

# ПОКОЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГТД

## Первое поколение

Первые экспериментальные газотурбинные двигатели (ГТД) появились в конце 1930-х годов. Первое поколение таких двигателей эксперты относят к 1940-1950 годам. Это были относительно простые по схемному решению моторы с одновальными центробежными и осевыми компрессорами и неохлаждаемыми турбинами.

В качестве конструкционных материалов использовалось то, что применялось в поршневых двигателях: сталь, алюминиевые и магниевые сплавы.

## Основные особенности

- Тип – ТРД(Ф)
- Компрессор одновальный центробежный или осевой  $\pi_k = 3...5$
- Турбина неохлаждаемая  $T_T = 1000...1150\text{K}$

# ТРД ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ

- РД-10 (Юмо-004) с тягой 920 кгс — выпускался в Уфе в 1946...49 гг. для истребителей Як-15, — 17, — 19; Ла-150, — 152, — 156; Су-9;
- РД-20 (BMW-003) с тягой 800 кгс — выпускался в Казани в 1945...54 гг. для истребителей МиГ-9, И-300, И-301Т;
- РД-500 (Дервент V) с тягой 1590 кгс — выпускался в Москве на заводе № 500 (ММП им. Чернышева) в 1947...50 гг. и в Запорожье в 1956 г. для самолетов Ла-15, Як-23, Су-13, Ла-180, Ту-14;
- РД-45 и РД-45Ф (Нин-1 и Нин-2) с тягами 2040 и 2270 кгс — выпускались в Уфе в 1947.55 г. и в Запорожье в 1953.58 гг. для самолетов МиГ-15, Су-15, Ла-168, — 176, И-20 (КБ Микояна).

В один и тот же день, 27 апреля 1946 г. совершили первые полеты реактивные истребители Як-15 и МиГ-9. В конце 1947 г. первый полет совершил знаменитый истребитель МиГ-15 с двигателем РД-45Ф.

В 1949 году под руководством В.Я. Климова на базе двигателей Нин-1 и Нин-2 создан ТРД ВК-1 с тягой 2700 кгс, а в 1951 г. — ТРДФ ВК-1Ф с тягой 3380 кгс.

Суммарный выпуск двигателей ВК-1 в период с 1949 по 1958 г. г. составил 20000 штук.

# ВТОРОЕ ПОКОЛЕНИЕ

## Основные особенности

- Тип – ТРД(Ф), ТВД
- Компрессор осевой одновальный или двухвальный  $\pi_k = 8 \dots 13$
- Турбина неохлаждаемая  $T_g = 1150 \dots 1250 \text{K}$

Второе поколение ГТД, развитие которого пришлось на 1950-1960 годы, было отмечено созданием большого количества экспериментальных двигателей. Однако по основным параметрам они принципиально не отличались от двигателей первого поколения. Правда, среди конструкционных материалов появились титан и новые жаропрочные сплавы. Появились двухкаскадные двигатели. В середине 1950-х годов создаются двигатели второго поколения. Из них наиболее выдающиеся ТРД и ТРДФ —

Советские

РД-9Б, АЛ-7Ф, Р11-300, РД-3М, ВД-7, ТВД — НК-12, АИ-20.

Зарубежные

J-57, J-75, J-79, Эвон, Олимп

# ТРЕТЬЕ ПОКОЛЕНИЕ

## Основные особенности

- Тип – ТРДД ( $m=0,3...2$ )
- ТРД(Д)Ф ( $m=0,7...1$ )
- Компрессор осевой двухвальный

$$\pi_k = 14...20$$

- Турбина охлаждаемая  $T_g=1300...1450\text{K}$

Третье поколение авиационных ГТД появилось в 1960-е годы.

Это уже был существенный шаг в реактивном двигателестроении. Были созданы и внедрены двухконтурные турбореактивные двигатели, которые в отличие от одноконтурных получили название ТРДД. Эти двигатели позволили повысить КПД, улучшить экономические показатели, снизить уровень шума.

