

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

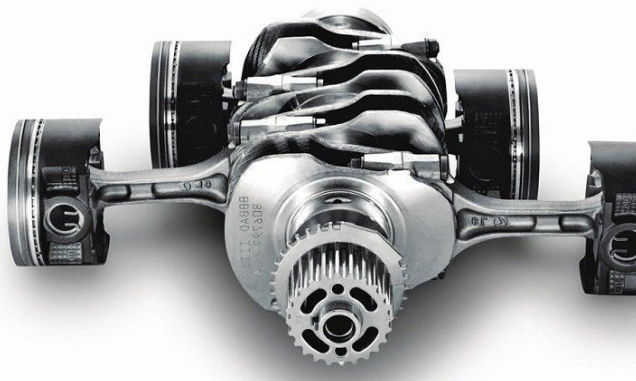


IX ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
«АВИАЦИЯ В XXI ВЕКЕ»
22-24 сентября 2020 г.

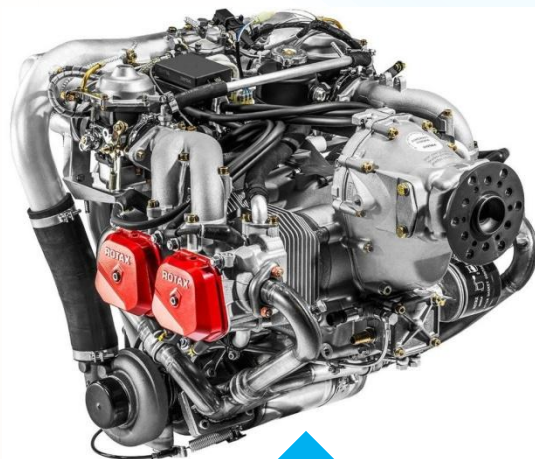


Основные особенности конструкции двигателей в авиации общего назначения

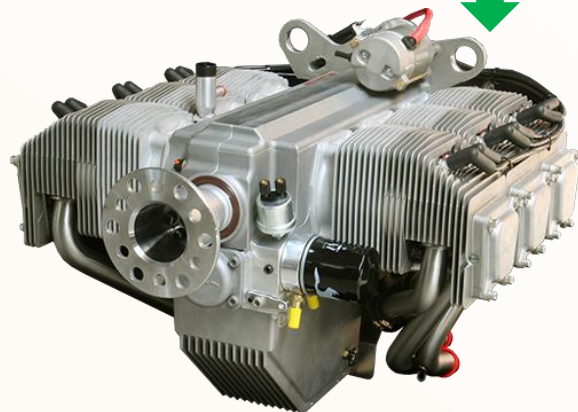
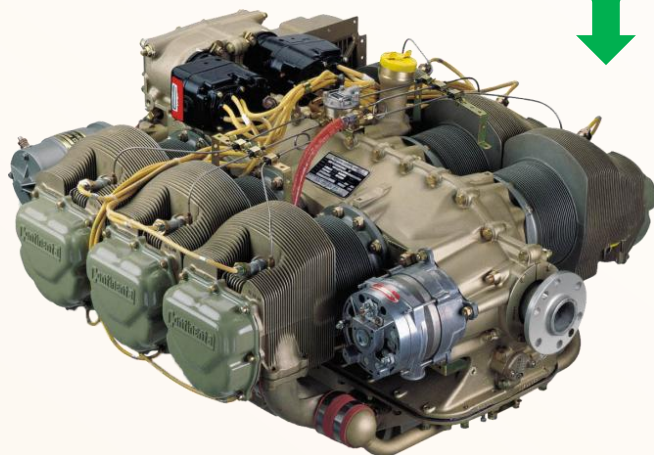
- ❖ поршневой ДВС, оппозитная схема, OHV
- ❖ воздушного охлаждения, с электронным впрыском топлива, наиболее мощные – с турбонаддувом,
- ❖ легкие алюминиевые или магниевые корпусные детали,
- ❖ число цилиндров 4-8 (ограничение абсолютных размеров для подавления детонации при высокой удельной мощности),
- ❖ низкая частота вращения (необходимость согласования двигателя с воздушным винтом, ограничение массы и повышение надежности редуктора),
- ❖ чрезвычайно нагруженная конструкция деталей,
- ❖ высокоточная обработка и дорогостоящие качественные материалы (с целью обеспечения большого ресурса при высокой удельной мощности).



