

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Лекции

42 часа

Лабораторные занятия 24 часа

Экзамен

Литература основная:

1. Конструкция и проектирование авиационных ГТД, ред. Д.В. Хронин, .М., 1989.
2. Нихамкин М.А., Зальцман М.М. Конструкция основных узлов двигателя ПС-90А: Учеб. пособие. - Пермь, 2002.
3. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л., Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. М.: Машиностроение, 2008.

ТЕМЫ:

- Конструкции и компоновки ГТД
- Компрессоры и вентиляторы ГТД
- Турбины ГТД
- Камеры сгорания.
- Форсажные камеры.
- Выходные устройства ГТД
- Опоры роторов. Подшипники
- Прочность и колебания элементов ГТД
- Системы ГТД
- Проблема шума. Шумоглушение

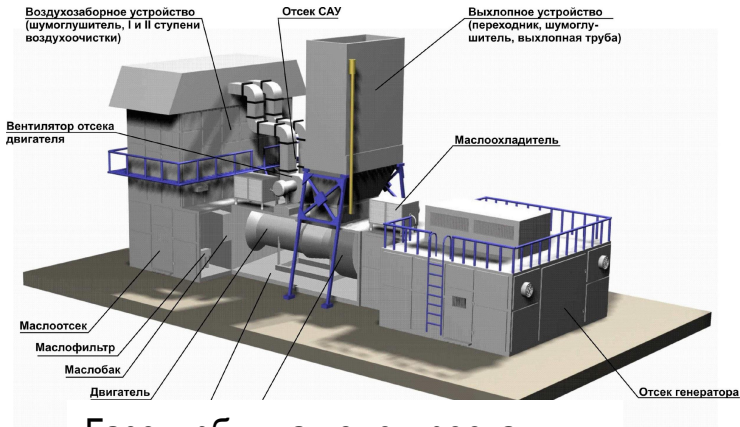
Тема: **Конструкции и компоновки ГТД**

1. **Области применения. Типы ГТД.**
2. **Характеристики ГТД. Требования к ГТД**
3. **Конструктивная схема одновального ТРД с осевым компрессором**
4. **Усилия, действующие на элементы ГТД**
5. **Силовые схемы роторов и корпусов ТРД**
6. **Конструктивные схемы турбореактивных двигателей**
7. **Конструктивные схемы турбореактивных двухконтурных двигателей**
8. **Турбовинтовые и вертолетные двигатели**
9. **Подъемные и подъемно-маршевые ГТД**
10. **Вспомогательные ГТД**
11. **Авиационные силовые установки**
12. **Конструктивные схемы наземных ГТД**

Области применения. Типы ГТД



примеры применения ГТД



Газотурбинная электростанция



СВВП Bell-Boing V-22 «Osprey»



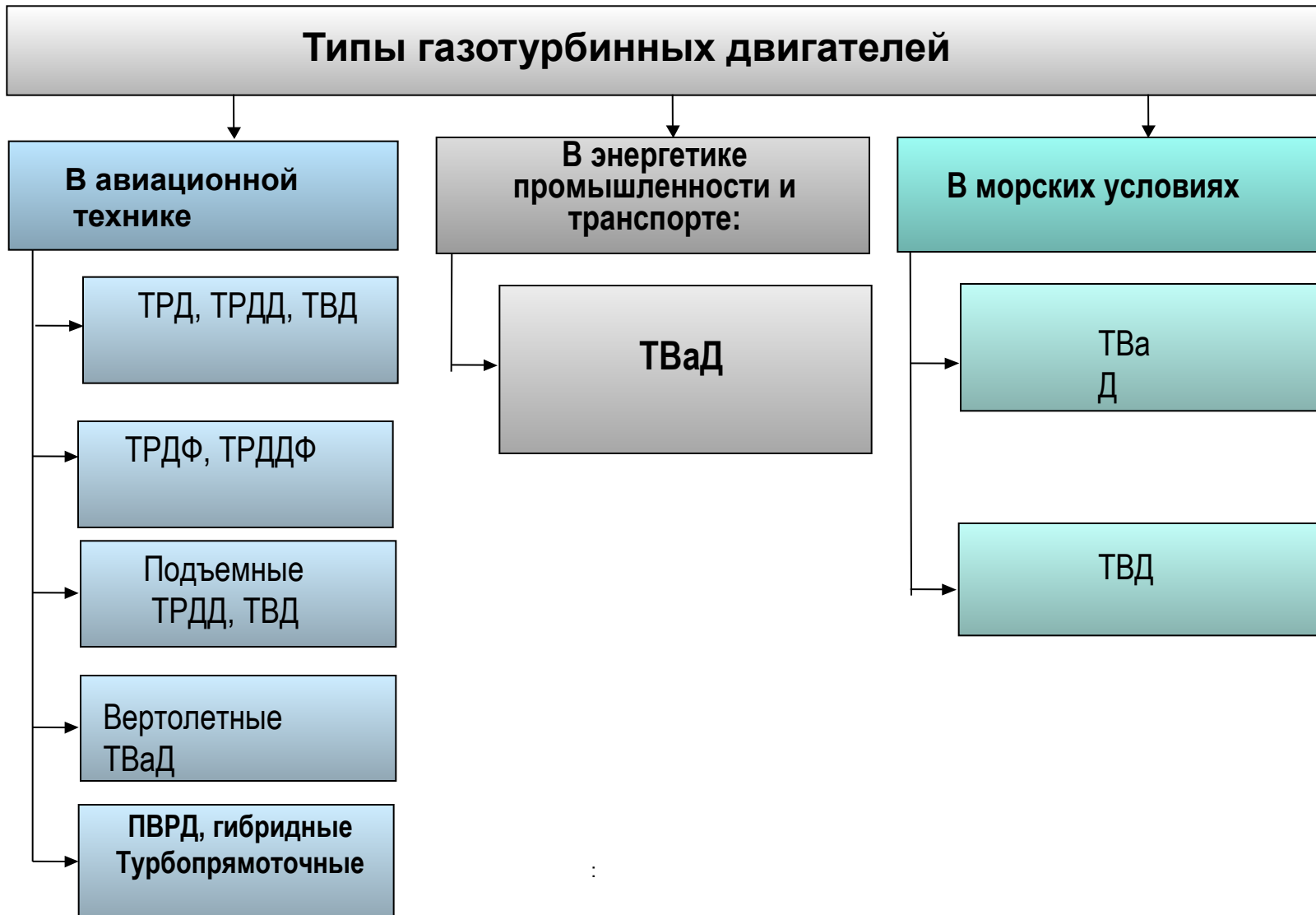
газотурбинный танк Т- 80БВ (Россия).



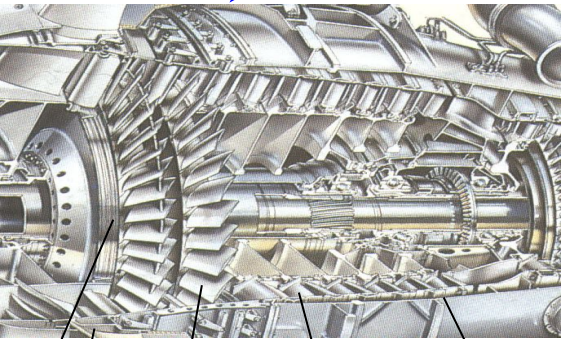
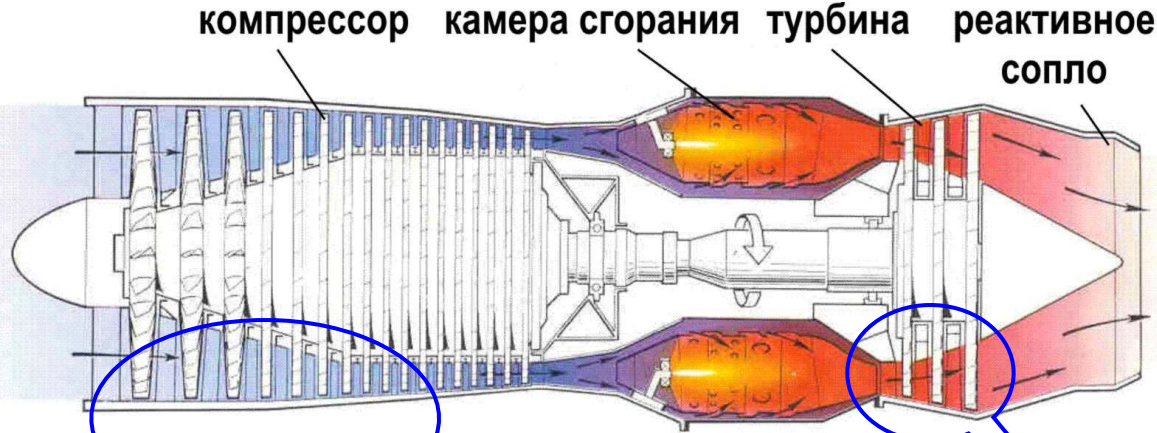
десантный корабль на воздушной подушке



ракетный крейсер

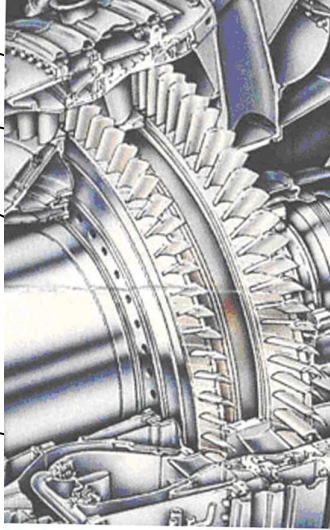


Характеристики ГТД. Требования к ГТД



Компрессор

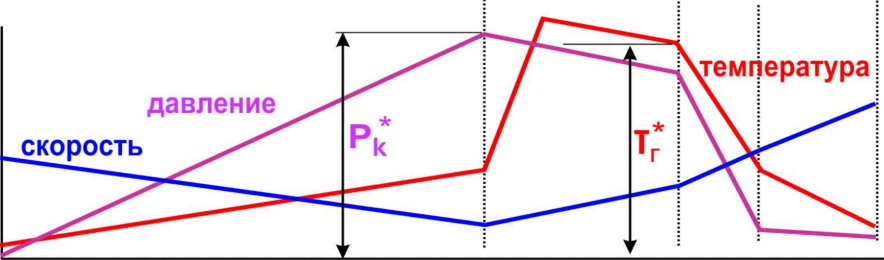
- 1. Ротор
- 2. Рабочие лопатки
- 3. Направляющие лопатки
- 4. Корпус
- 5. входной направляющий аппарат



турбина

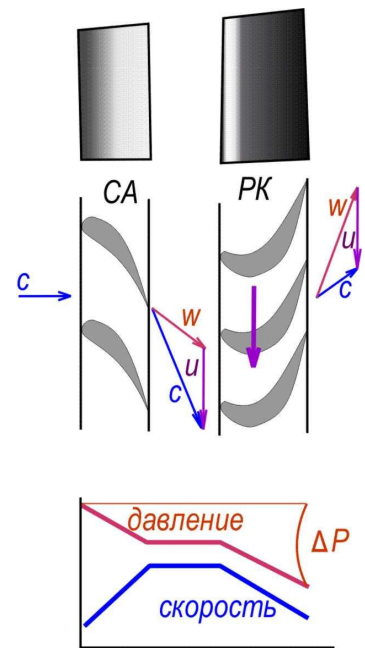
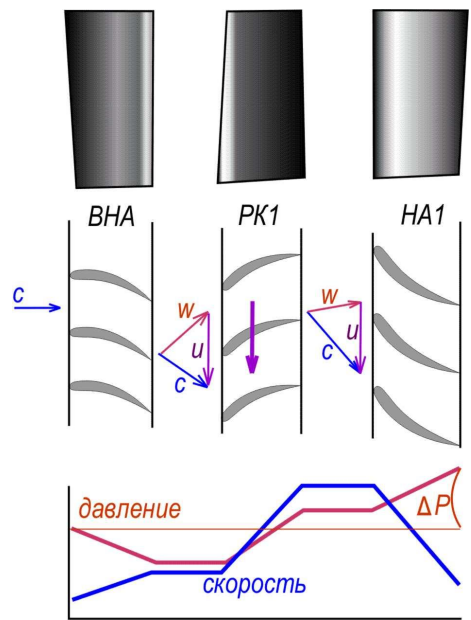
- 1. Ротор
- 2. рабочие лопатки
- 3. Сопловые лопатки
- 4. Корпус

Характеристики ГТД. Требования к ГТД



компрессор

турбина



основные характеристики гтд

- реактивная тяга (ТРД, ТРДД) R (кН);
- мощность на выходном валу (ТВД, ТВаД) N (кВт);
- удельный расход топлива C_R (кг/кН*ч)
 C_e (кг/кВт*ч);
- сухая масса;
- габаритные размеры.

- расход воздуха на входе в двигатель G_e (кг/сек)
- степень повышения давления $\pi_k^* = P^*/P_a$
- температура газа перед турбиной T_T^* (°K)

экономические характеристики гтд

$$C_{жц} = C_{зак} + C_{эспл} \quad \text{СТОИМОСТЬ ЖИЗ. ЦИКЛА}$$

стоимость закупки двигателей

$$C_{зак} = K_{об} \cdot C_{дв}$$

стоимость эксплуатации

$$C_{эспл} = C_{рем} + C_{агр} + C_{экс.обс} + C_{топл}$$

характеристики надежности гтд

- средняя наработка на нелокализованный отказ
- коэффициент частоты нелокализованных отказов на 100 тыс. часов наработки

$$T_{нлд} = \frac{t_c}{N_{нлд}} \quad K_{100000нлд} = \frac{100000}{T_{нлд}} \quad \text{Треб-я НЛГ: } T_{нлд} > 3,3 \text{ млн. ч}$$

- ср. наработка на выключение двигателя в полете
- коэффициент частоты выключений двигателя в полете на 1000 часов наработки

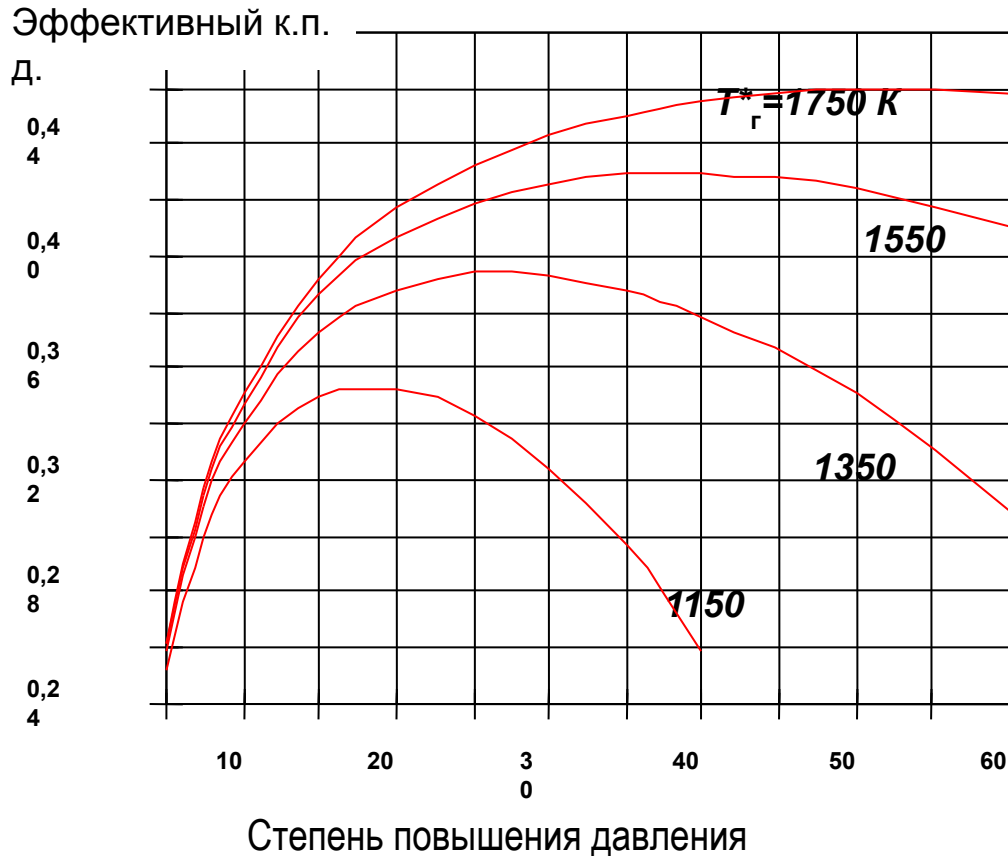
$$T_{пв} = \frac{t_c}{N_{пв}} \quad K_{1000пв} = \frac{1000}{T_{пв}} \quad T_{лв} > 50 \text{ тыс. ч}$$