Впервые было применено внутреннее конвективное воздушное охлаждение лопаток турбины, что позволило значительно поднять максимальную температуру газа перед турбиной.

В 1960-е и в начале 1970-х годов в эксплуатации появляются ТРДД — это Д-20П, Д-30, Д-30КУ/ КП, НК-8-4, НК-8-2У, НК-144 и высокопараметрические ТРДФ АЛ-21Ф и Р27, — 29-300.

Все эти двигатели относятся к двигателям с относительно высокими параметрами цикла  $\pi_{k\Sigma}^* = 12...20$ ,  $T^*CA = 1350...1430\text{K}$  и охлаждаемой турбиной.

Зарубежные JT8D, TF30

# ЧЕТВЕРТОЕ ПОКОЛЕНИЕ

## Основные особенности

- Тип – ТРДД ( $m=4\dots 6$ )
- ТРДДФ ( $m=0,5\dots 2,5$ )
- Компрессор двух- трехвальный  $\pi_k=20\dots 35$
- Турбина охлаждаемая  $T_g=1500\dots 1650\text{K}$

Создание четвертого поколения газотурбинных двигателей относят к 1970-1990 годам. В те годы значительно расширилась сфера применения ГТД. Кроме авиации такие моторы стали применять в наземной технике, а также в трубопроводных магистралях, различных энергетических системах и на водном транспорте.

Двухконтурные двигатели различных схем стали основными для разрабатываемых самолетов гражданской и военной авиации. В технологиях изготовления лопаток для турбин стали применяться совершенно революционные подходы выращивания монокристаллических лопаток. Степень повышения давления в компрессорах возросла в десятки раз, значительно снизился удельный расход топлива. Были внедрены композиционные материалы.

Характерной чертой разработок двигателей четвертого поколения стала тенденция к сокращению числа ступеней турбокомпрессорной группы для уменьшения затрат на производство и эксплуатацию, снижения веса двигателя. Были разработаны и внедрены технологии высокоперепадных одноступенчатых турбин газогенераторов.

# ДВИГАТЕЛИ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

## Советские

С середины 1970-х годов по 1990-е годы в СССР созданы ряд выдающихся двигателей четвертого поколения — первые двигатели с большой степенью двухконтурности

*гражданские* Д-36, Д-18, ПС-90А

*военные ТРДДФ* Д-30Ф6, НК-32, РД-33 и АЛ-31Ф,

Эти двигатели характеризуются высокими параметрами цикла:

$$\pi_{k\Sigma}^* = 20...37 \text{ и } T_{CA}^* = 1500...1670 \text{ К,}$$

освоением новых технологий и материалов.

## Зарубежные

*гражданские* RB 211, CF6

*военные* RB 199, F100, F101, F404

# ПЯТОЕ ПОКОЛЕНИЕ

Пятое поколение авиационных ГТД сложилось на рубеже тысячелетий - с 1995-х до 2005-го годов. В них максимальным образом были развиты конструктивные идеи четвертого поколения.

## Основные особенности

- Тип – ТРДД ( $m=6...8$ )
- ТРДДФ ( $m<1$ )
- Компрессор двух- трехвальный  $\pi_k=25...50$ , малое число ступеней
- Турбина охлаждаемая  $T_g=1850...1900K$

## Отечественные двигатели

ТРДД ПД14, ТВВД НК-93, Д-27 и ТРДДФ АЛ-41Ф.

## Зарубежные

GE90, F119, M88, EJ200

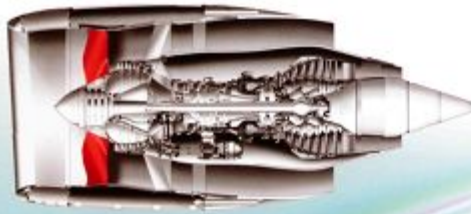
# ТРДД ПД-14

**В настоящее время в разработке находится высокоэкономичный отечественный базовый ТРДД ПД14 для среднемагистрального самолета МС-21.**

- Классическая двухвальная схема с высокой степенью двухконтурности.
- Газогенератор нового поколения с высокими параметрами и перспективными технологиями во всех узлах.
- Проектные решения позволяющие обеспечить оптимальную эксплуатационную технологичность.

