний поршней



Рис. 1. Поршень №3 с термоиндикаторами до и после испытаний: а – внутренняя поверхность поршня до испытаний; б – внутренняя поверхность поршня после испытаний



Рис. 2. Поршень № 3 (с МДО-слоем) в цилиндре двигателя после испытаний



На базе нового рабочего процесса создаются семейства двухтактных и четырехтактных двигателей нового поколения как авиационного, так и иного применения.