Основные производители поршневых двигателей для авиации общего назначения - диапазон мощностей 50-400 л.с.



Марка	Lycoming	Continental	Rotax	Jabiru	ULPower	Limbach
Мощн. л.с.	110-400	50-230	65-141	80-120	100-200	60-160
об/мин	2500-2800	2000-2700	5800	3300	3300	3000-3600
Разработка	с 1930	с 1930	с 1975	с 1995	с 2006	с 1970
Доля рынка %	40-50	18-20	9-10	?	?	?



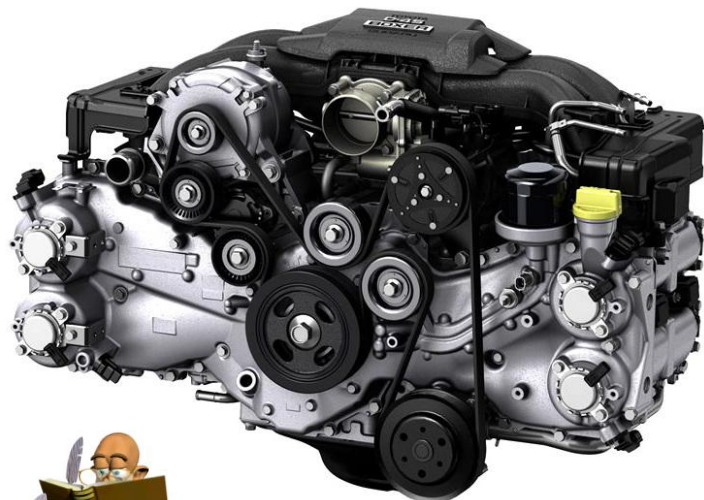
Постановка задачи исследования

Некоторые тенденции в авиации общего назначения:

- ❑ сравнительно низкая стоимость летательного аппарата в опытном производстве,
- ❑ противоречие с высокой ценой серийных авиационных поршневых двигателей и их обслуживания,
- ❑ технические и организационные сложности обслуживания серийных двигателей.

Желание некоторых разработчиков летательных аппаратов найти более дешевую альтернативу серийным авиационным двигателям.

Применение автомобильных ДВС в авиации общего назначения как возможная альтернатива и способ сэкономить.



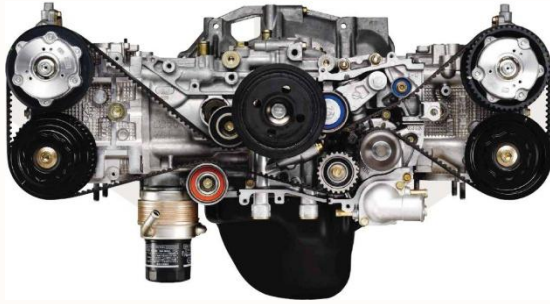
Основная трудность:

- несмотря на многочисленные попытки применения автомобильных ДВС в авиации, в настоящее время не создано единых **методик их адаптации** и не выработано универсальных рекомендаций по ее проведению.

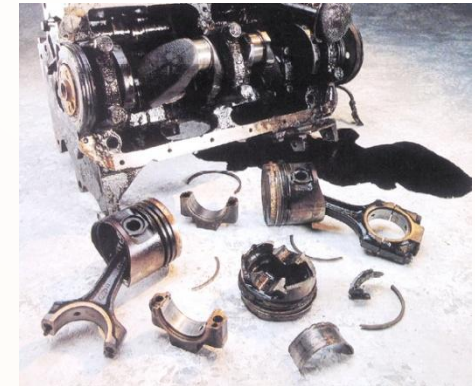
Цель работы:

- анализ особенностей и перспектив применения автомобильных ДВС в авиации, получение данных по влиянию различий в условиях эксплуатации и рабочих режимах, критических узлах и системах на надежность автомобильного двигателя, адаптируемого к авиационному применению.