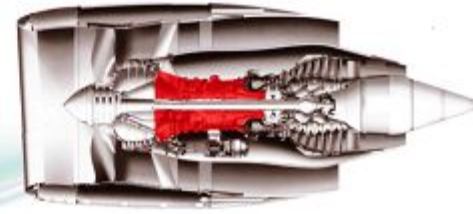
## Вентилятор

Широкохордные пустотелые титановые рабочие лопатки.



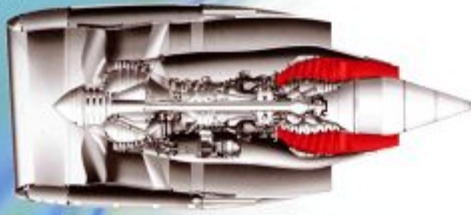
## Компрессор высокого давления

Высокое аэродинамическое совершенство, малое количество ступеней.



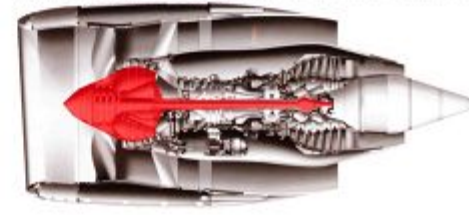
## ТНД

Пустотелые рабочие и сопловые лопатки; Корпуса и диски из титановых сплавов нового поколения.



## Промежуточный корпус и центр. привод

Литой из титанового сплава; зубчатые колёса конической передачи, изготовленные с высокой точностью.





# ТРДД ПД-14

- Классическая двухвальная схема с высокой степенью двухконтурности.
- Газогенератор нового поколения с высокими параметрами и перспективными технологиями во всех узлах.
- Проектные решения позволяющие обеспечить оптимальную эксплуатационную технологичность.

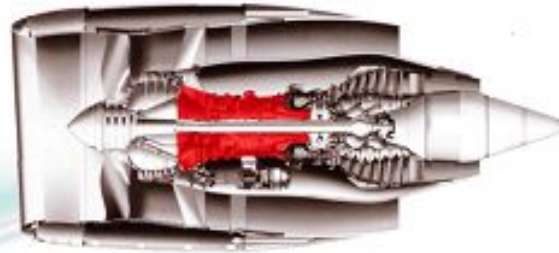
## Вентилятор

Широкохордные пустотелые титановые рабочие лопатки.



## Компрессор высокого давления

Высокое аэродинамическое совершенство, малое количество ступеней.



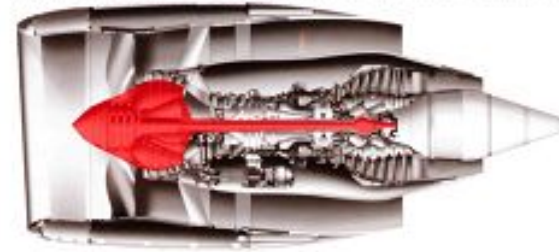
## ТНД

Пустотелые рабочие и сопловые лопатки; Корпуса и диски из титановых сплавов нового поколения.



## Промежуточный корпус и центр. привод

Литой из титанового сплава; зубчатые колёса конической передачи, изготовленные с высокой точностью.

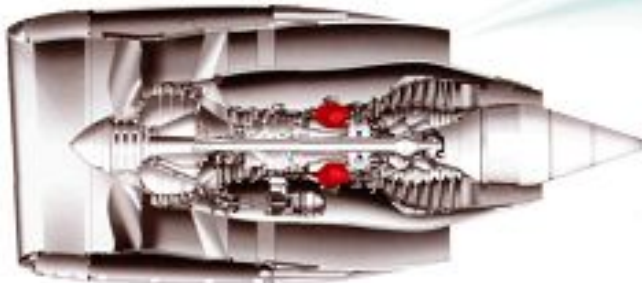


## Конструктивные особенности, обеспечивающие сохраняемость параметров:

- мероприятия, препятствующие попаданию посторонних предметов во внутренний контур двигателя;
- увеличенный ресурс деталей горячей части двигателя;
- активное управление радиальными зазорами;
- жесткие корпуса КВД и ТВД с двойной стенкой.