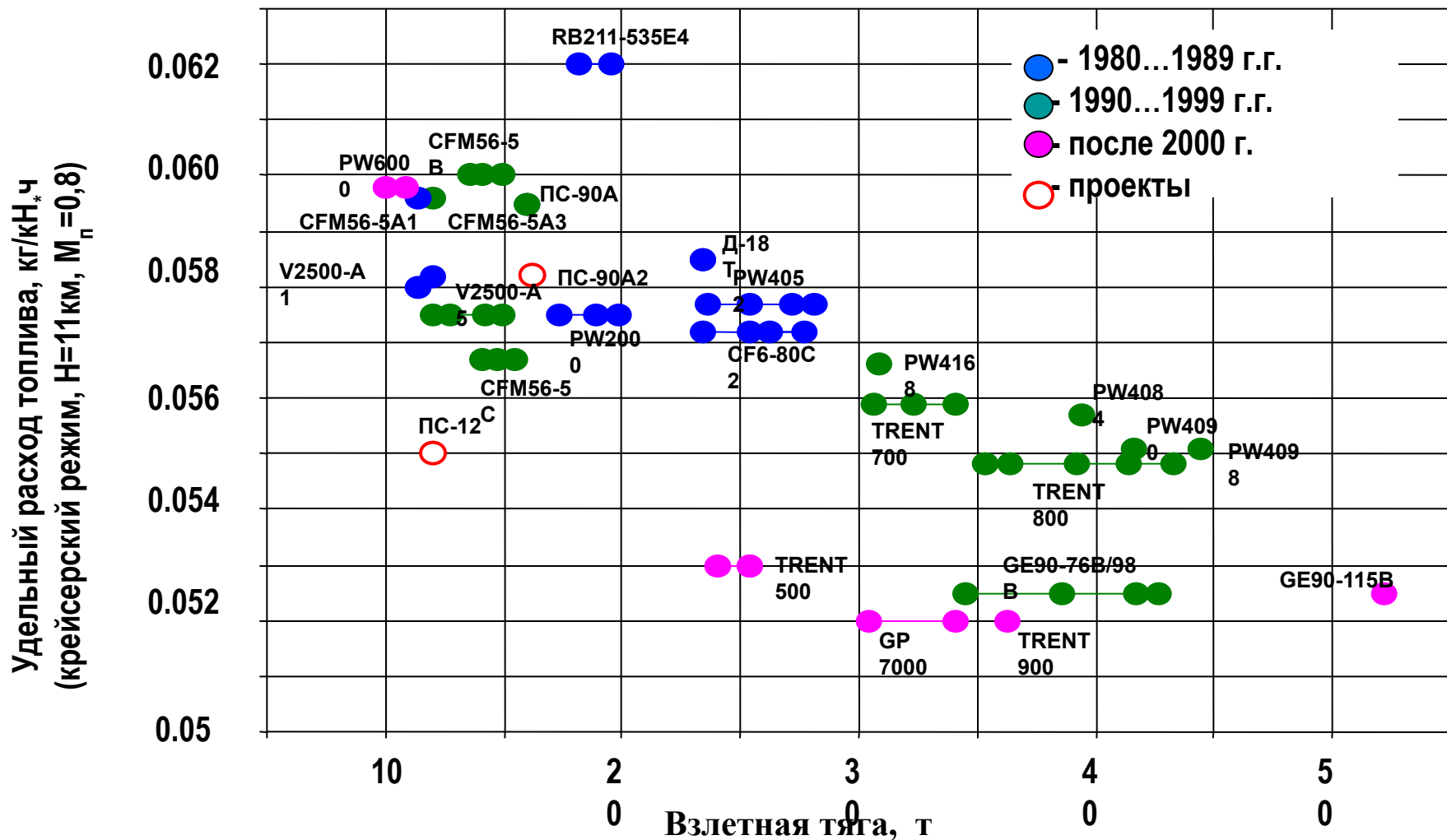
- ср. наработка на досрочный съем двигателей
- коэффициент частоты съёмов двигателей на 1000 часов наработки

$$T_{дсд} = \frac{t_c}{N_{дсд}} \quad K_{1000дсд} = \frac{1000}{T_{дсд}}$$

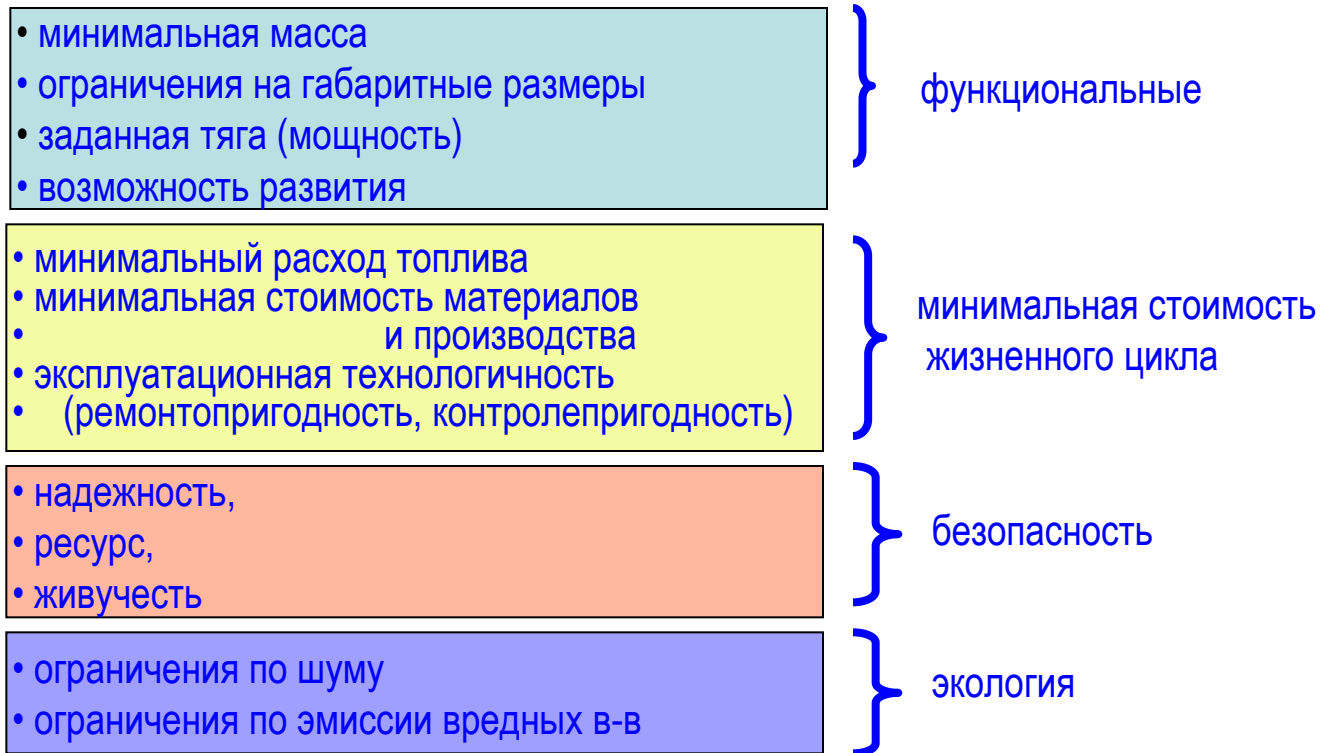
$$\text{Коэффициент надежности вылетов} \quad K_{зв} = (1 - N_{зв} / N_{ввл}) \cdot 100\% \quad > 99,98\%$$

Зависимость эффективного КПД от температуры газа перед турбиной и степени повышения давления





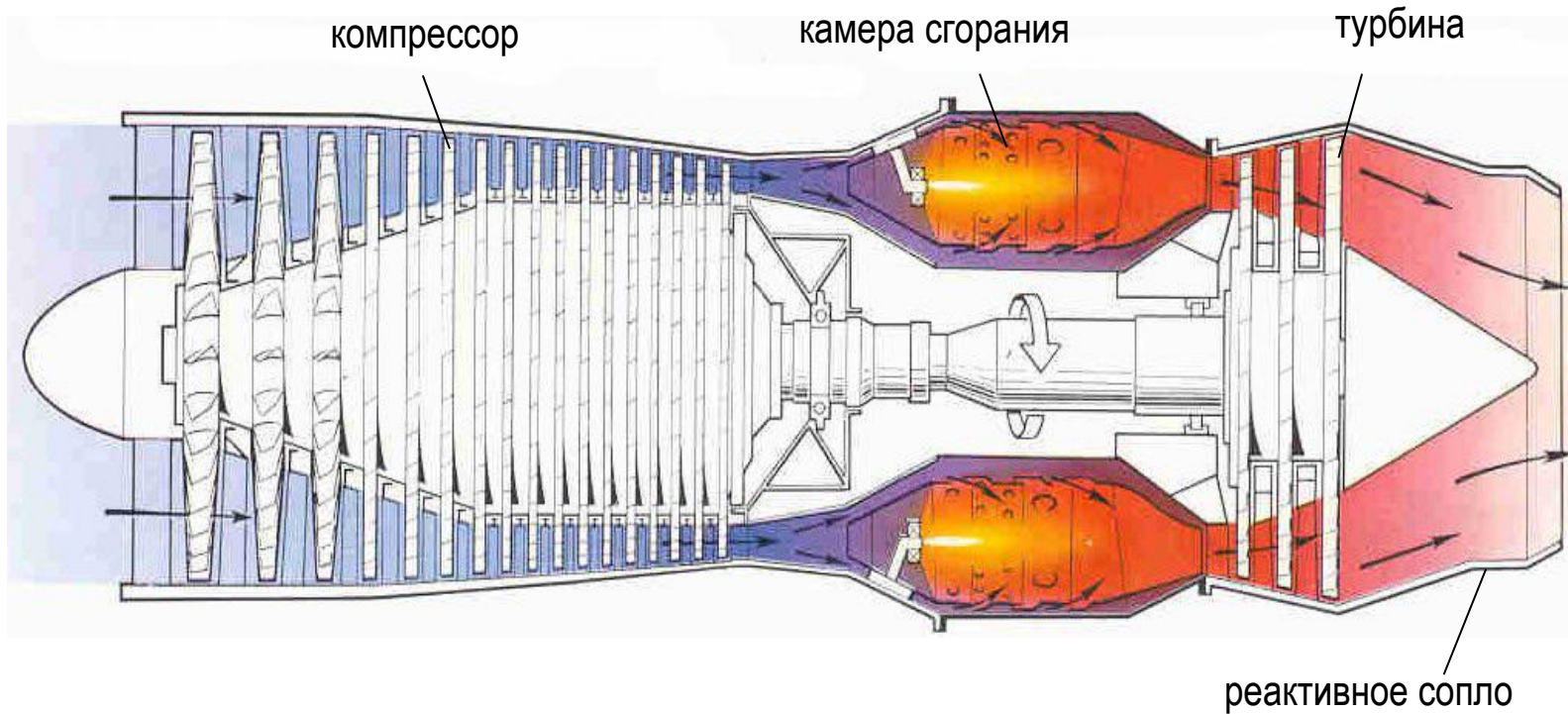
Требования к ГТД



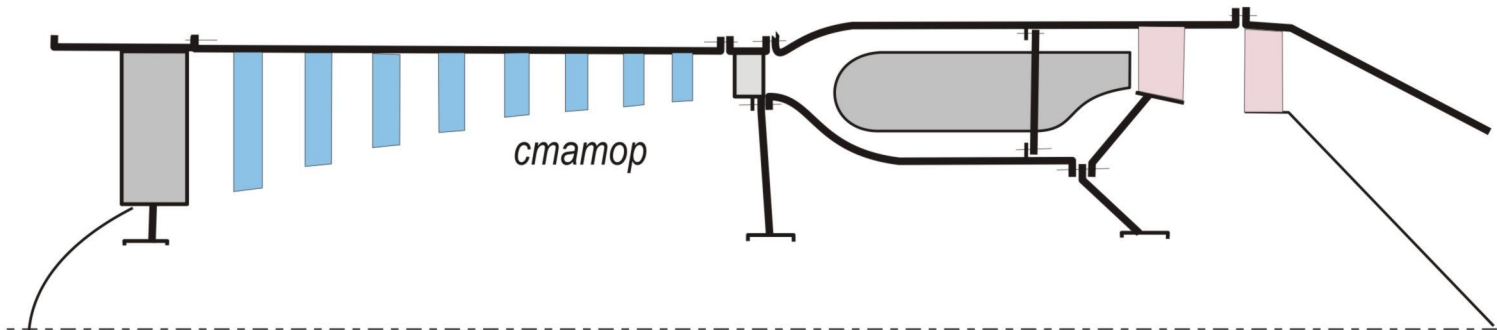
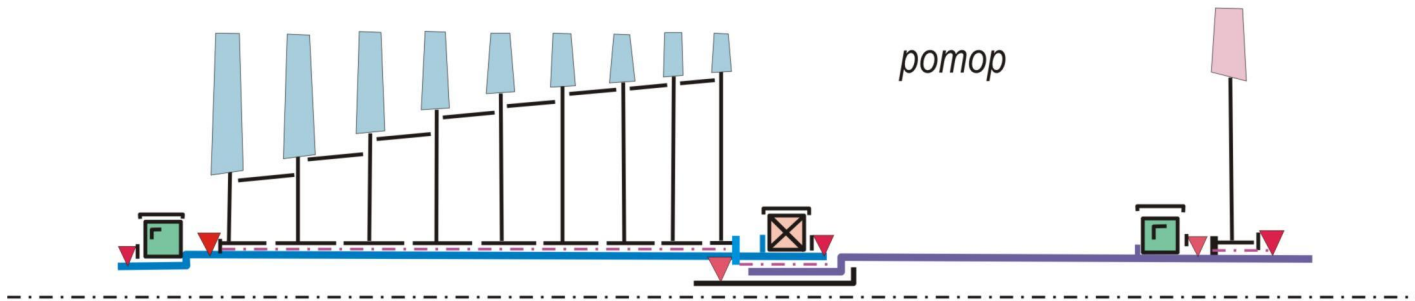
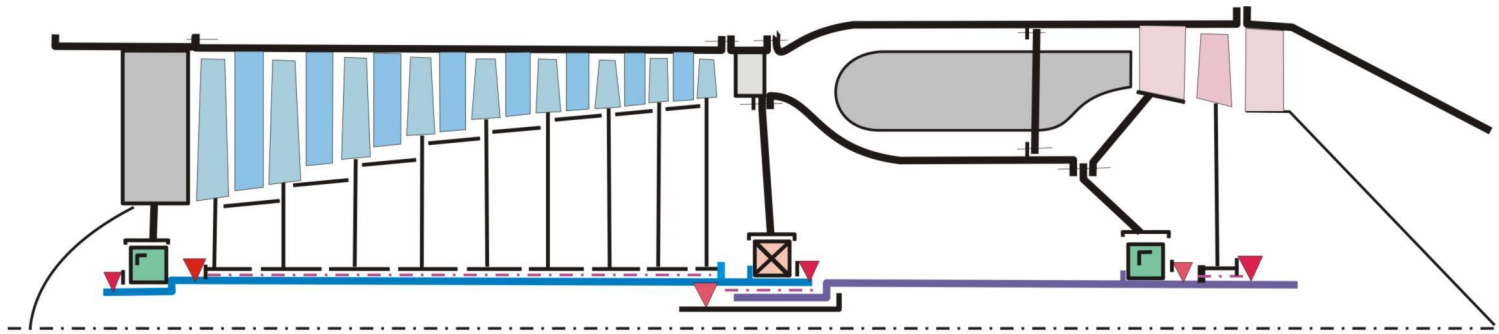
направлени
я

- повышение T_g^* и Π_k^* ,
- уменьшение кол-ва деталей,
- применение новых материалов и технологий
- оптимизация процессов и совершенствование узлов

Конструктивная схема одновального ТРД с осевым компрессором

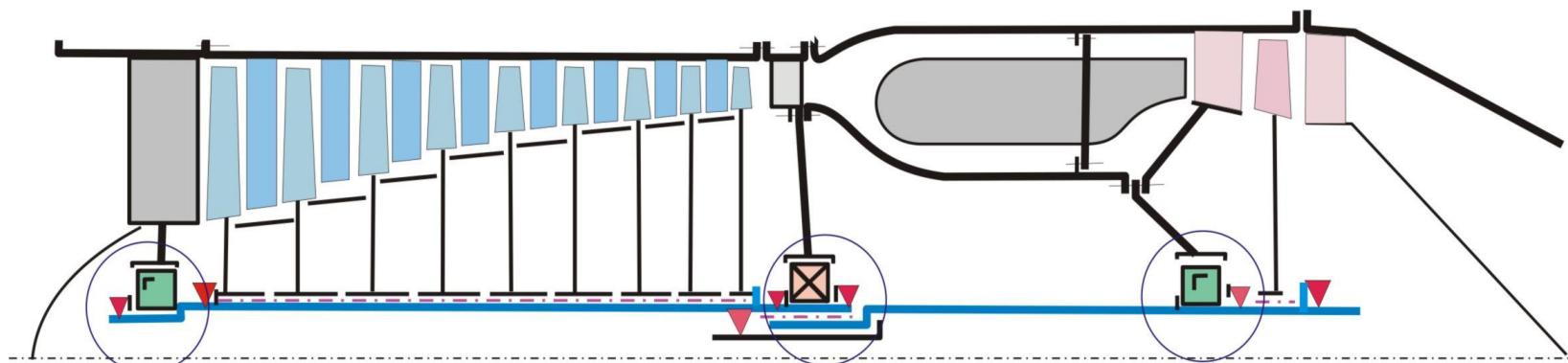


Конструктивная схема одновального ТРД с осевым компрессором



- | | |
|---|---|
|  Роликовый подшипник |  Шлицевое соединение |
|  Шариковый подшипник |  Фланцевое соединение |
|  Гайка |  Вал |