Основные конструктивные решения, обеспечивающие надежность авиационных ДВС



- 1) **привод газораспределительного механизма** — от него требуется высокая надежность, что обеспечивается только шестеренным механизмом,
- 2) **поршневая группа** — должна локализовывать повреждения и исключать полный отказ двигателя из-за повреждений в отдельных цилиндрах, что достигается использованием специальных пластичных материалов,
- 3) **система смазки** — должна решать задачу бесперебойной подачи масла к трущимся парам в условиях эволюций ЛА. Например, таким требованиям удовлетворяет система смазки с маслобаком и сухим картером, практически не встречающаяся в серийных автомобильных конструкциях,
- 4) **система управления двигателем** — в современной авиации это электронная система с высокой помехозащищенностью и дублированием функций (в том числе, с двумя параллельно работающими свечами зажигания).



Сравнение технических требований к ДВС для авиационного и автомобильного применения



Применение	Наиболее важные	Умеренно важные	Менее важные
Авто транспорт	- Высокая надежность, - экономия топлива, - низкие вредные выбросы, - низкий уровень шума и вибрации, - гибкость - работа в широком диапазоне оборотов и нагрузок), - низкая стоимость, - низкие эксплуатационные расходы	- малая масса - высокая частота вращения	- долговечность
Авиация	- малая удельная масса, - высокая надежность, - экономия топлива (низкий удельный расход топлива), - низкая частота вращения (прямой привод винта), - однорежимность - работа в узком диапазоне оборотов двигателя	- низкие вибрации, - низкие эксплуатационные расходы, - долговечность	- низкая стоимость, - низкий шум, - низкие вредные выбросы



- ❖ Разные технические требования соответствуют совершенно разным двигателям.
- ❖ Некоторые требования для автотранспорта противоречат авиационным.
- ❖ В общем случае **прямое использование автомобильных ДВС в авиации невозможно** – требуется адаптация.

Степень риска (последствия) и вероятность отказа



Критичность последствий	Последствия отказа	Значение
Катастрофическая	Оборудование уничтожено Многочисленные жертвы	A
Опасная	Значительное снижение запаса прочности, Физический стресс или высокая рабочая нагрузка, когда операторы не могут точно или полностью выполнять свои задачи Серьезная травма Повреждения основного оборудования	B
Основная	Значительное снижение пределов безопасности, снижение способности операторов справляться с неблагоприятными условиями эксплуатации в результате увеличения рабочей нагрузки или в результате условий, снижающих их эффективность Серьезный инцидент, травмирование людей	C
Малая	Досада Использование экстренных процедур Эксплуатационные ограничения Незначительный инцидент	D
Незначительная	Малые последствия	E

Вероятность отказа	Характер отказа	Знач.
Высокая	Вероятно, произойдет много раз (происходит часто)	5
Случайное событие	Иногда случается (произошел случайно)	4
Незначительная вероятность	Маловероятно, но возможно (встречается редко)	3
Невероятное событие	Очень маловероятно (неизвестно, как это произошло)	2
Чрезвычайно невероятное событие	Почти невероятно, что этот отказ произошел	1

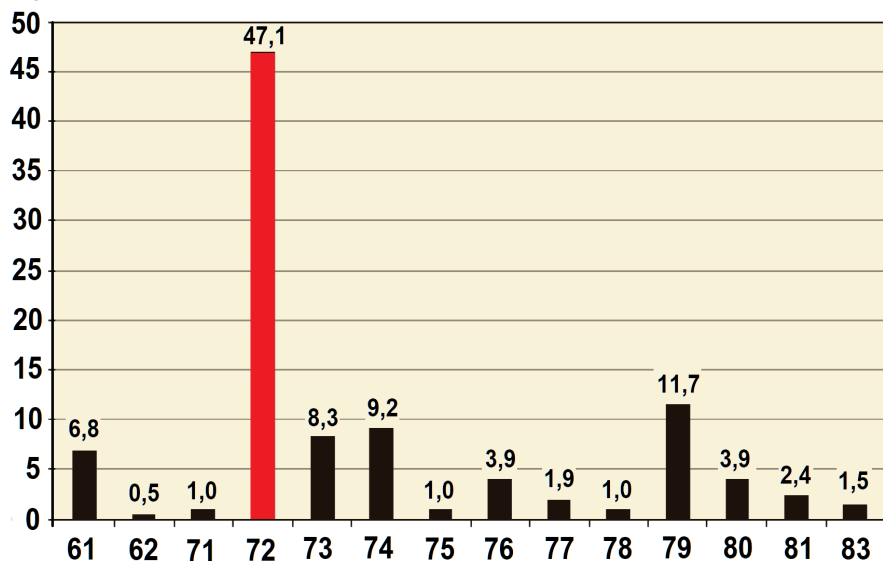
Вероятность отказа	Последствия отказа				
	A	B	C	D	E
5	5A	5B	5C	5D	5E
4	4A	4B	4C	4D	4E
3	3A	3B	3C	3D	3E
2	2A	2B	2C	2D	2E
1	1A	1B	1C	1D	1E