### Камера сгорания

Малоэмиссионное горение; керамическое теплозащитное покрытие; интерметаллидный сплав.



### ТВД

Керамические теплозащитные покрытия 2 поколения; сплавы нового поколения.



### Коробка приводных агрегатов

Корпус коробки без разъема из алюминиевого сплава; Зубчатые колеса, изготовленные с высокой точностью.



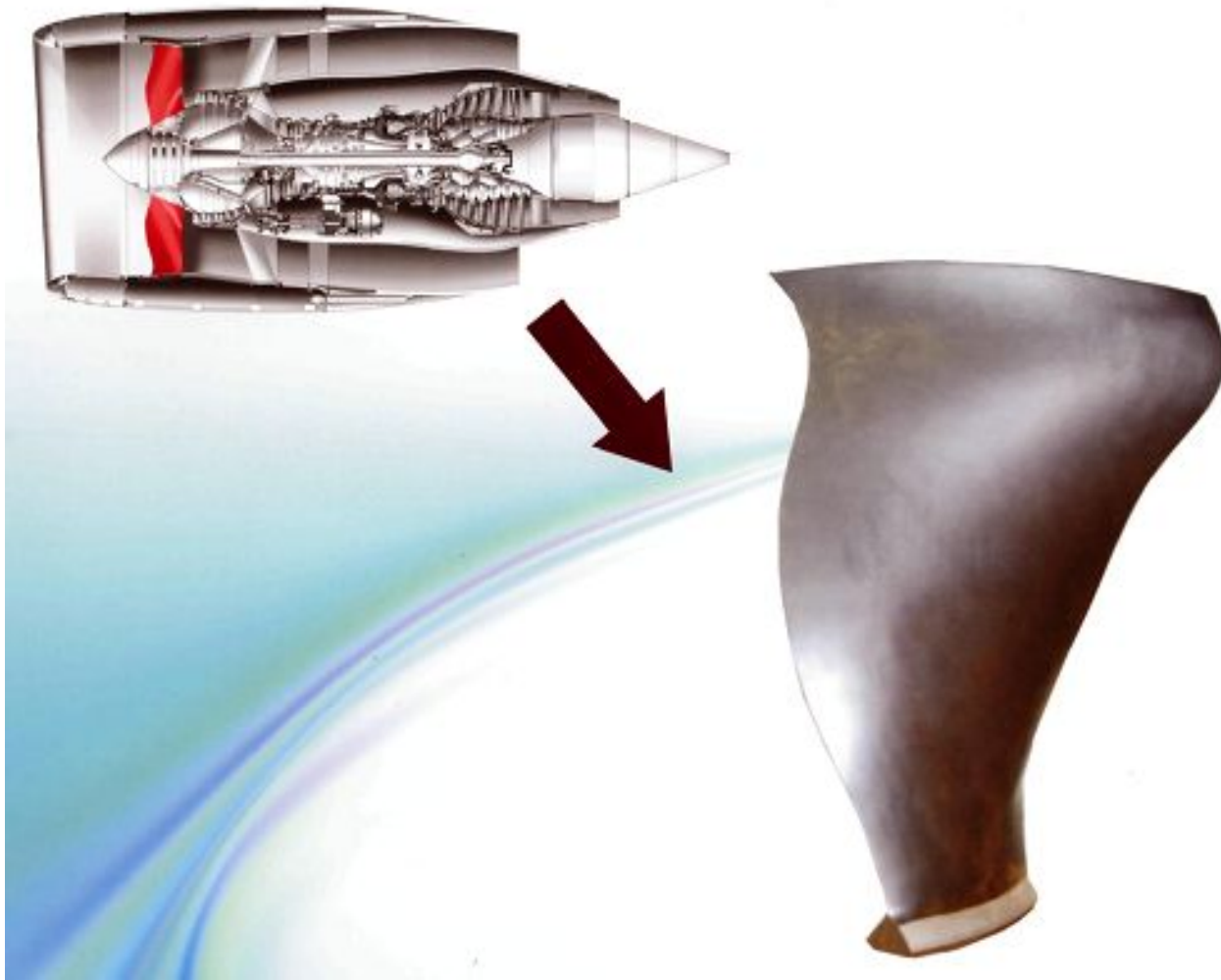
### Мотогондола

Широкое применение полимерных композиционных материалов; Реверсивное устройство решетчатого типа.