Конструктивная схема одновального ТРД с осевым компрессором



Роликовый подшипник



Шариковый подшипник



Гайка

Шлицевое соединение

Фланцевое соединение

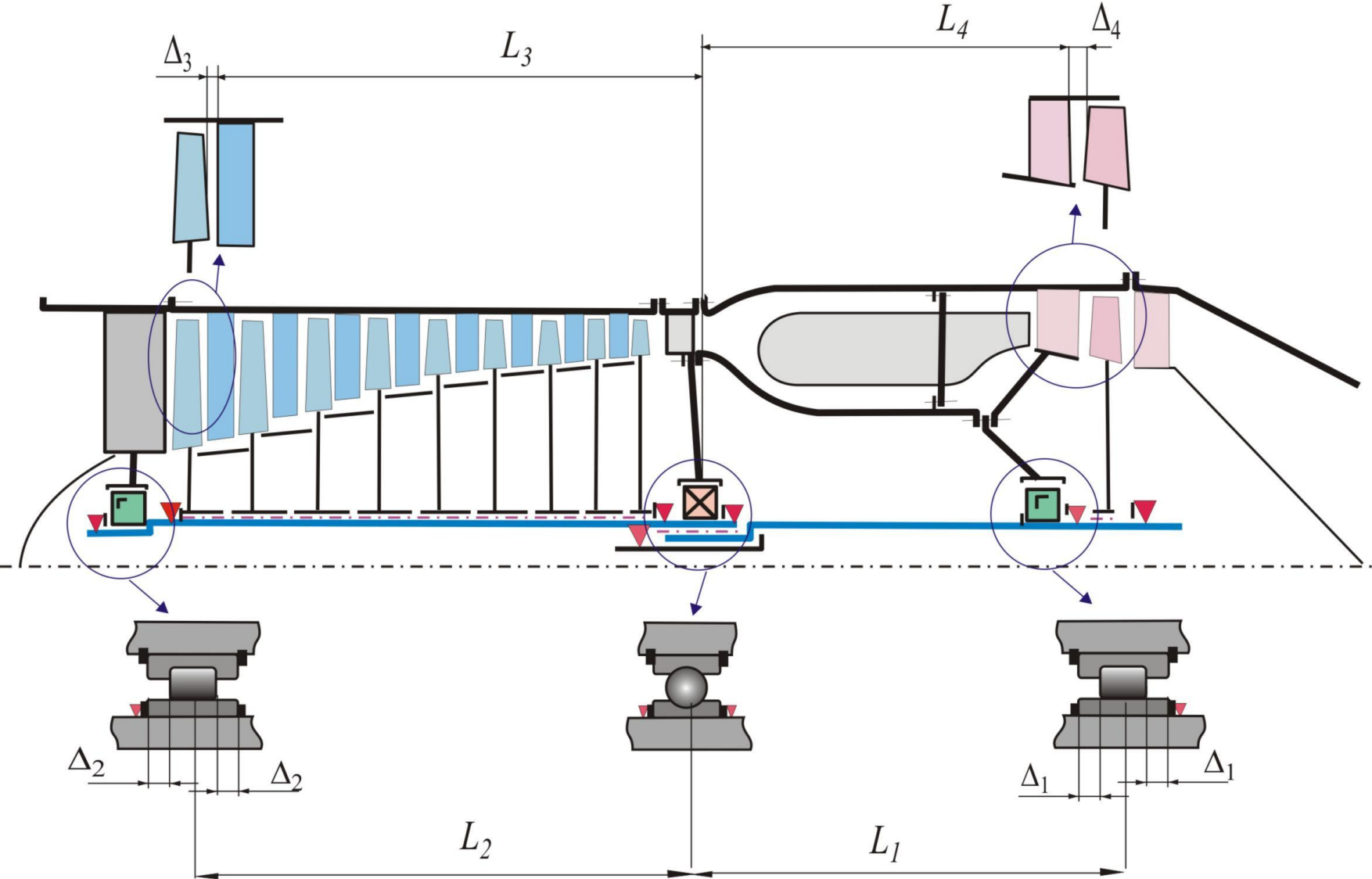
Вал

свобода
теплового
расширения

фиксация
ротора

свобода
теплового
расширения

Конструктивная схема одновального ТРД с осевым компрессором

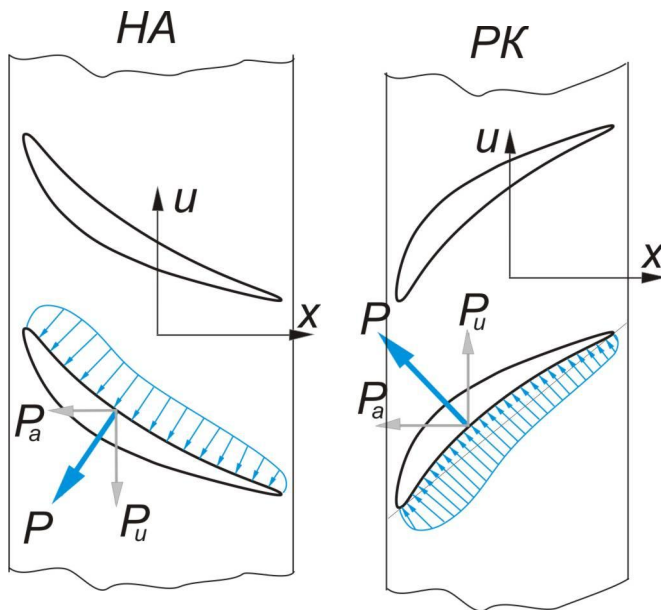


Тепловые расширения ротора и статора

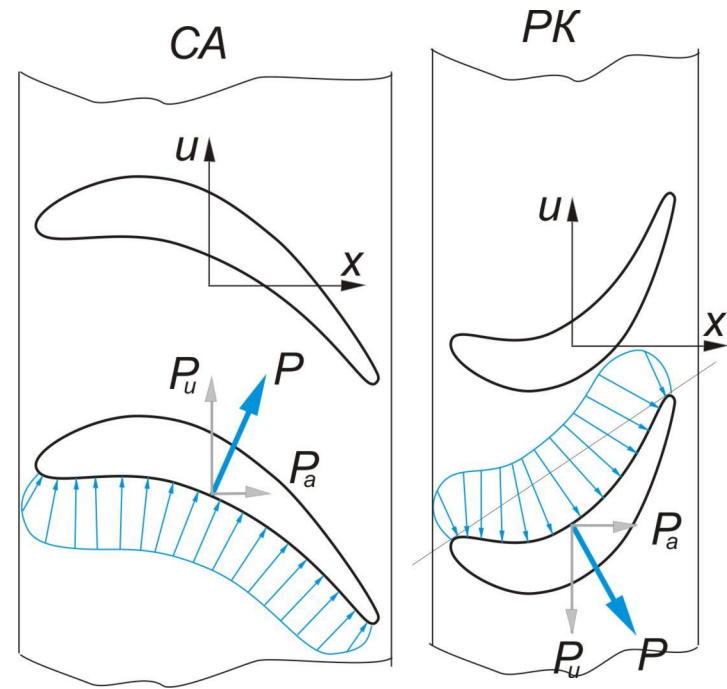
УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ ГТД

Газодинамические силы

КОМПРЕССОР



ТУРБИНА



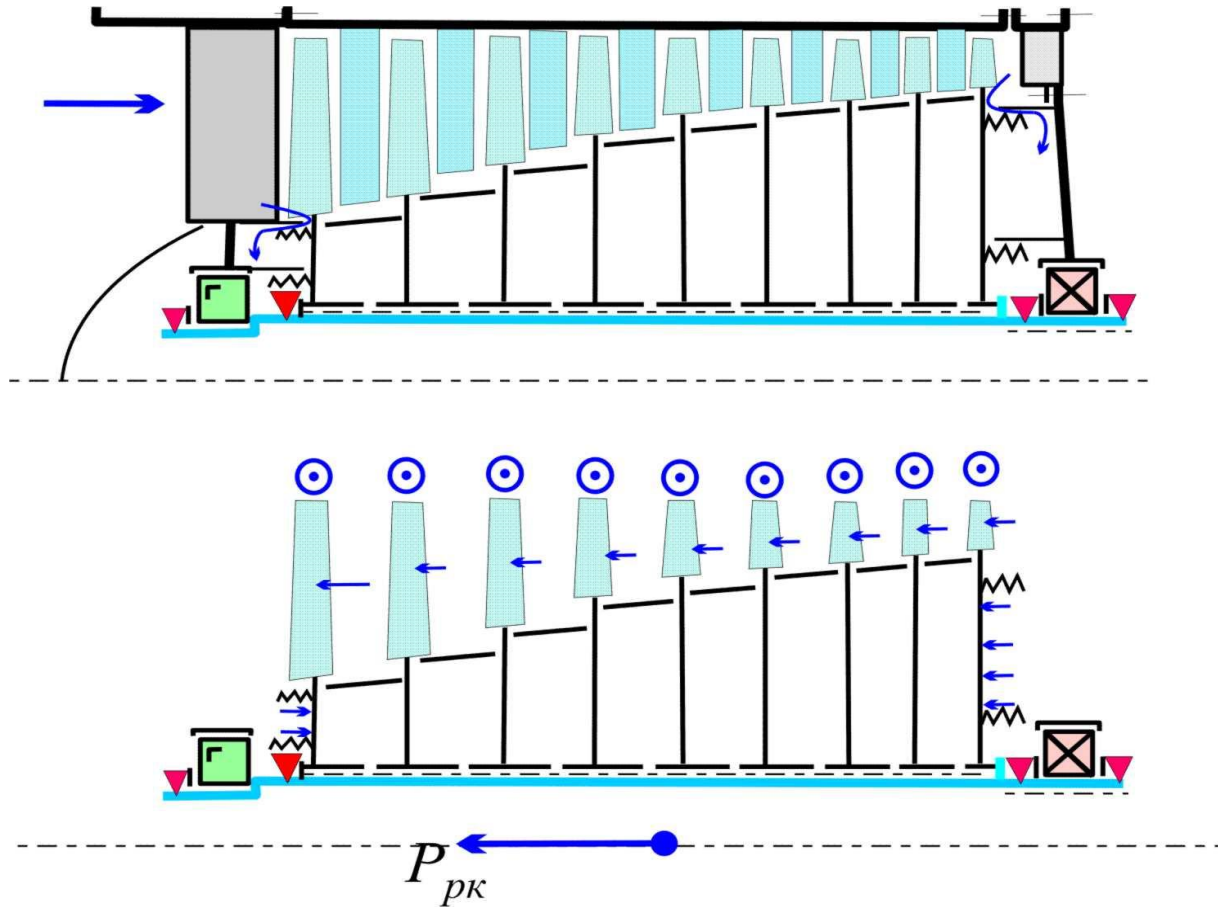
Газодинамические силы, действующие на лопатку

$$P_u = -\frac{G_b}{z(R_2 - R_1)} \cdot \frac{R_i}{R_{cp}} (C_{2u} - C_{1u})$$

$$P_a = (p_1 - p_2) \cdot \frac{2\pi R_i}{z} - \frac{G_b}{z(R_2 - R_1)} \cdot \frac{R_i}{R_{cp}} (C_{2a} - C_{1a})$$

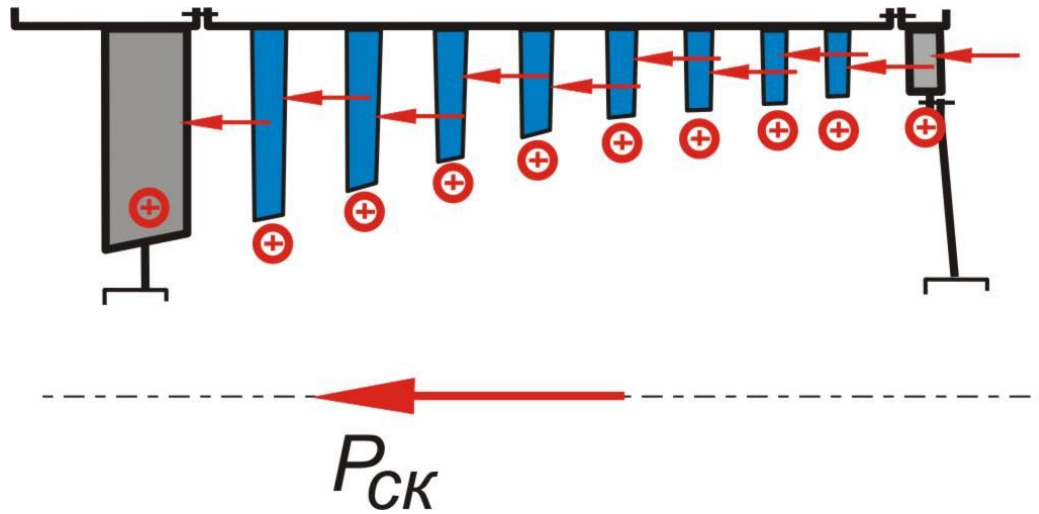
УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ ГТД

Газодинамические силы



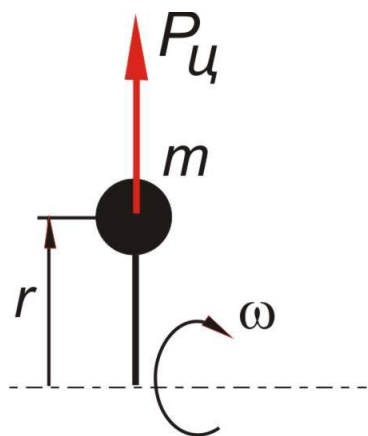
УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ ГТД

Газодинамические силы

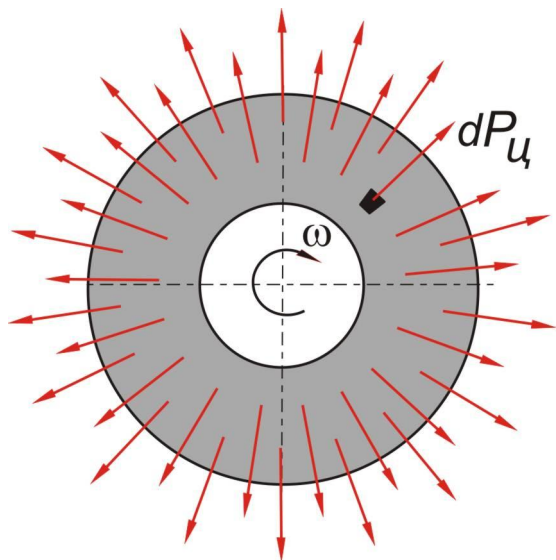
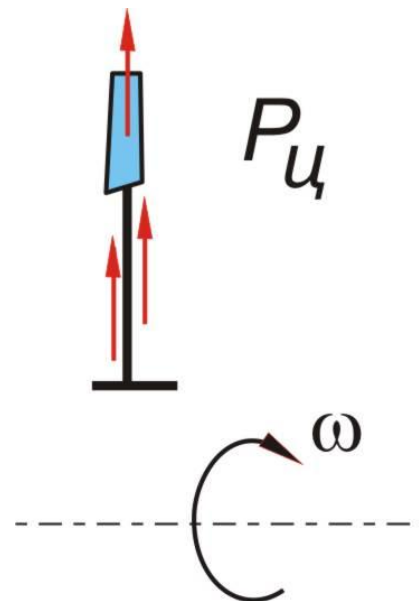


УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ ГТД

Центробежные силы, действующие на элементы ТРД



$$P_{ц} = m\omega^2 r$$

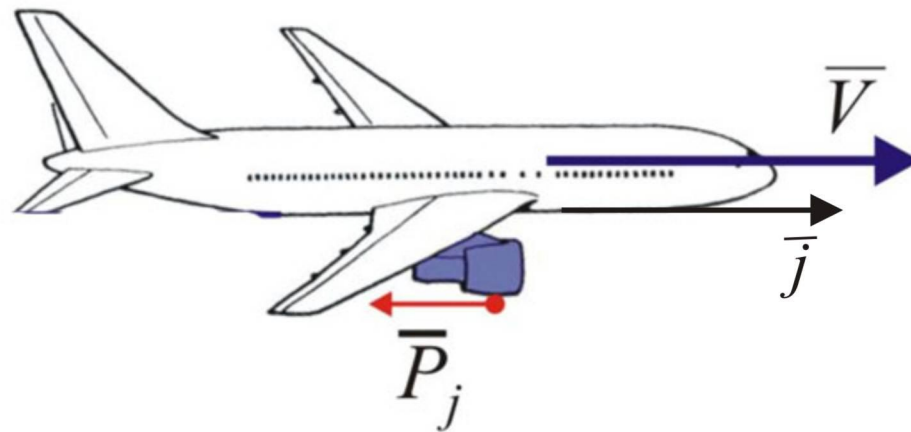


При $m = 15\text{г}$
 $n = 11000\text{ об/мин}$
 $r = 300\text{ мм}$

$$P_{ц} = 6000\text{ Н}$$

Инерционные усилия

1. движение по прямой

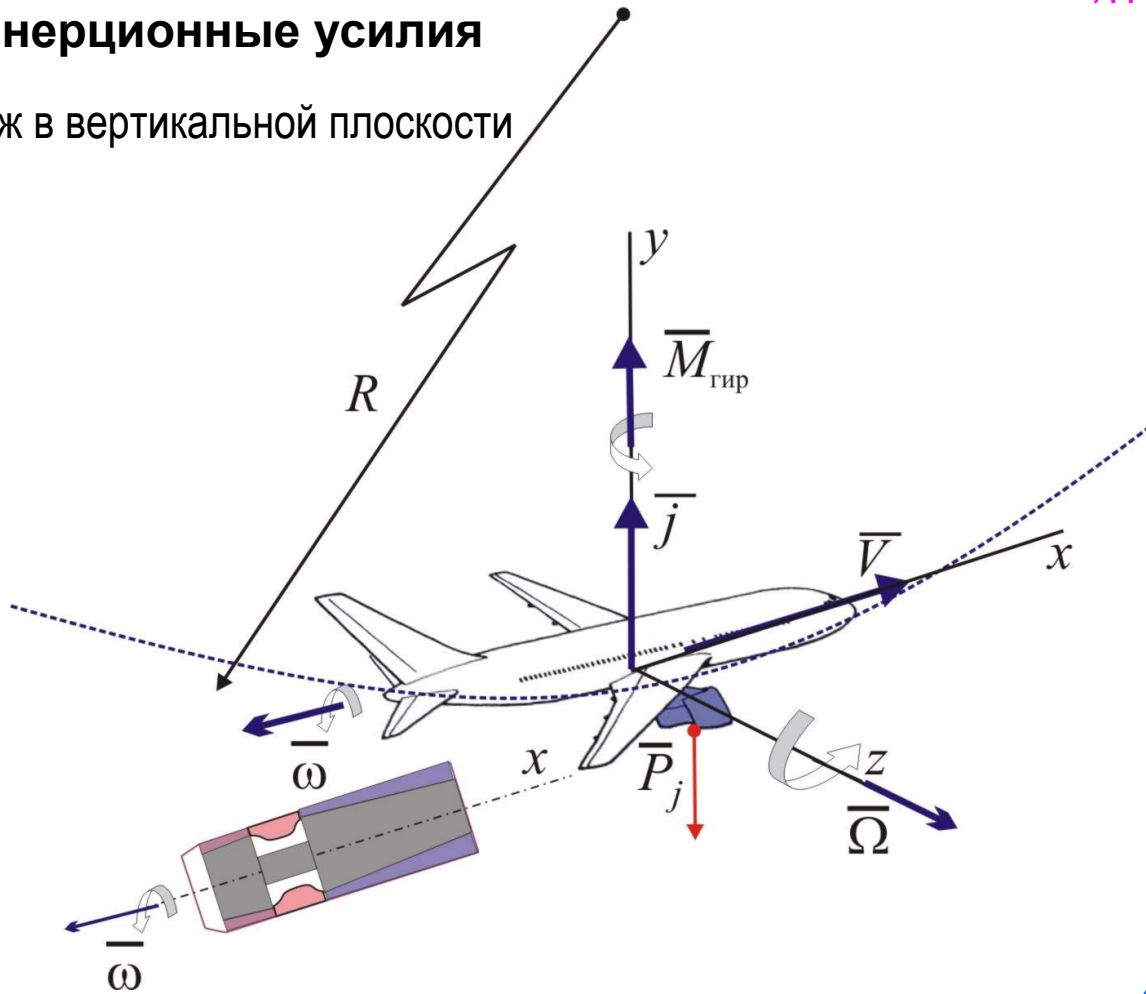


$$P_j = mgn_{\text{э}}$$

к-т эксплуатационной
перегрузки $n_{\text{э}} = j/g$

Инерционные усилия

2. вираж в вертикальной плоскости



$$P_j = mgn_{\theta}$$

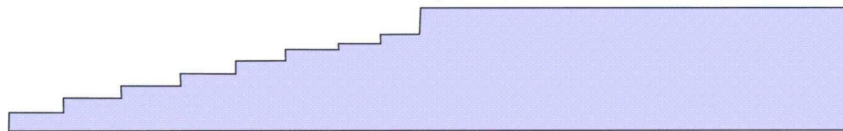
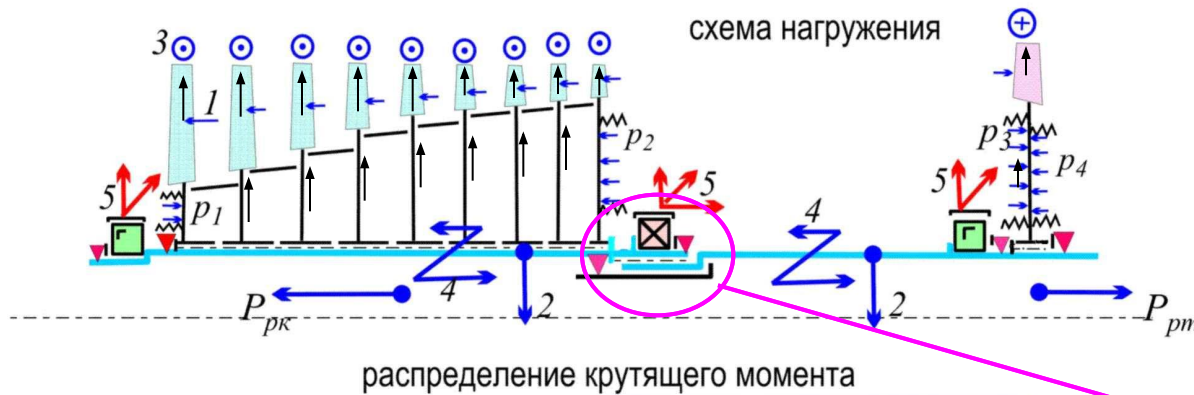
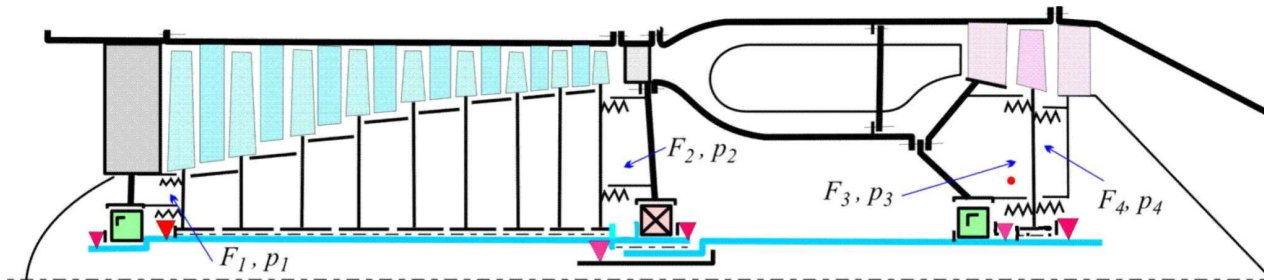
$$j = \Omega^2 R$$

$$M_{гир} = J_p \omega \Omega$$

Положительное направление вектора: с его острия вращение - против ч.с.

Возникающий при эволюции самолета гироскопический момент стремится повернуть самолет так, чтобы ось вращения ротора совпала с осью вращения самолета, вектор ω совпал по направлению с вектором Ω

Нагружение ротора



Соединение валов

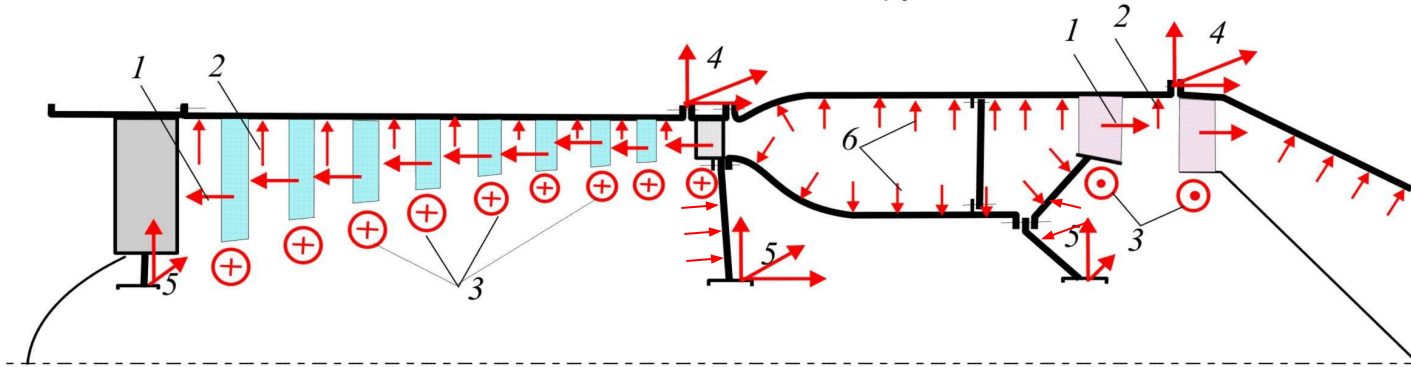


- 1 - Осевые газодинамические силы, действ. на лопатки ротора
- 2 - Инерционные силы
- 3 - Окружные газодинамические силы, действ. на лопатки ротора
- 4 - Гироскопические моменты
- 5 - Реакции в опорах

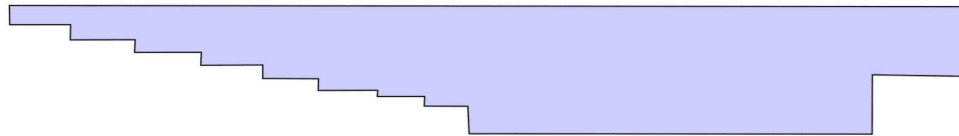
- передача кр. момента
- передача осевых сил
- компенсация перегиба

Нагрузка статора

схема нагружения



распределение крутящего момента



1- осевые силы
2- давление
3- крутящие моменты

Газодинамические

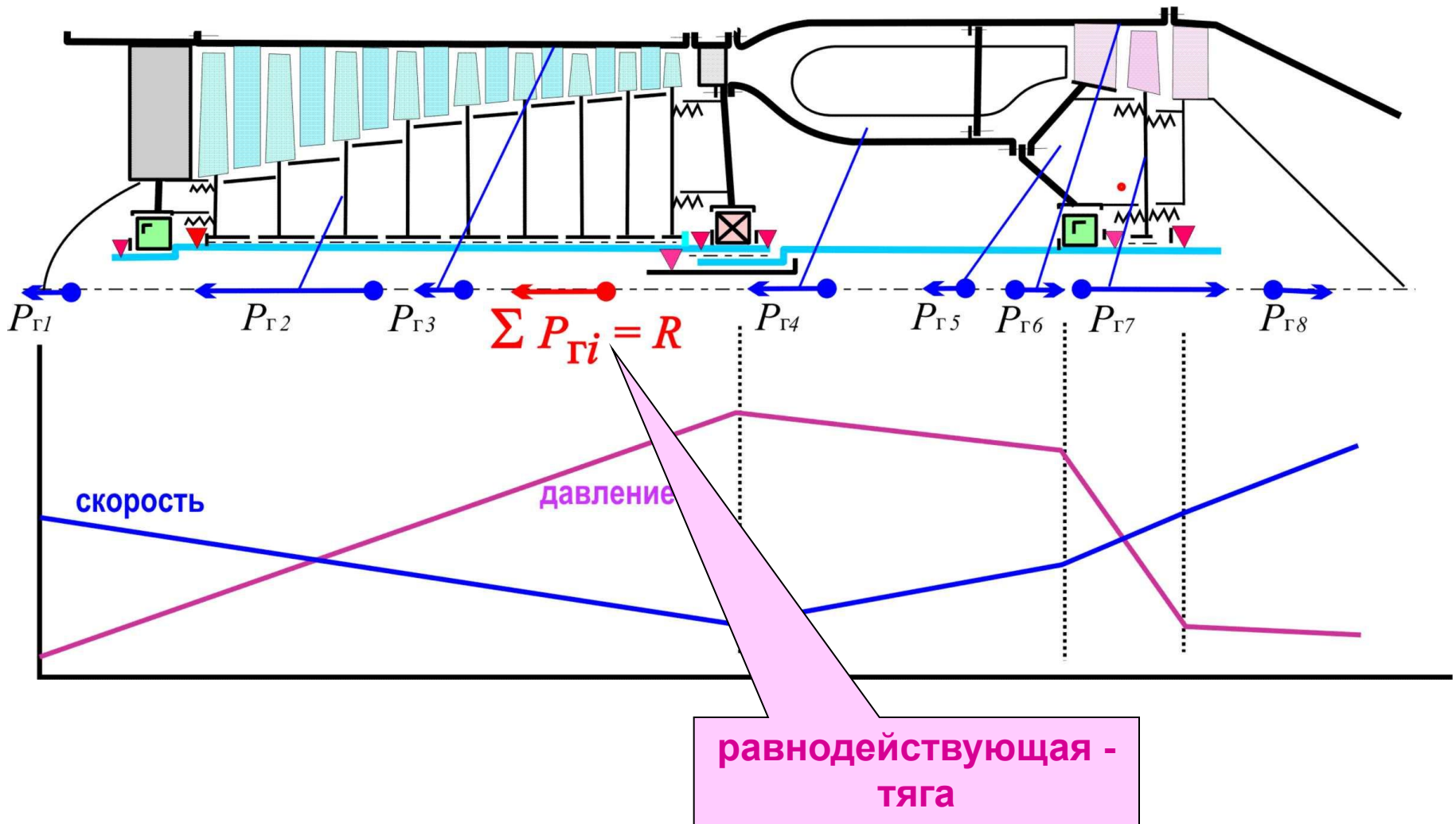
4-реакции в подвеске
5- реакции в опорах ротора

Инерционные от эволюций ЛА
продольные, поперечные,
гироскопические моменты
Вес
Тепловые

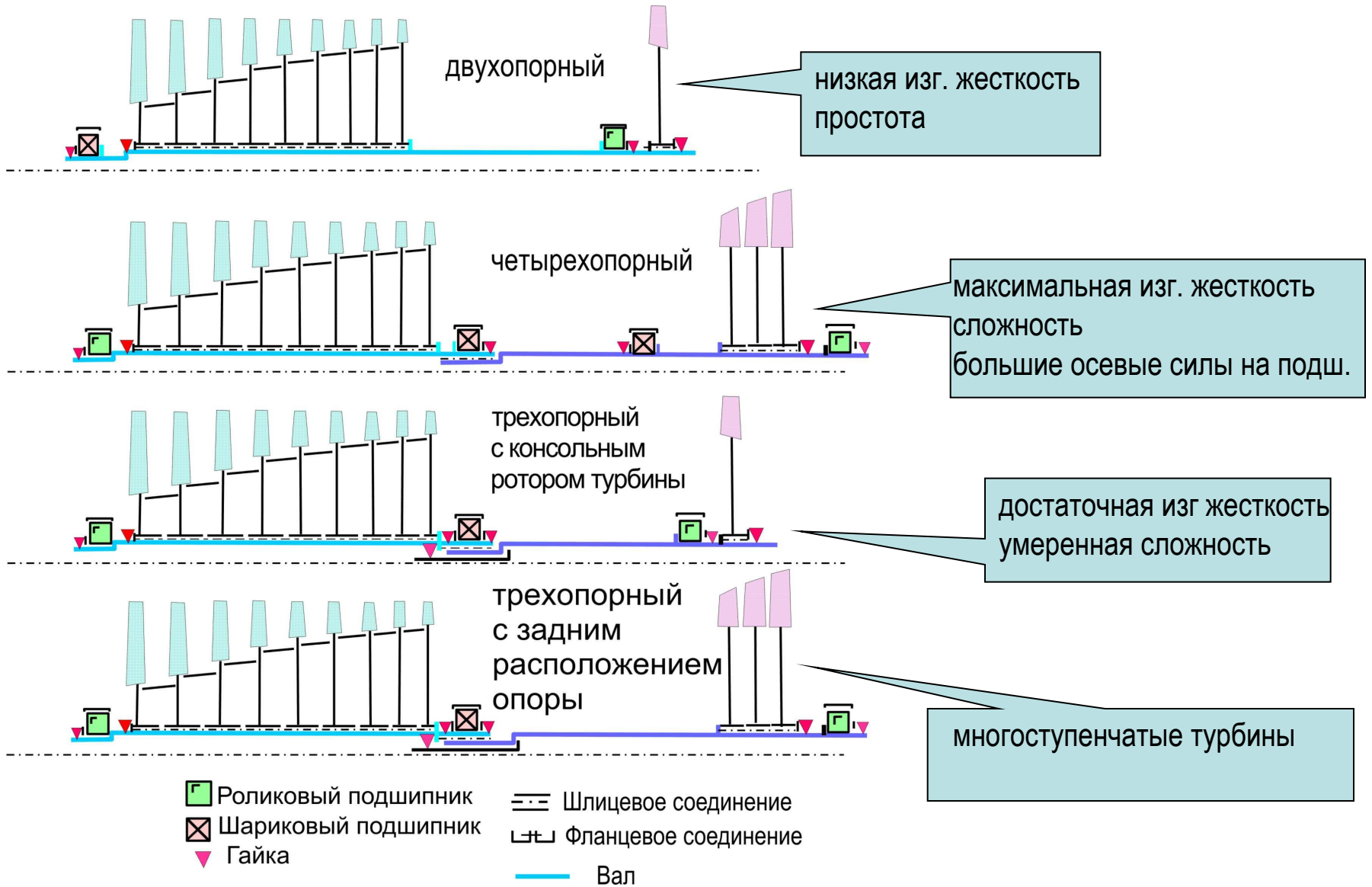
Квазистатические
(циклические)
Динамические
(высокочастотные)

УСИЛИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ ГТД

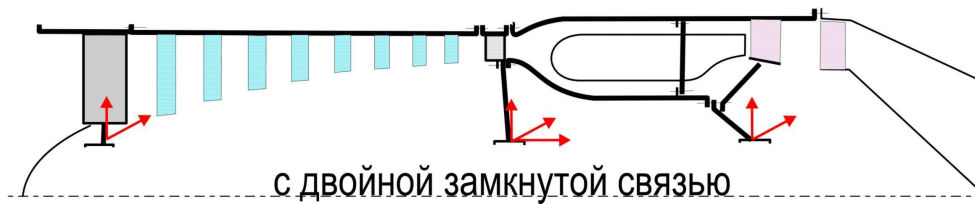
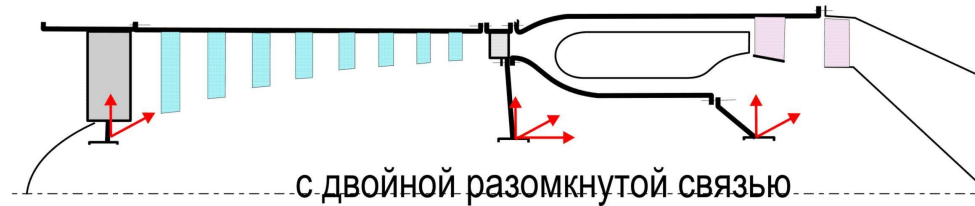
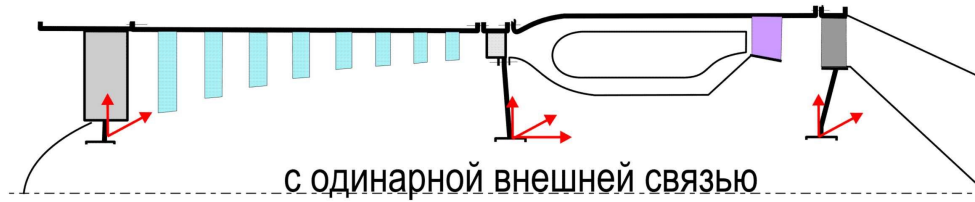
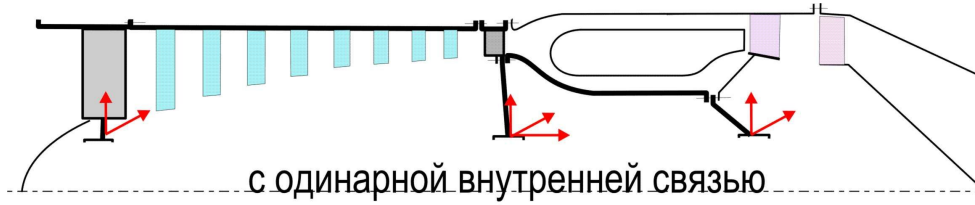
Осевые усилия, действующие на элементы ТРД



Силовые схемы роторов ТРД



Схемы силовых корпусов ТРД



увеличение
изгибной
жесткости

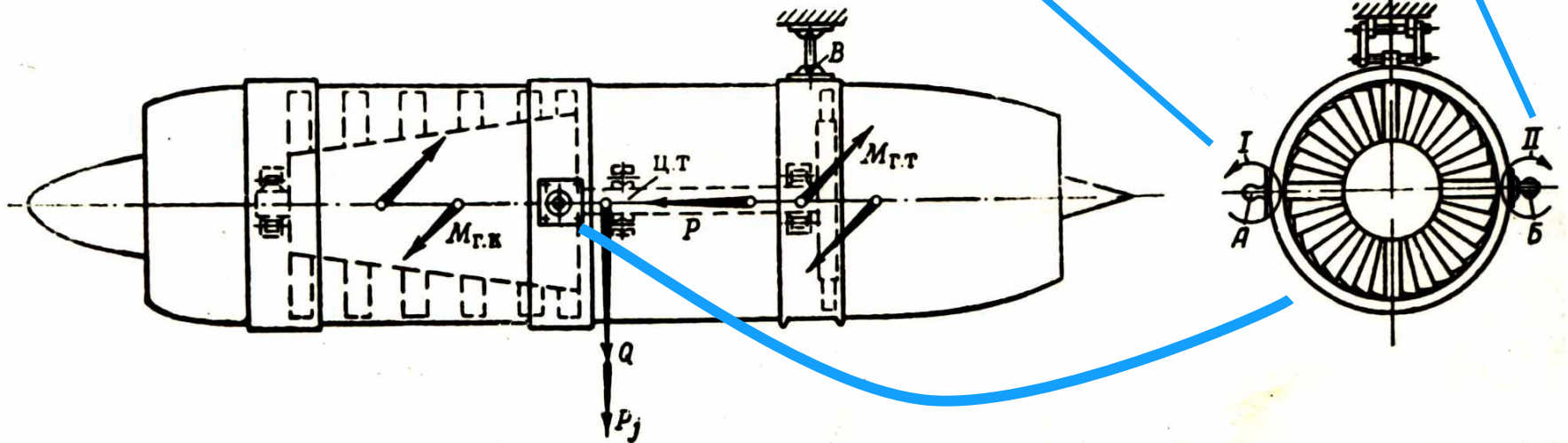
Нагрузки:

- Тяга двигателя
- Силы инерции
- Гироскопические моменты
- Вес

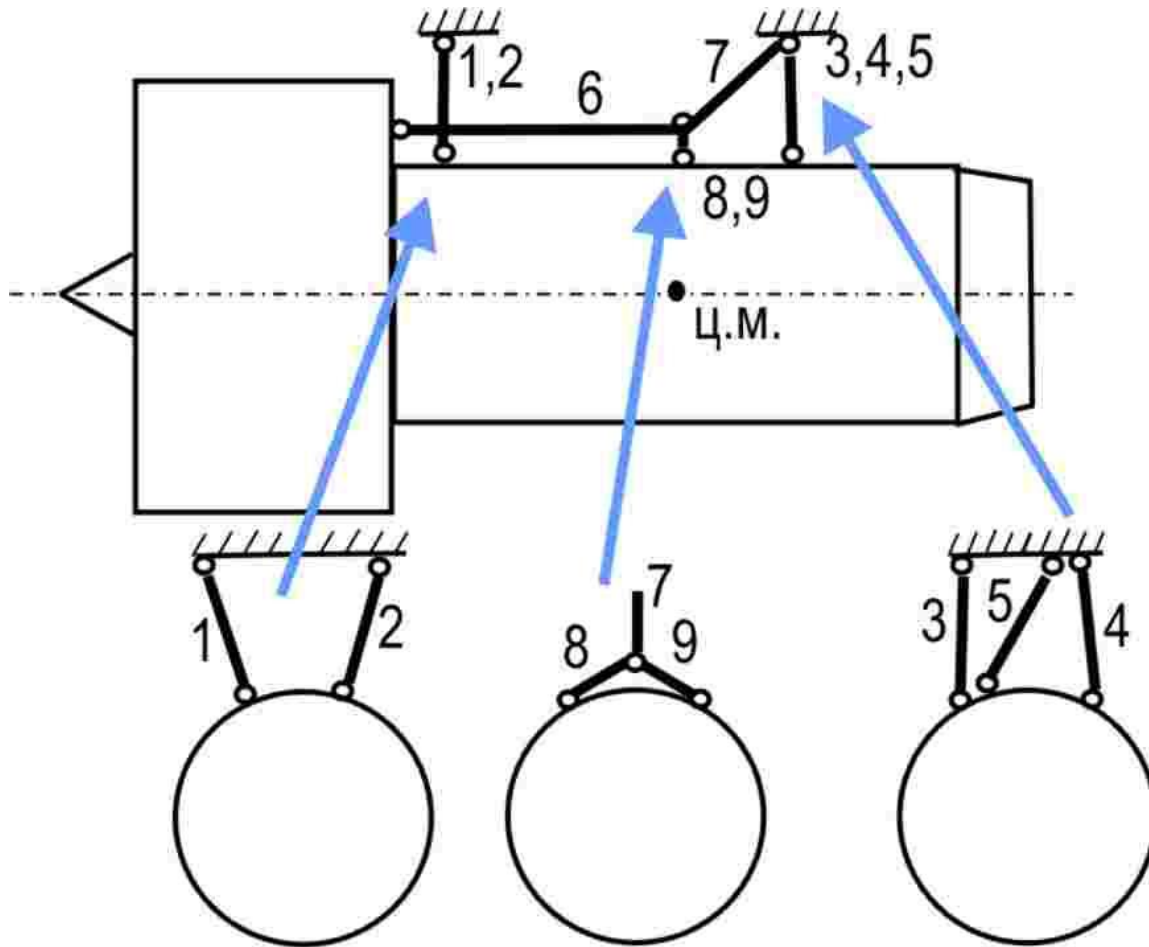
Требования:

- Фиксация
- Прочность
- Свобода тепловых расширений
- Мин реакции в точках крепления
- Мин вес

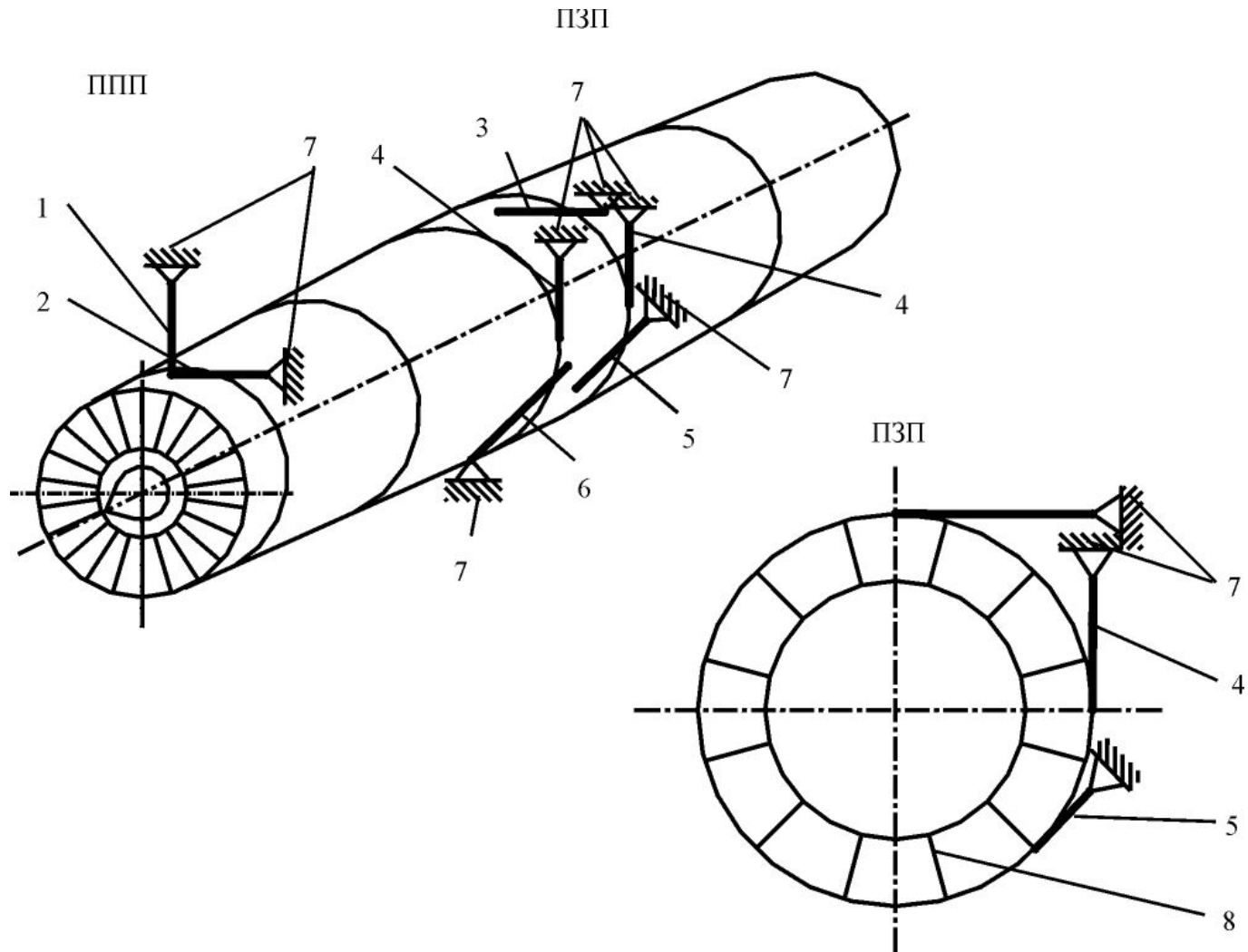
**Крепление двигателя к самолету
при расположении в фюзеляже или в крыле**



Крепление двигателя к самолету при подвеске на пилоне



Крепление двигателя к самолету при боковом расположении



**Крепление двигателя
наземной газотурбинной
установки**

Конструктивные схемы турбореактивных двигателей

Классификации турбореактивных двигателей

По типу компрессора

- с осевым
- с центробежным
- с осецентричным

По количеству контуров

- одноконтурные
- двухконтурные

По наличию форсажной камеры

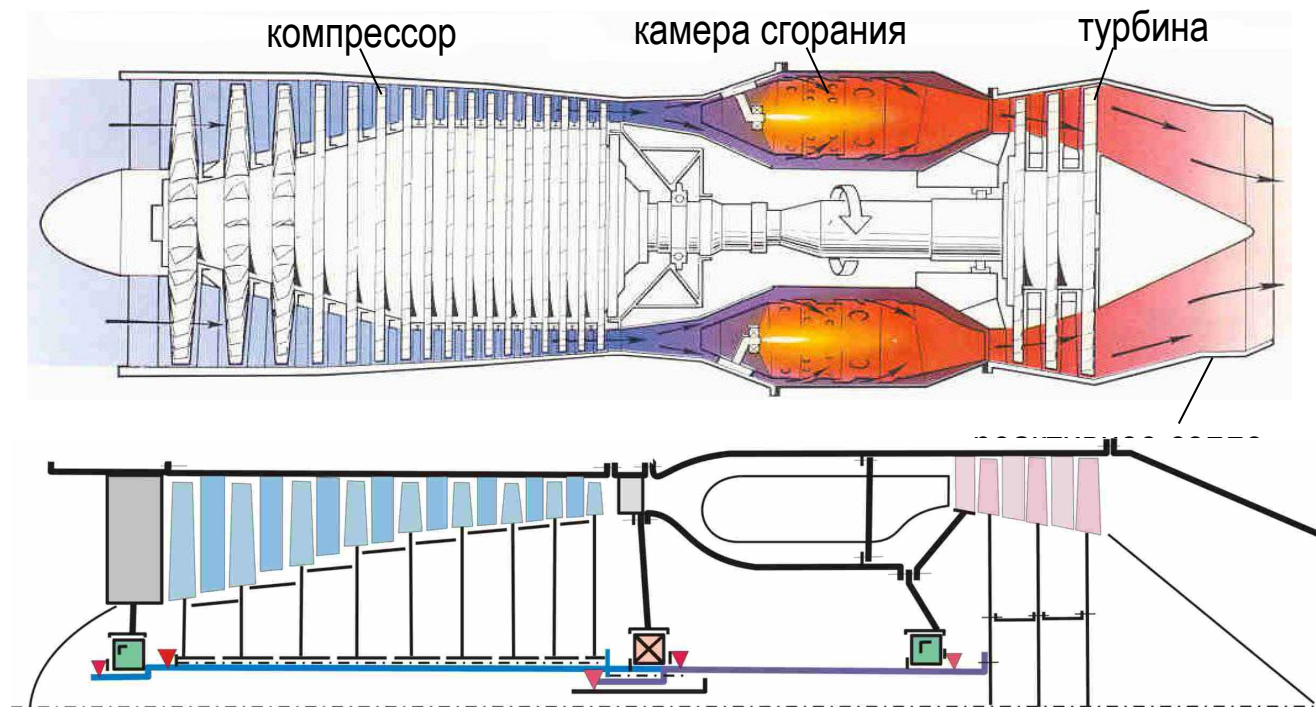
- без форсажной камеры
- с форсажной камерой

По количеству валов

- одновальные
- двухвальные
- трехвальные

Конструктивные схемы турбореактивных двигателей

Одновальный ТРД с осевым компрессором



простота



низкая экономичность
недостаточная устойчивость

Конструктивные схемы турбореактивных двигателей

ТРД Юмо-004

8-ми ст. осевой
компрессор,

$$\pi_k^* = 3.14$$

трубчато-кольцевая
камера сгорания,

1-ст. турбина

регулируемое
сопло

Германия 1942

Тяга 1000 Кгс

Me-262, Ю-287

серия более 6000 шт.