Системные коды ATA 100 (Air Transport Association)



Частота отказов поршневых двигателей в процентах, распределенная по ATA Chapter

Вероятность отказа, %



Около 95% самолетов с поршневыми двигателями представляют собой одномоторные самолеты, поэтому каждый отказ является не только угрозой безопасности для летного экипажа, но и для людей на земле.

Power Plant & Propeller/Rotor

ATA Number	ATA Chapter name	Index
ATA 61	Propellers/ Propulsors	3C
ATA 62	Main Rotor (S)	1D
ATA 71	Power Plant	1C
ATA 72	Engine - Reciprocating	5B
ATA 73	Engine - Fuel And Control	4C
ATA 74	Ignition	4B
ATA 75	Bleed Air	1E
ATA 76	Engine Controls	2C
ATA 77	Engine Indicating	1C
ATA 78	Exhaust	1E
ATA 79	Oil	4B
ATA 80	Starting	2D
ATA 81	Turbines (Reciprocating Engines)	1E
ATA 83	Accessory Gear Box (Engine Driven)	1D

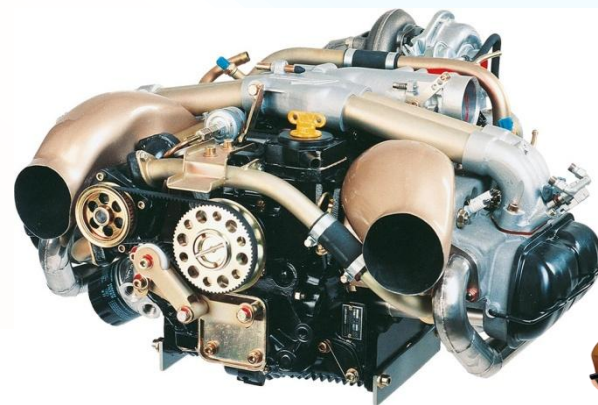
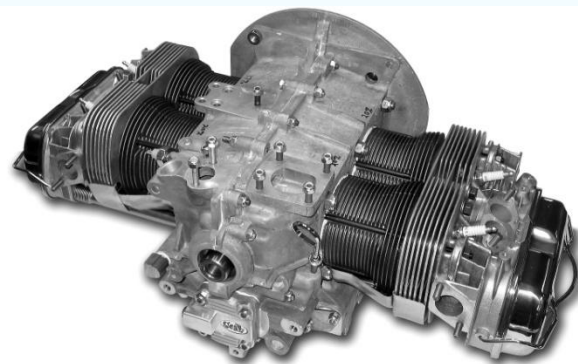
Практический опыт использования автомобильных ДВС в авиации

2 подхода к адаптации:

- 1) **авиационные ДВС**, специально разработанные на базе автомобильных,
- 2) **автомобильные ДВС**, тем или иным способом адаптированные к авиационному применению.

Авиационные двигатели

- а) Limbach - на базе старого автомобильного оппозитного 4-цилиндрового двигателя VW путем его глубокой модернизации,
- б) 6-цилиндровый авиадвигатель Porsche,
- в) дизели Thielert (Technify/Continental) на базе Mercedes,
- г) дизели Austro Engine на базе Stayer.