# Вентилятор

- Широкохордные пустотелые лопатки вентилятора.
- Оптимальный с точки зрения веса и прочности композитный корпус вентилятора.
- 3D аэродинамика течений.

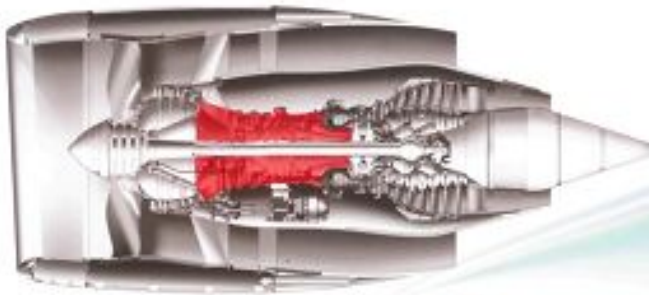




# Компрессор высокого давления



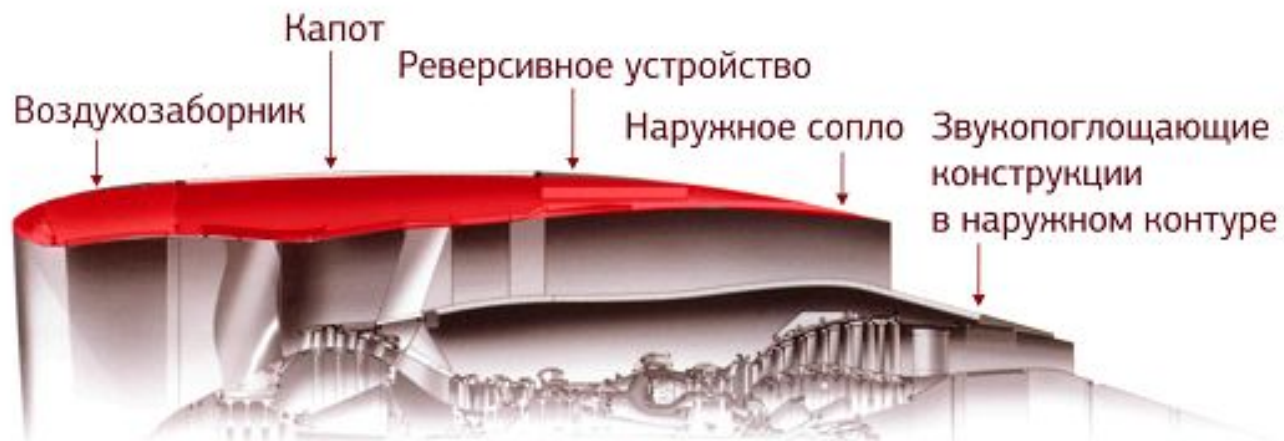
- Регулируемые ВНА и две ступени НА.
- Активная система управления радиальными зазорами.
- 8-ми ступенчатый КВД со степенью сжатия  $\pi=17$ .