Конструктивные схемы турбореактивных двигателей

Одновальный ТРД с форсажной камерой (ТРДФ)



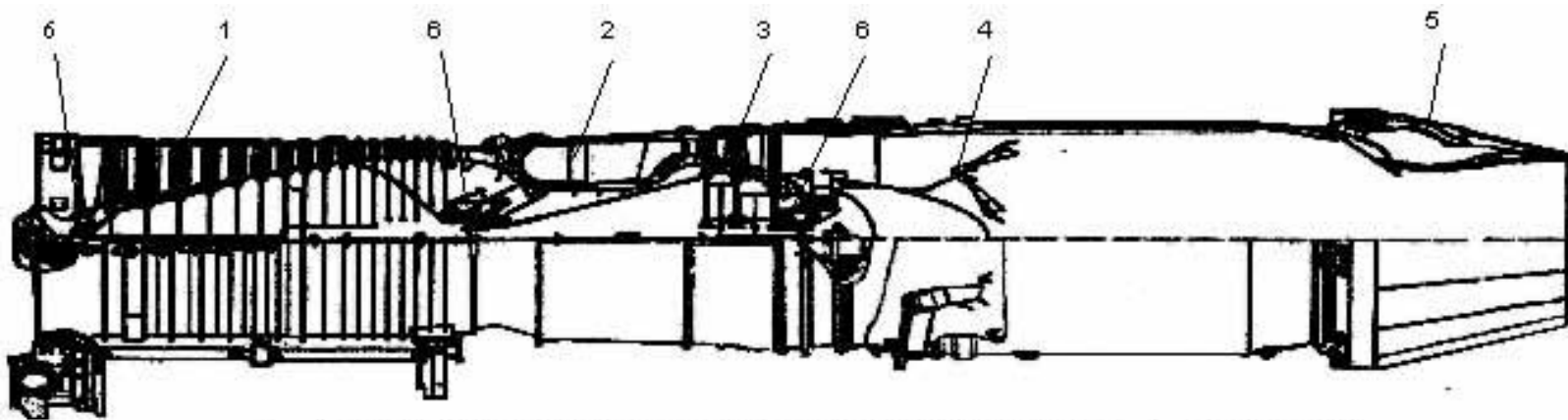
J79

General Electric

Тяга 5700 кгс

Тяга (ф) 8900 кгс

F-4E/G.



1 – 17-ступенчатый компрессор с поворотными ВНА и НА 1...6 ступеней;
2 – трубчато-кольцевая камера сгорания; 3 – 3-х ступенчатая турбина;
4 – форсажная камера; 5 – регулируемое сопло; 6 – опоры с подшипниками

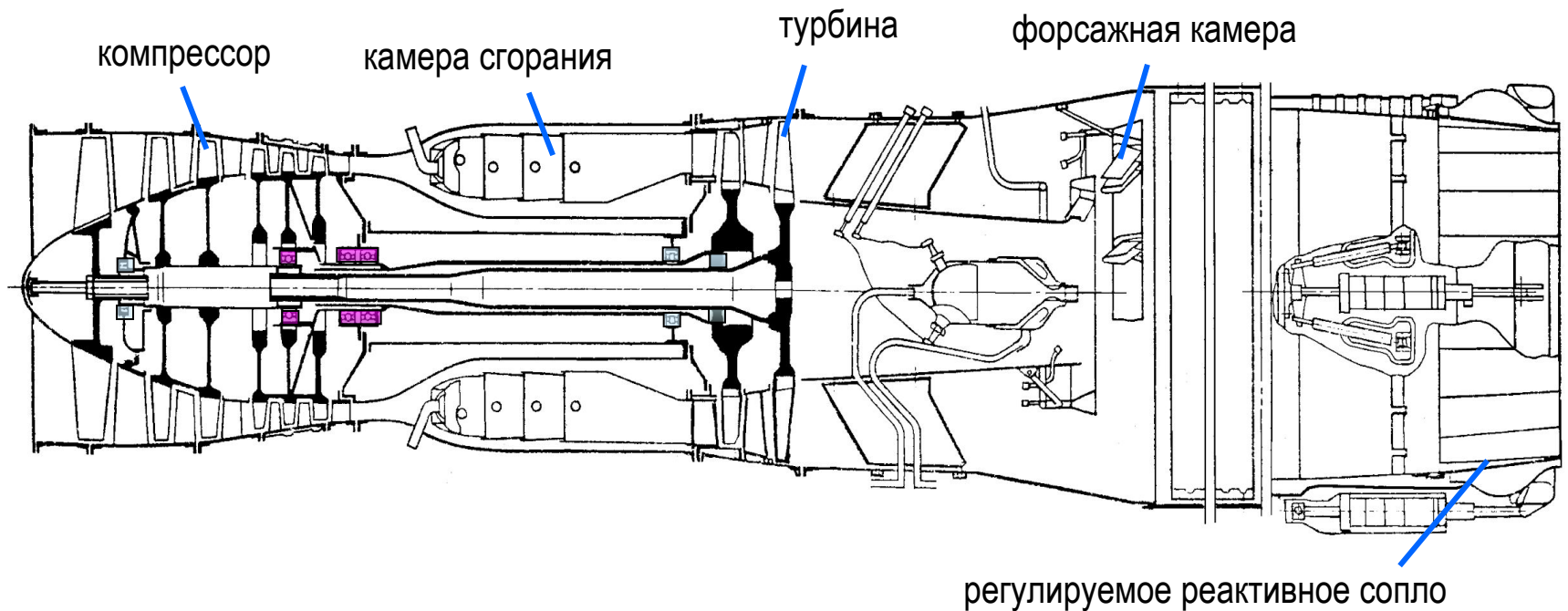


повышение тяги в 2 и более раз
 T_{ϕ} до 2000К



низкая экономичность,
большая длина,
неустойчивость (помпаж)

Конструктивная схема двухвального ТРДФ



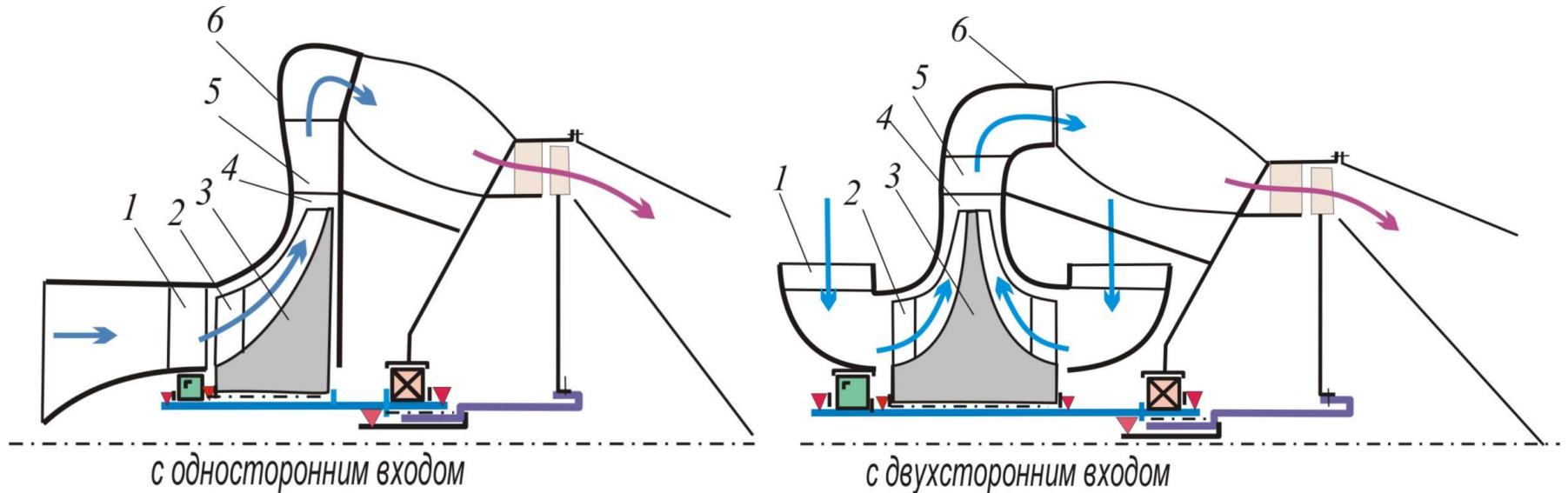
Р-11Ф300

Миг 21

⊕ устойчивость

⊖ сложность

Схемы ТРД с одноступенчатым центробежным компрессором



1- неподвижный НА 2- подвижный НА 3 - рабочее колесо
 4- безлопаточный диффузор 5- лопаточный диффузор 6 - улитка



- высокая степень сжатия в одной ступени (5 и более)
- простота
- малая длина и вес



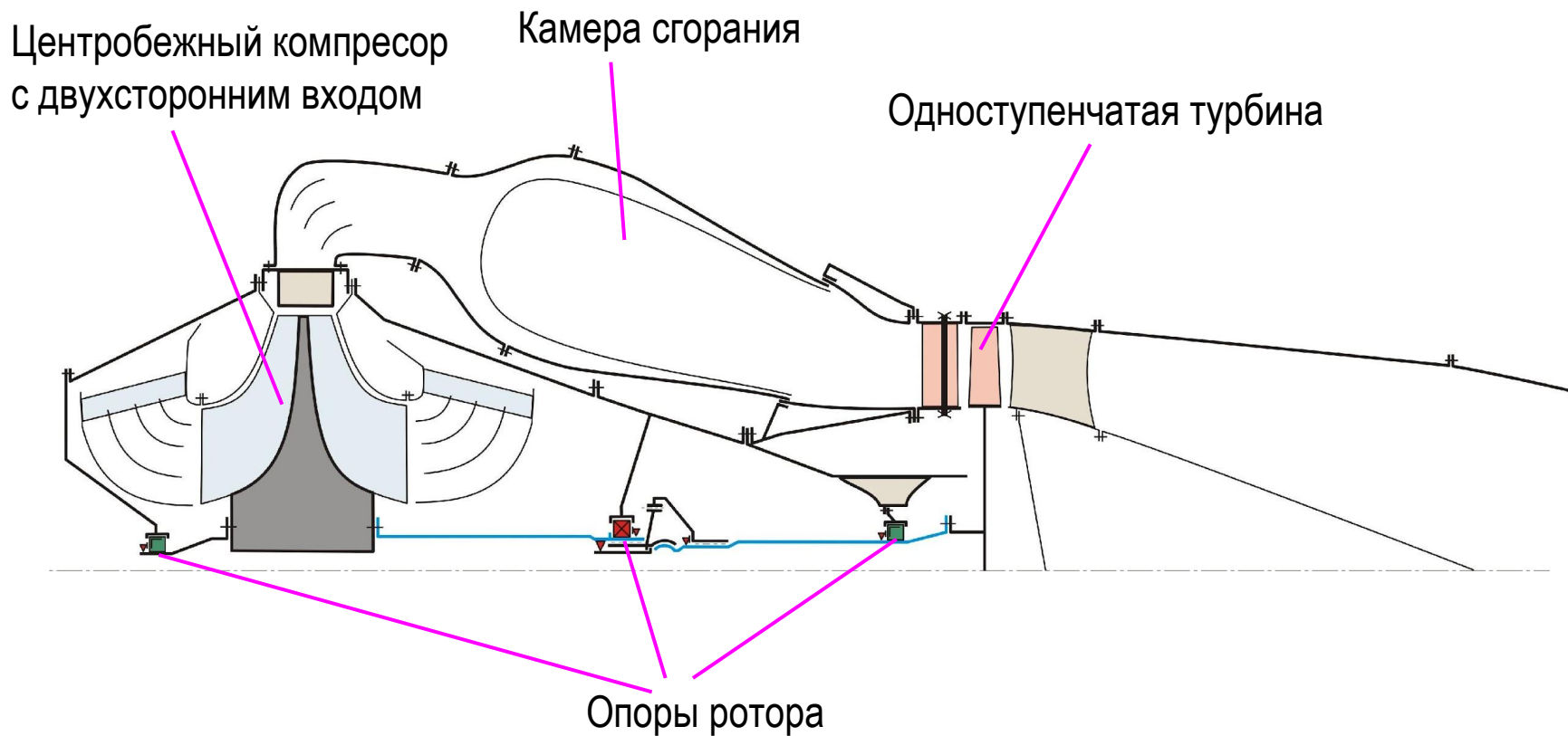
- низкая суммарная степень сжатия (не более двух ступеней)
- высокие гидравлич.потери
- большой диаметр

Область применения:

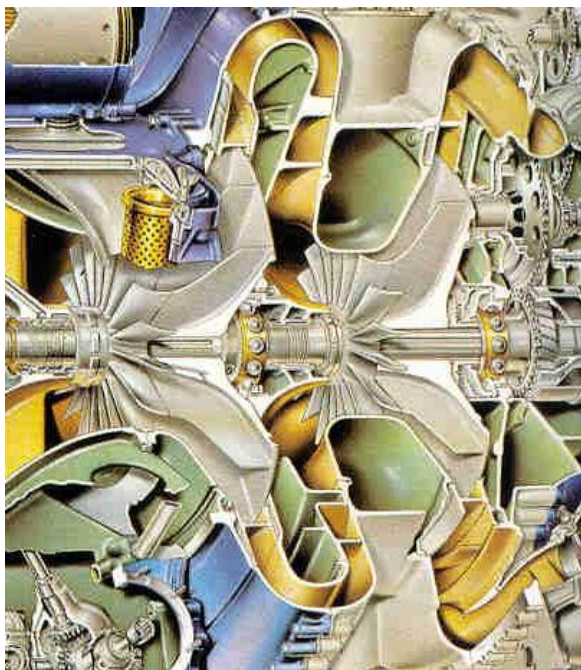
малогабаритные ТВД, ТВад,

Схемы ТРД с одноступенчатым центробежным компрессором

ТРД ВК-1



Двухступенчатый центробежный компрессор Rolls-Royce Dart



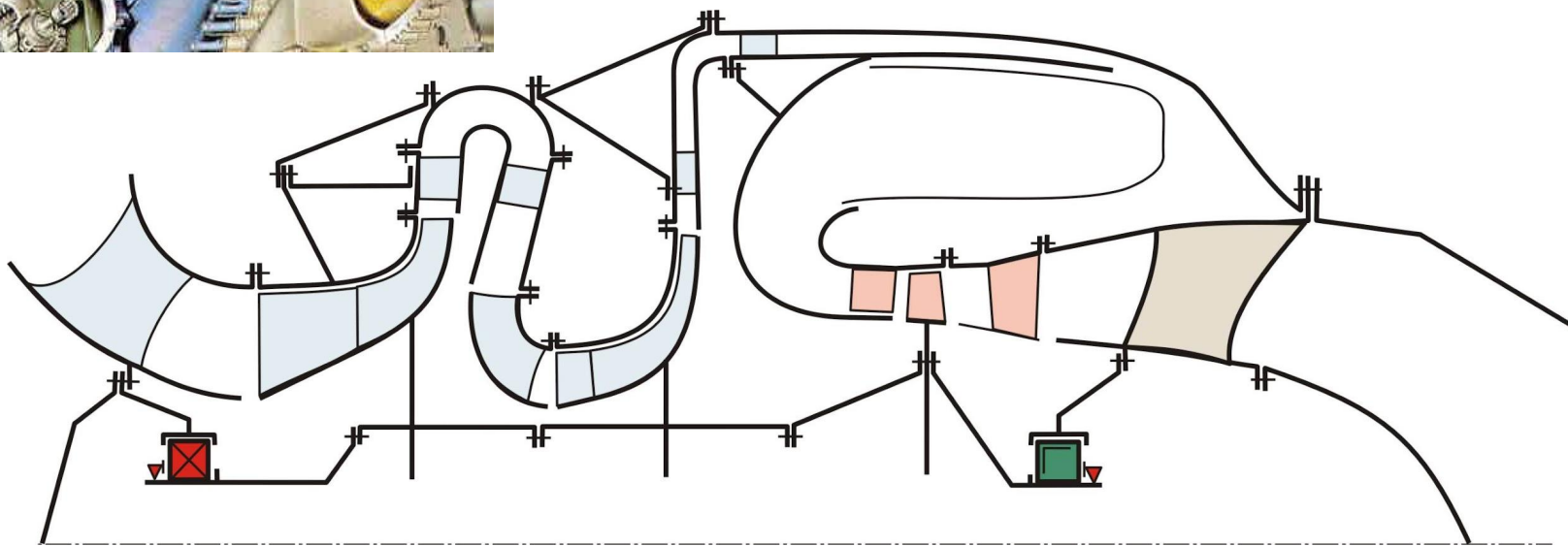
Конструктивные схемы турбореактивных двигателей