Некоторые примеры установки автомобильных двигателей на летательные аппараты

Европа: Subaru EJ25

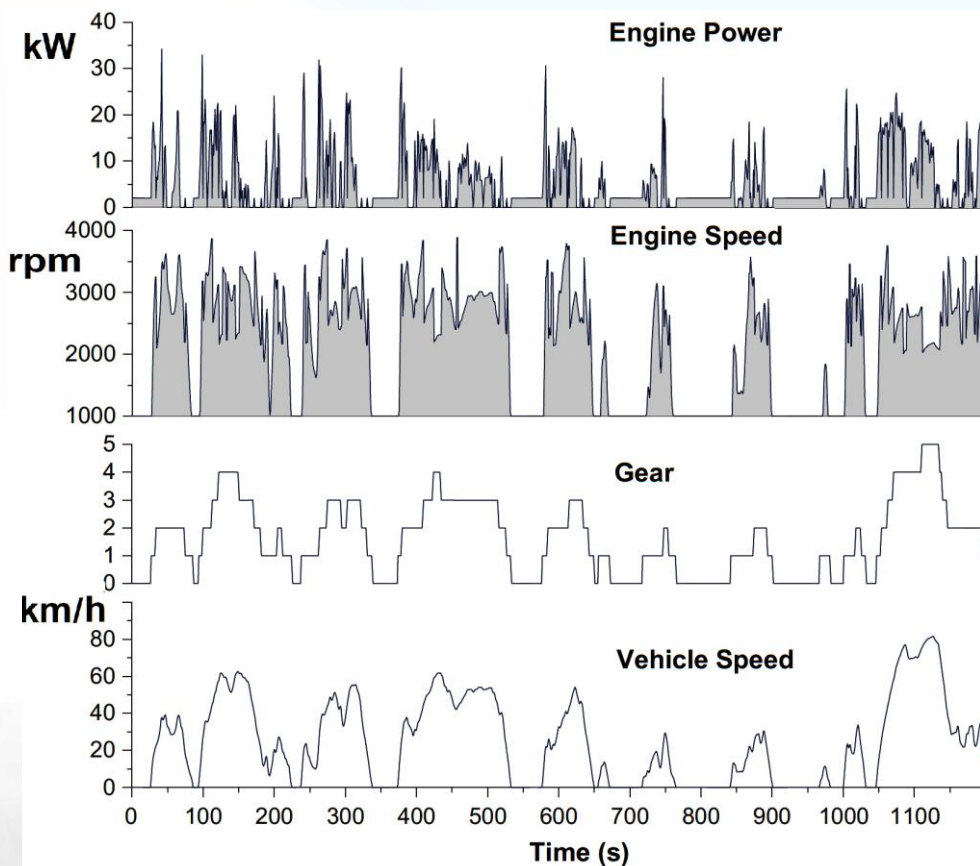
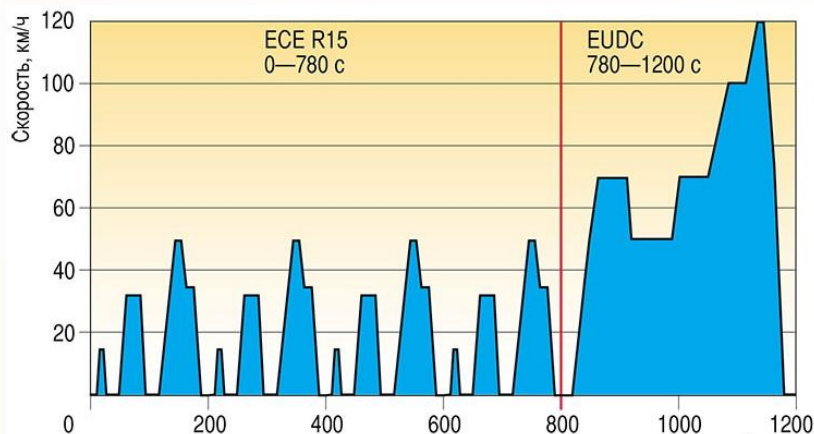