# Мотогондола

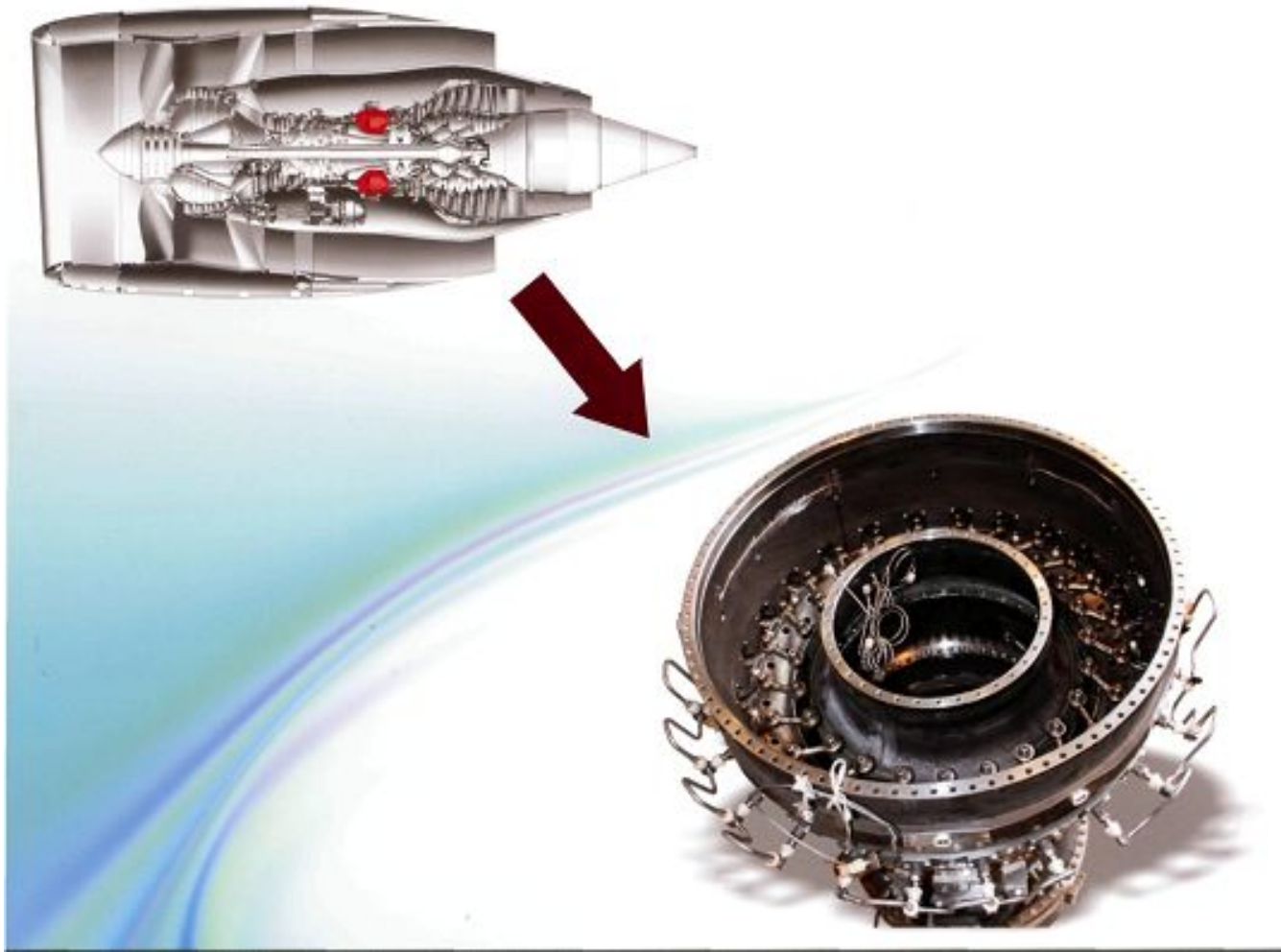


- Высокий уровень аэродинамического совершенства.
- Экономия массы за счет использования передовых композиционных материалов (65% от общей массы).
- Широкое применение звукопоглощающих конструкций.