- высокая степень сжатия (до 25)
- простота
- малая длина и вес

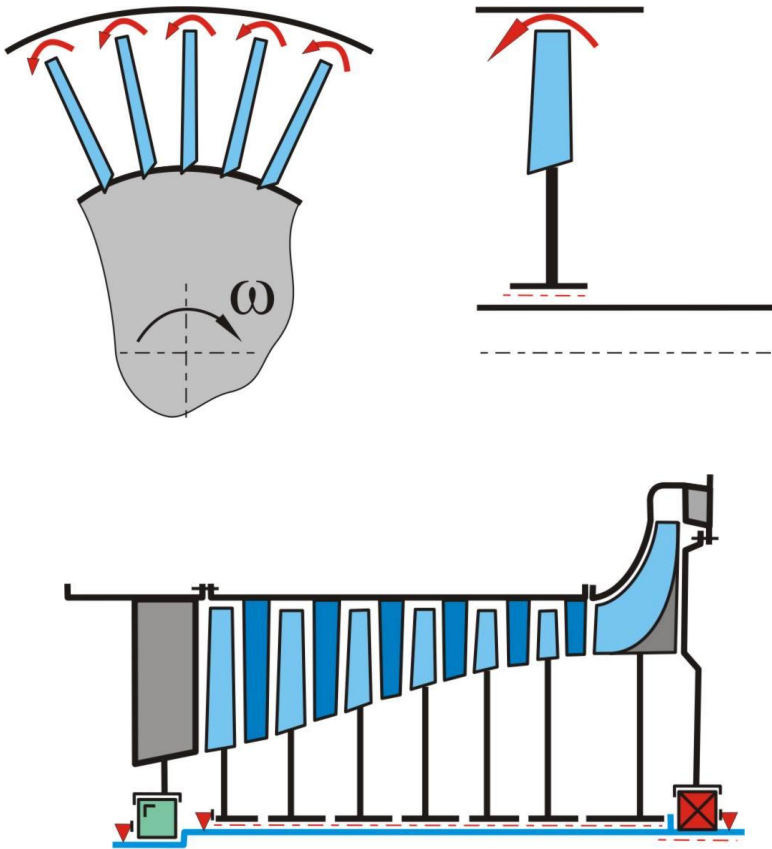


- высокие гидравлич. потери
- большой диаметр

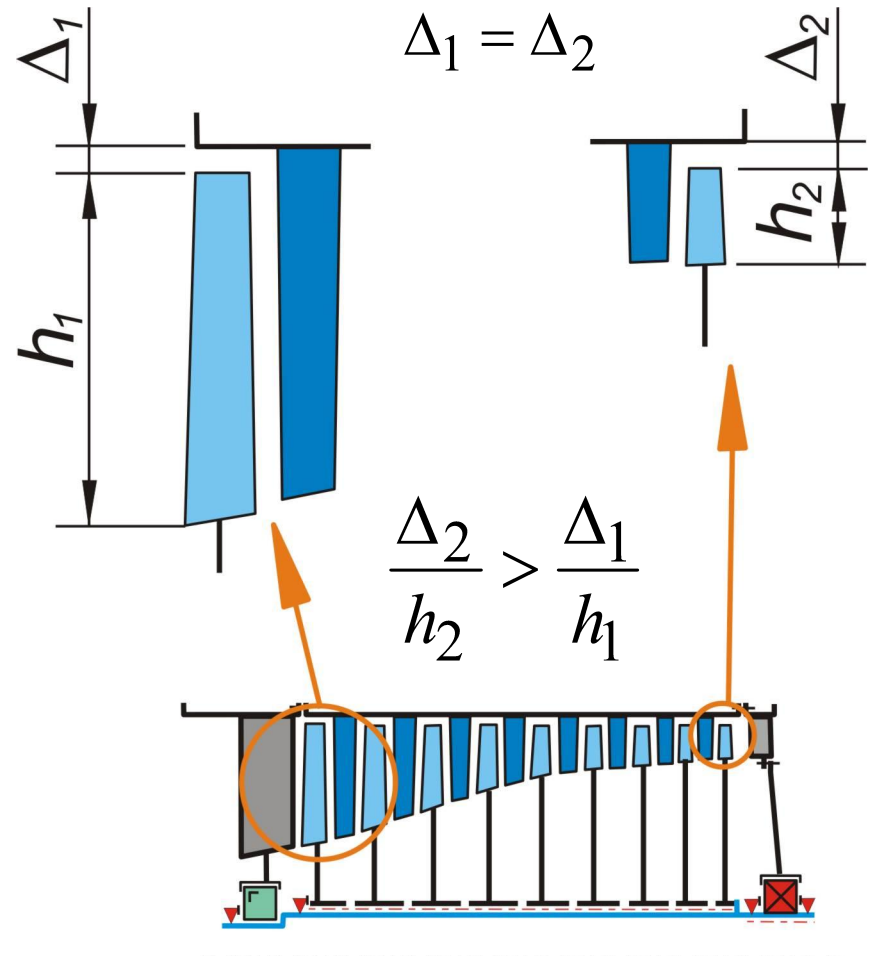


Конструктивные схемы турбореактивных двигателей

Конструктивная схема ТРД с осецентрированным компрессором

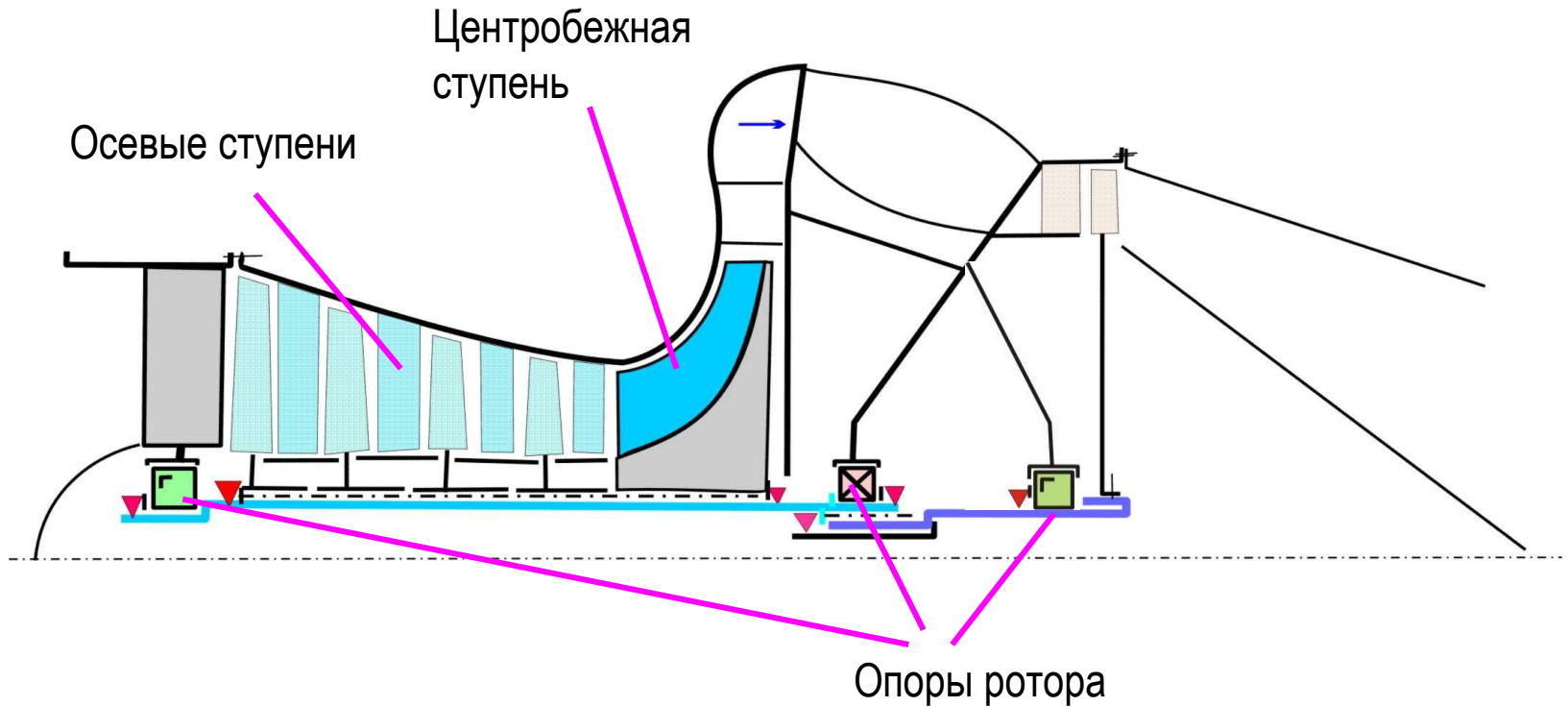


Осецентрированным компрессор



Осевой компрессор

Конструктивная схема ТРД с осецентрибежным компрессором

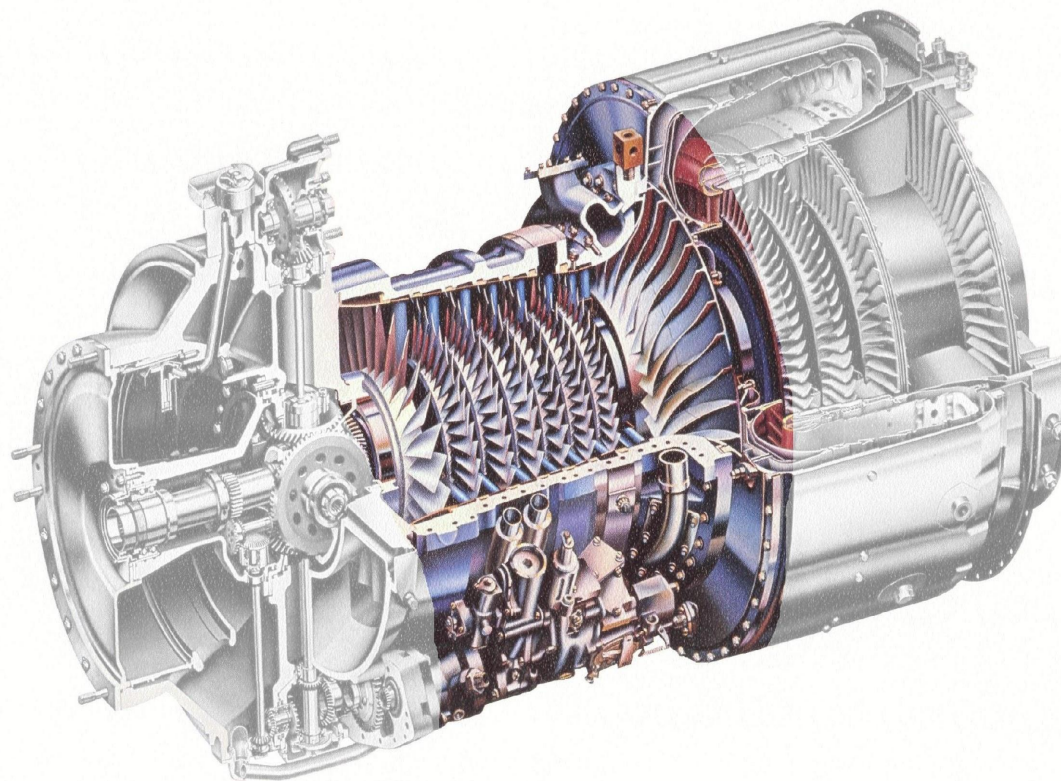


- простота
- малая длина и вес
- нет коротких лопаток



- большой диаметр
- гидравлич. потери

Конструктивные схемы турбореактивных двигателей



Осецентрированный компрессор
двигателя Т53 Honeywell

Двухконтурные турбореактивные двигатели (ТРДД)

Классификации ТРДД

*По количеству роторов

1-, 2-, 3-вальные

- По наличию смесителя
- По наличию форсажной камеры
- По степени двухконтурности

Низкая $m=0.5...1.5$:

Высокая $m=4...9$

Сверхвысокая $m=9...12$

- Открытый и закрытый вентилятор
- Переднее и заднее расположение вентилятора
- По наличию редуктора

Низкая двухконтурность:

многоступенчатый КНД, смешение

Пример Д-30

Высокая двухконтурность:

подпорные ступени (бустер),

смешение ПС-90 ($m=4.7$)

без смешения CFM56-5B ($m=5$)

GE90 ($m=8,4$)

Сверхвысокая двухконтурность:

без смешения

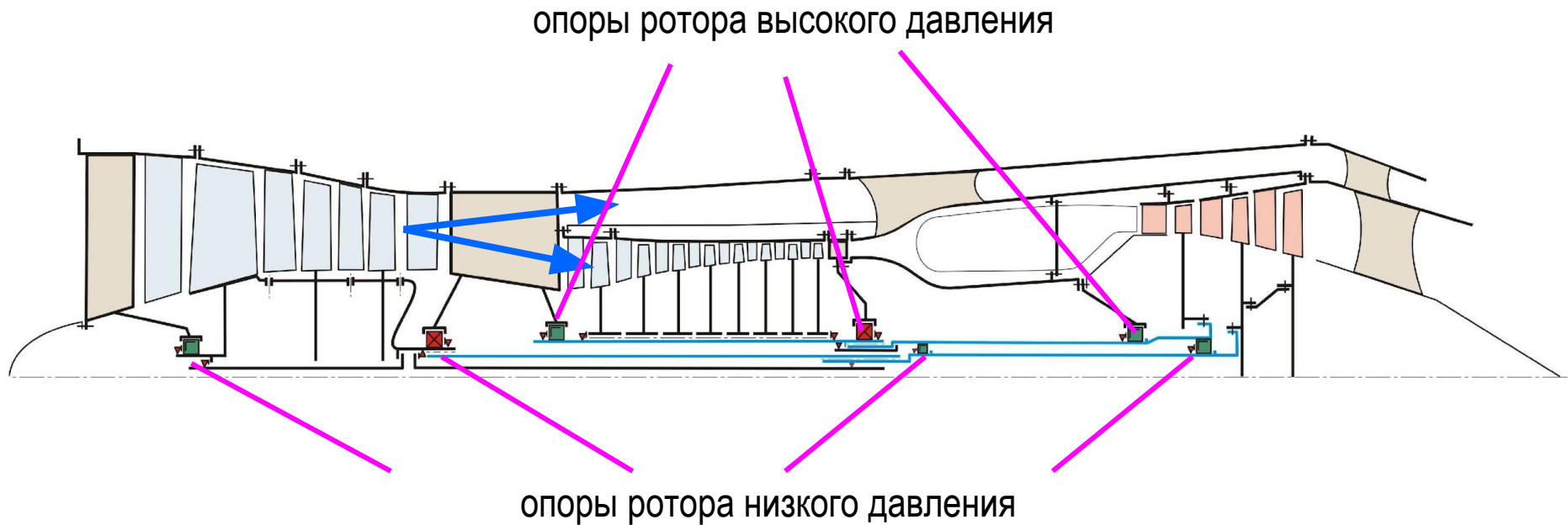
без нар. контура

PW8000 (проект, $m=10...11$)

редукторы

Двухконтурные турбореактивные двигатели (ТРДД)