Америка: Chevrolet LS



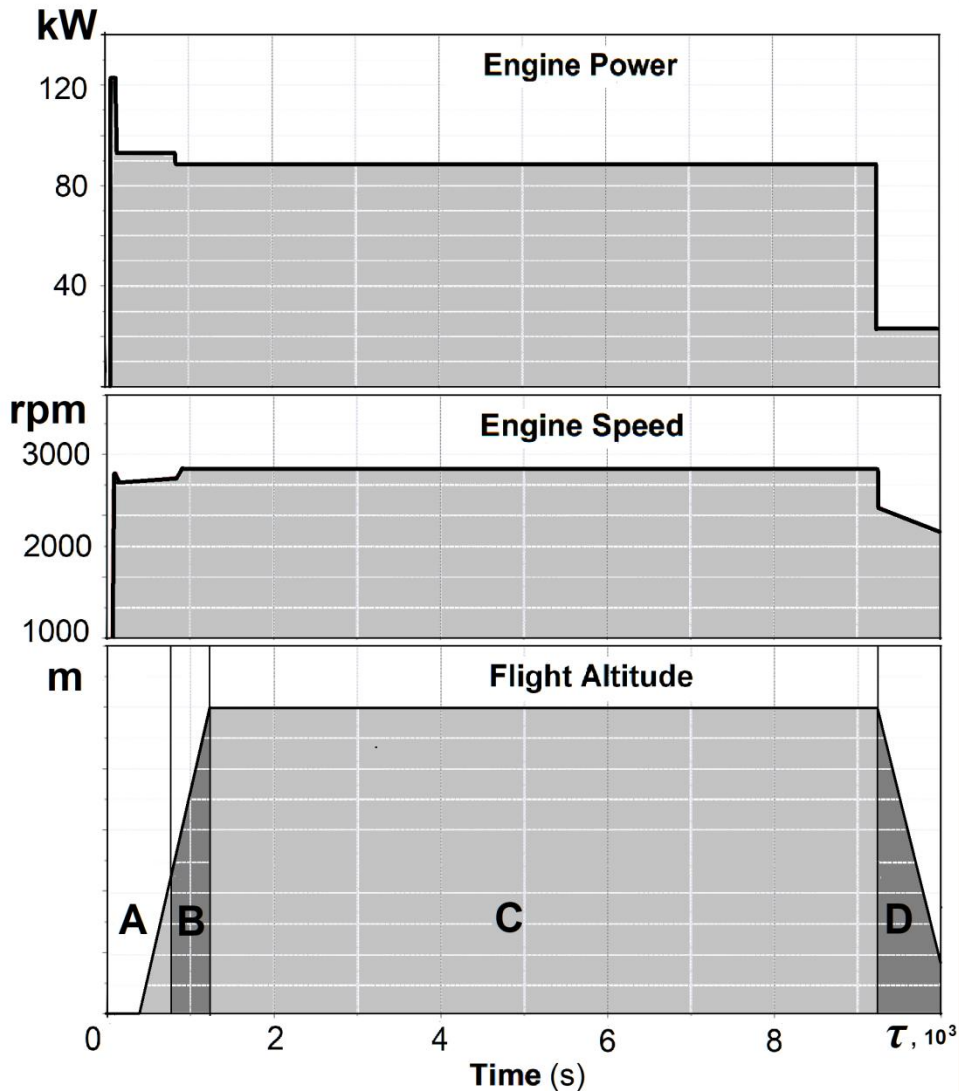
Оценка ресурса автомобильного ДВС при работе в составе авиационной силовой установки

Стандартные ездовые циклы EUDC, применяемые для испытаний на топливную экономичность и выбросы вредных веществ