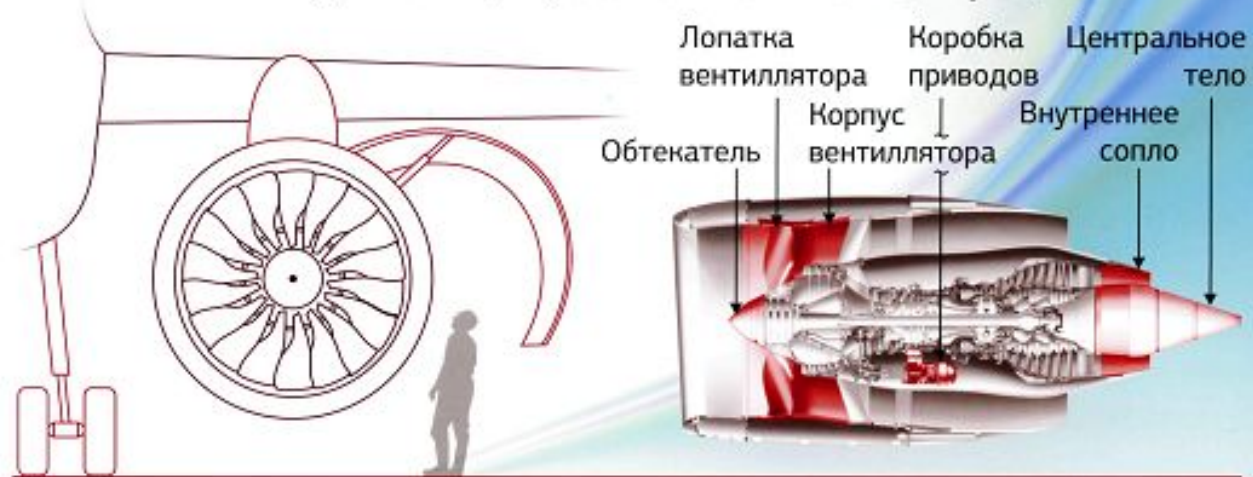
# Камера сгорания

- 3D аэродинамическое проектирование с моделированием реагирующих течений.
- Технология малоэмиссионного горения (эмиссия на 30 % ниже требований CAEP-6).
- Керамические покрытия и материалы с увеличенным ресурсом.

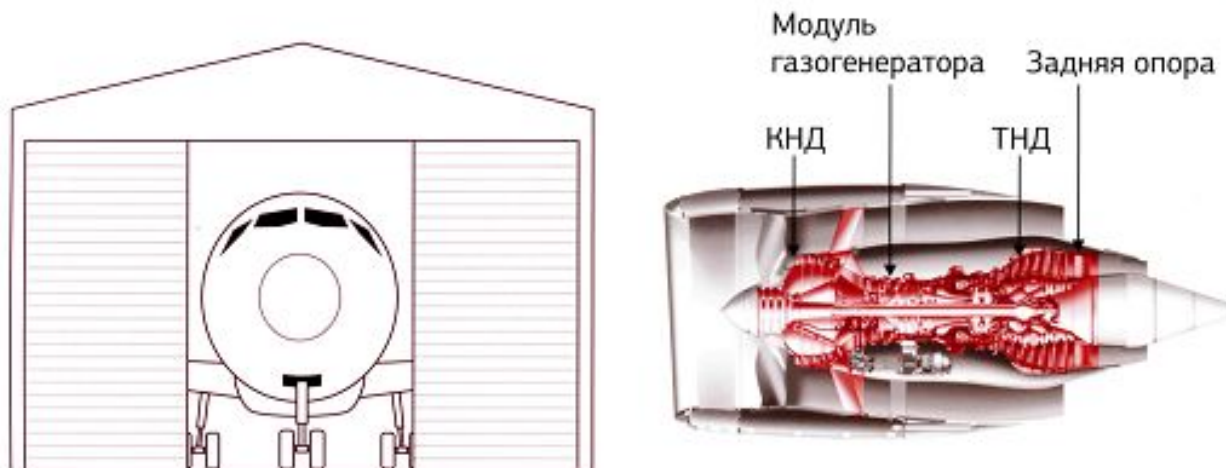




## Компоненты двигателя, заменяемые на крыле



## Компоненты, заменяемые на ремонтной базе



# ШЕСТОЕ ПОКОЛЕНИЕ