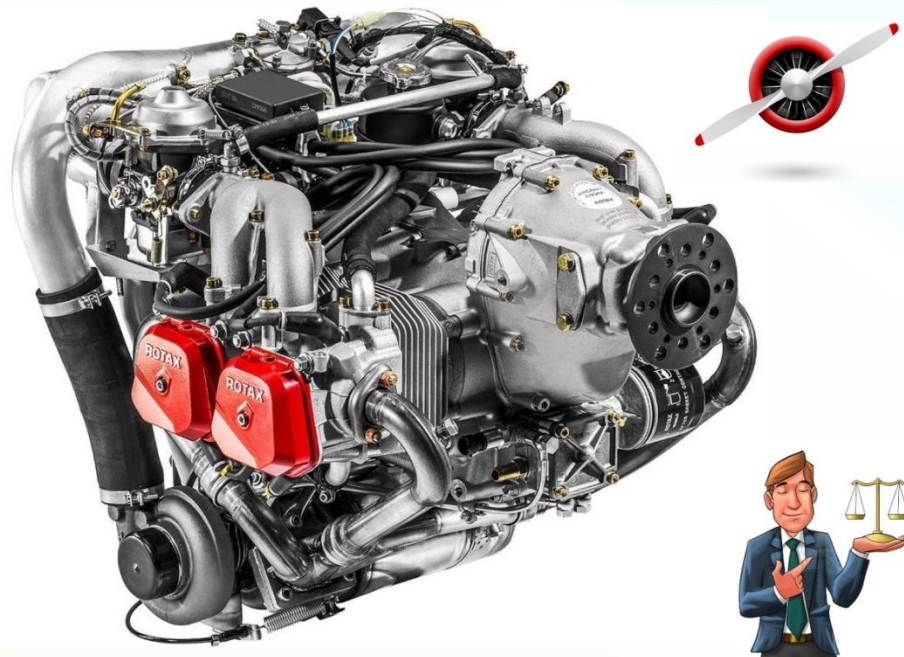
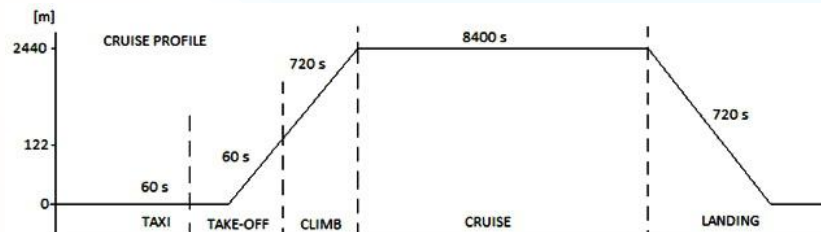


- двигатель на автомобиле работает в среднем на низких частотах вращения и на пониженных нагрузках.

Оценка ресурса автомобильного ДВС при работе в составе авиационной силовой установки



Профиль полета летательного аппарата значительно отличается от ездового цикла автомобиля.



Главная особенность авиационного применения двигателя - длительная работа на режиме номинальной мощности.

Оценка ресурса автомобильного ДВС при работе в составе авиационной силовой установки

Средние за выбранный цикл работы значения частоты вращения и нагрузки



Автомобильный двигатель:

1. Обычный ресурс приближается к 100.000 км пробега автомобиля (при условии равенства ресурса срока гарантии автомобиля).
2. Средняя за цикл испытаний скорость автомобиля - 33 км/час, что соответствует ресурсу приблизительно **3.000 часов** работы.
3. Средняя за цикл частота вращения 2160 об/мин или 33% от максимальной частоты вращения 6500 об/мин.
4. Средняя за цикл нагрузка - 38% от максимальной.

Авиационный двигатель:

1. Обычный ресурс авиационного поршневого двигателя (TBO – Time Between Overhaul) – **1800-2000 часов**.
2. Средний за цикл режим работы двигателя по частоте вращения – более 80% от максимального режима.
3. Средняя нагрузка за цикл - более 62% от максимального режима.

$$n_m, M_m = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \int_{\tau_1}^{\tau_2} n, M d\tau$$

n - частота вращения,
 M - крутящий момент,
 τ - текущее время работы

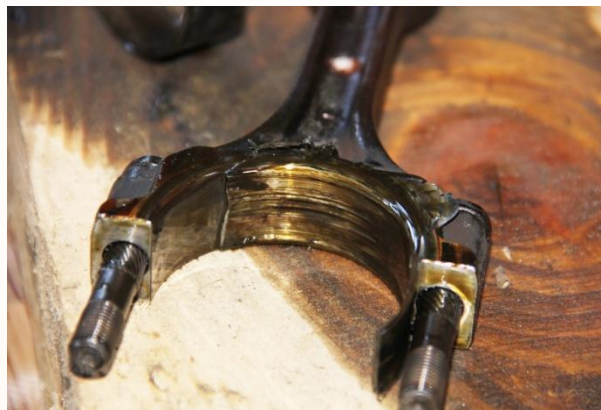
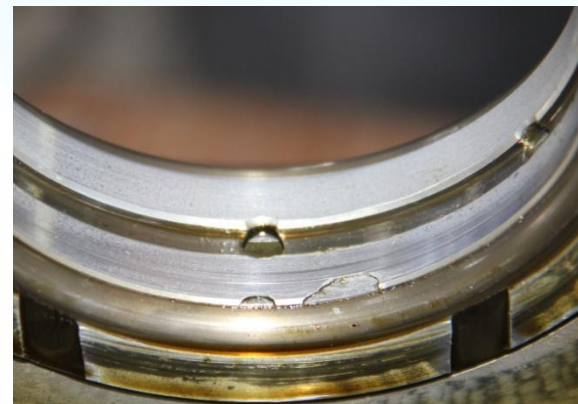
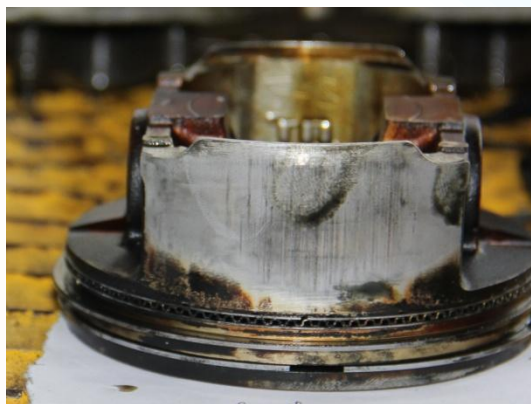
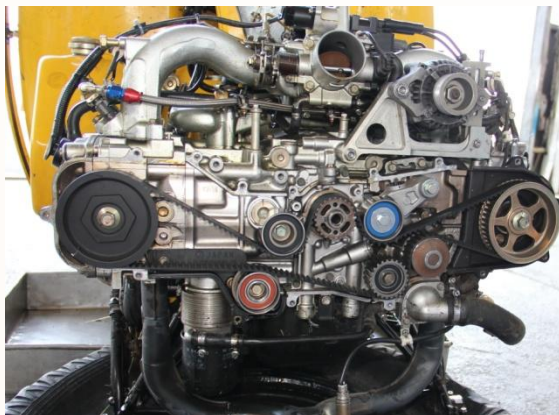


Авиационные условия работы автомобильного ДВС = спортивным, где ресурс обычно составляет не более 10-15% от номинального.

TBO 2000 часов эквивалентно ресурсу 7-10 автомобильных двигателей.

Типичные последствия необоснованного применения автомобильного ДВС в составе авиационной силовой установки

Subaru EJ25 – наработка 1000 часов на вертолете



- ❑ тотальный износ при наработке, в 3-5 раз большей реального ресурса,
- ❑ подтверждено несоответствие автомобильного ДВС авиационным требованиям по локализации повреждений – остановка в воздухе из-за разрушений в одном из цилиндров привела к летному происшествию.



Выводы



1. Современные автомобильные ДВС, несмотря на их техническое совершенство, не могут быть использованы в авиации, поскольку не соответствуют авиационным условиям эксплуатации. В то же время, адаптация автомобильных ДВС к авиационному применению возможна, но требует таких значительных изменений конструкции, что делает их единичное использование, как правило, технически нецелесообразным и экономически неэффективным.
2. В связи с тем, что экономия на авиационном двигателе неприемлема с точки зрения безопасности полетов, авиационное применение автомобильных двигателей без специальной модернизации несет чрезмерные риски отказов и их последствий. Вследствие чего выпускаемые серийные авиационные двигатели Lycoming, Continental, Jabiru, ULPower, Rotax, Limbach и другие фактически не имеют альтернативы в авиации общего назначения.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



С.А.Дмитриев, д.т.н., профессор

А.Э.Хрулев, к.т.н., с.н.с.

**Национальный авиационный
университет**