Конструктивная схема ТРДД двухвальной схемы без смешения потоков

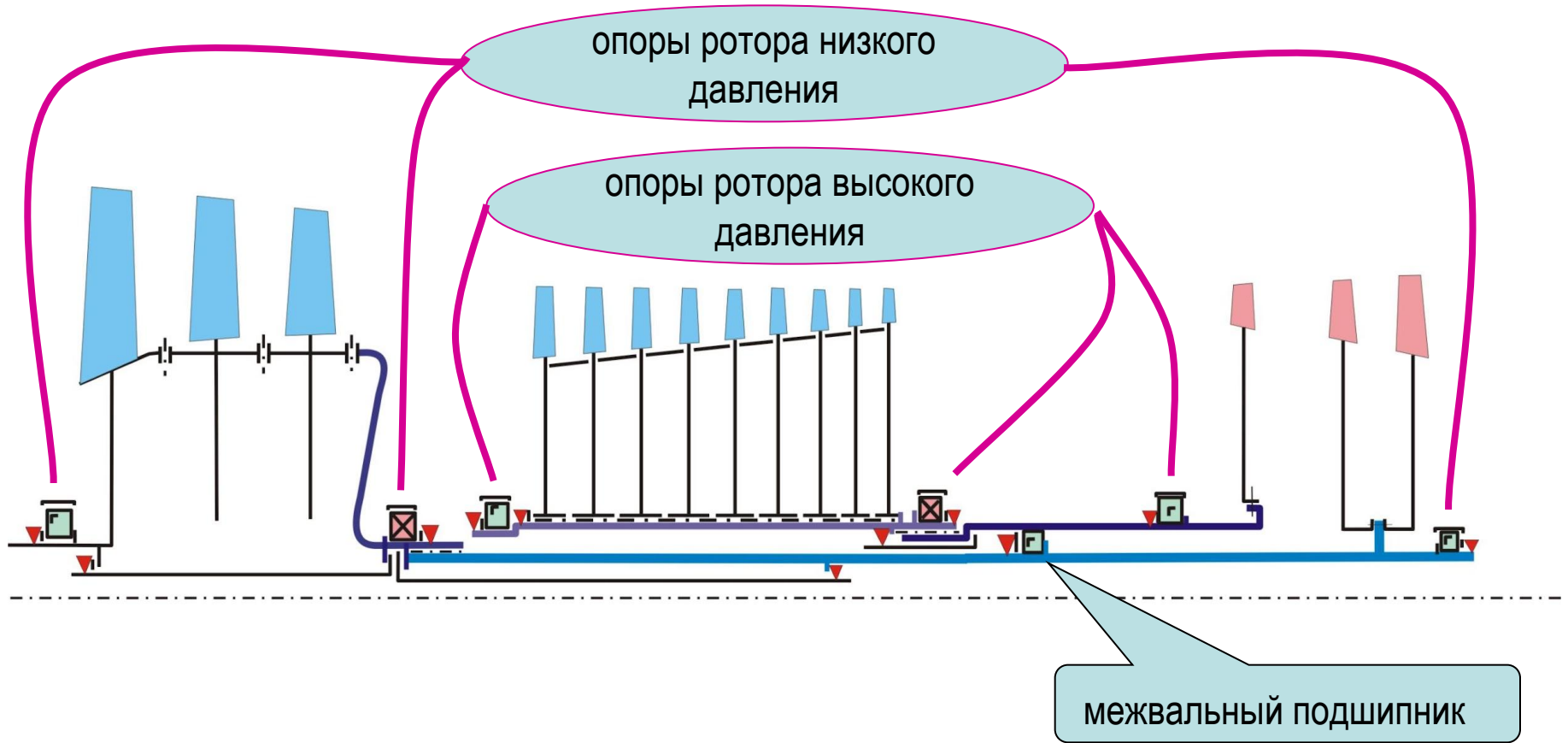





экономичность (увеличивается с ростом m)
устойчивость, многорежимность
низкий шум и выбросы ВВ (по сравнению с ТРД)






сложность

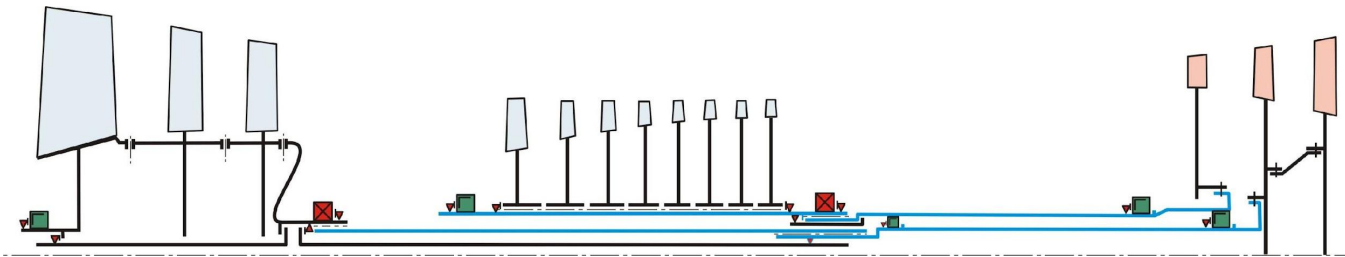
Ротор двухвального ТРДД



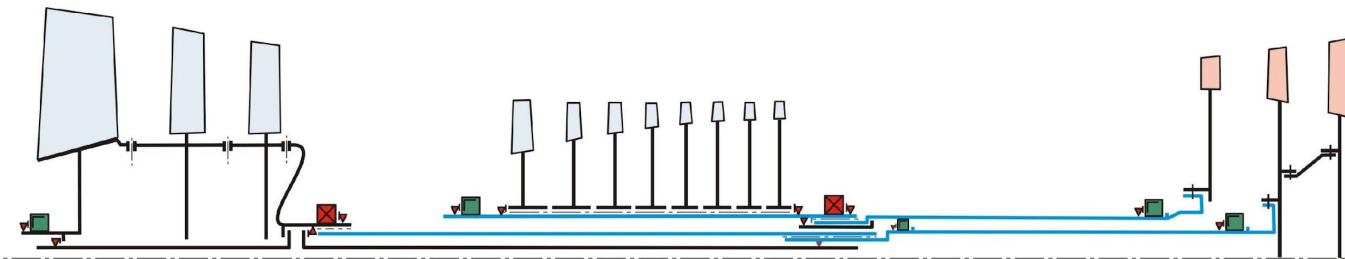
-  Роликовый подшипник
-  Шариковый подшипник
-  Гайка

-  Шлицевое соединение
-  Фланцевое соединение
-  Вал

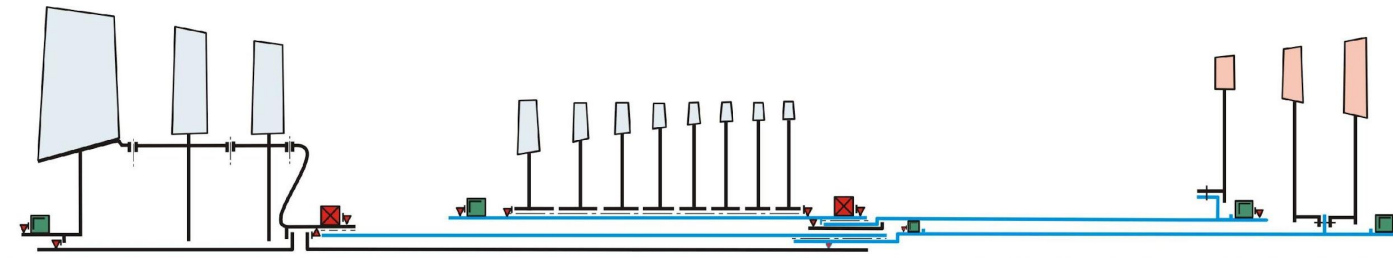
Схемы роторов двухвальных ТРДД



- ⊕ жесткость
- ⊖ низкий ресурс подшипников турбины межвальный подшипник



- ⊕ высокий ресурс подшипников турбины
- ⊖ межвальный подшипник



- ⊕ простота
- ⊖ низкая жесткость

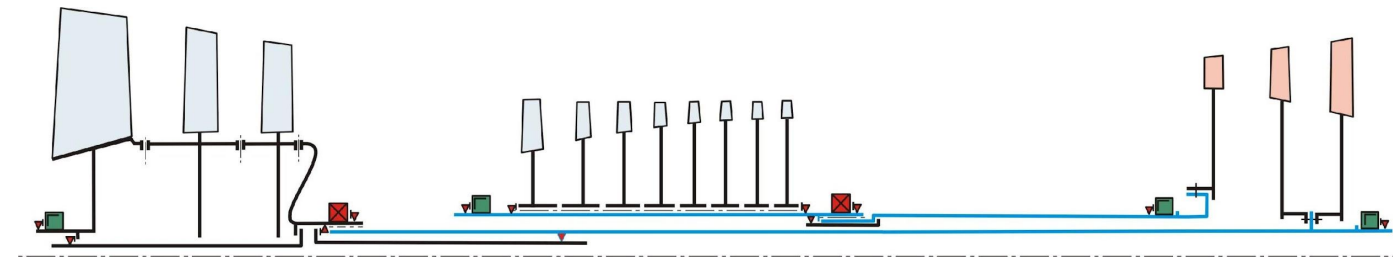


Схема силового корпуса двухвального ТРДД

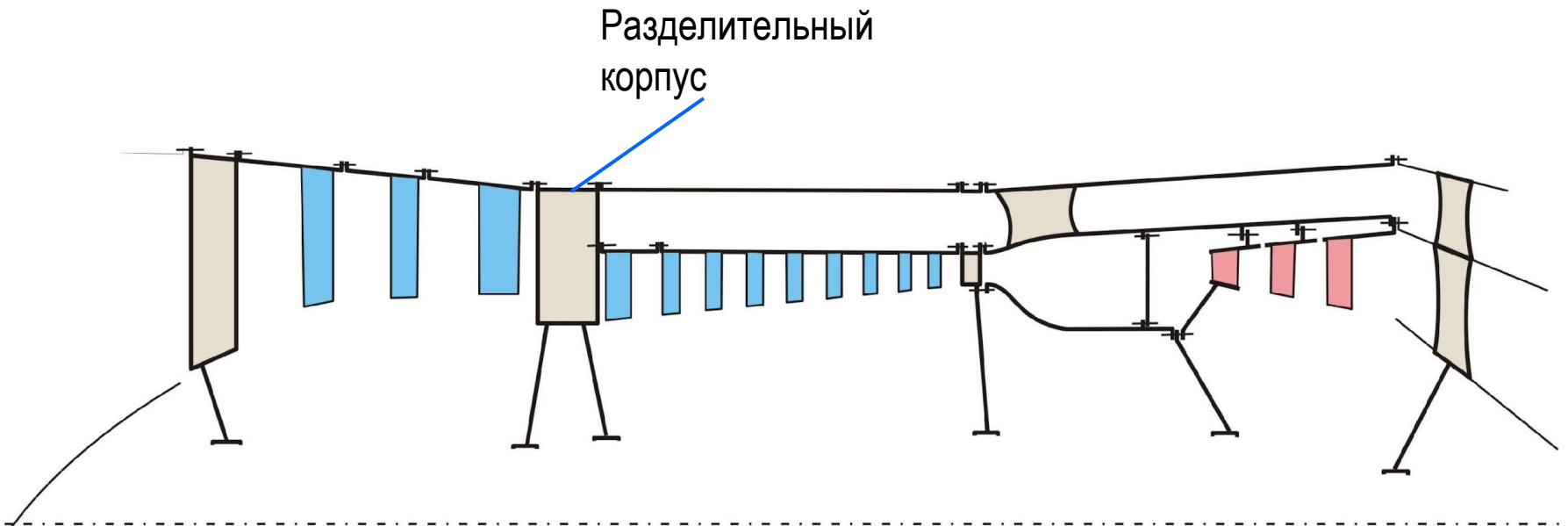
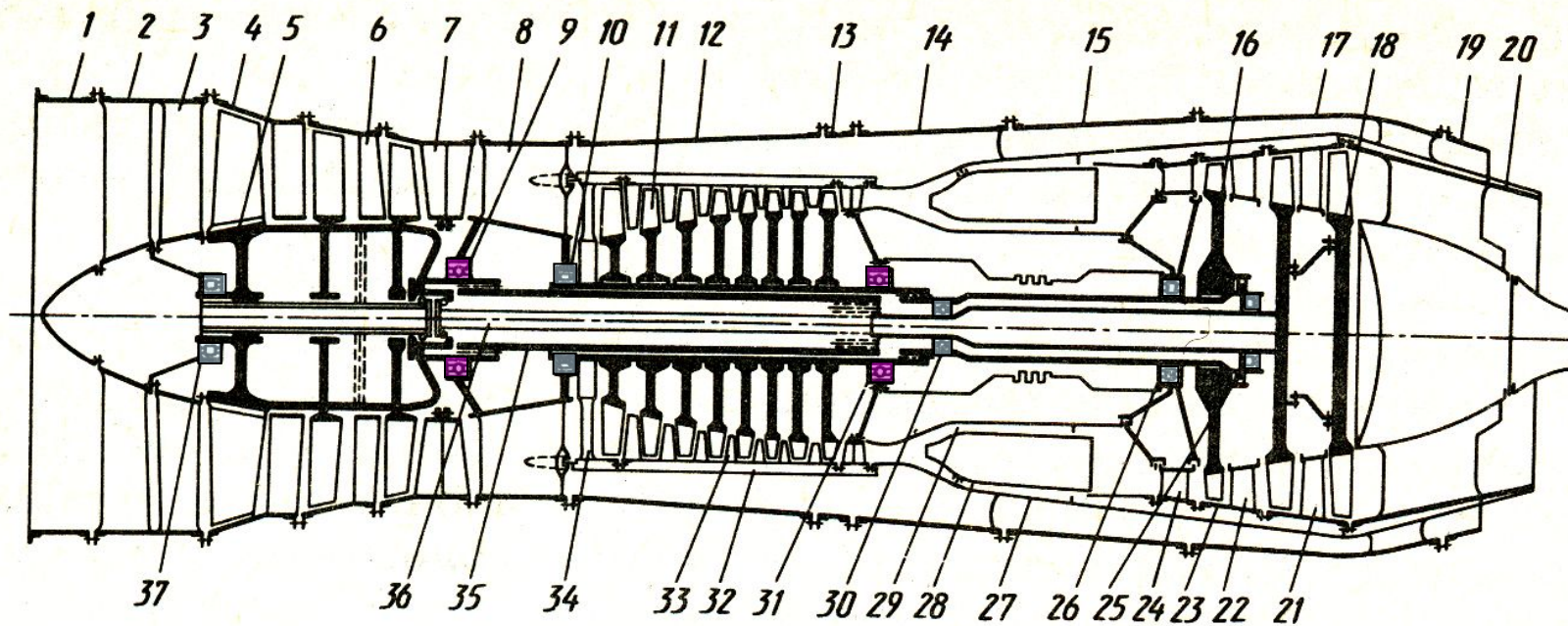


Схема двухвального ТРДД



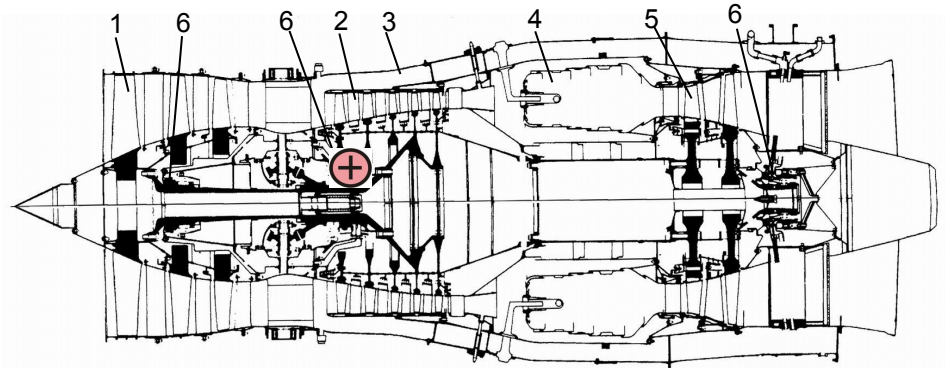
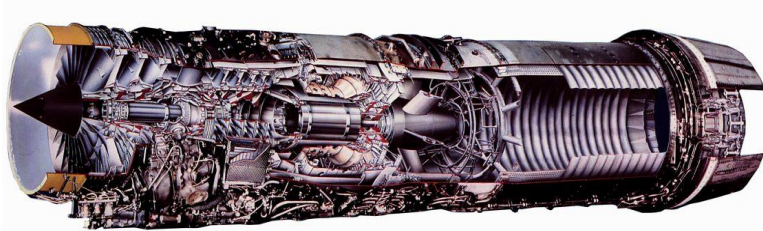
Д20П

«Авиадвигатель», 1960

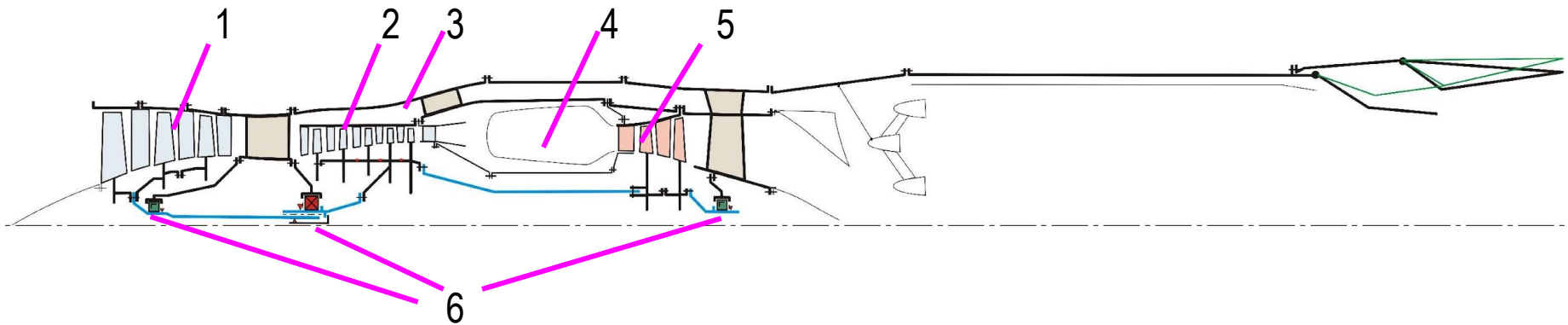
Ту-124

Схема одновального ТРДДФ

М53. Спесна. Тяга 95 кН, Мираж 2000



1 – КНД, 2 – КВД, 3 – канал наружного контура, 4 – камера сгорания, 5 – турбина, 6 – опоры



простота

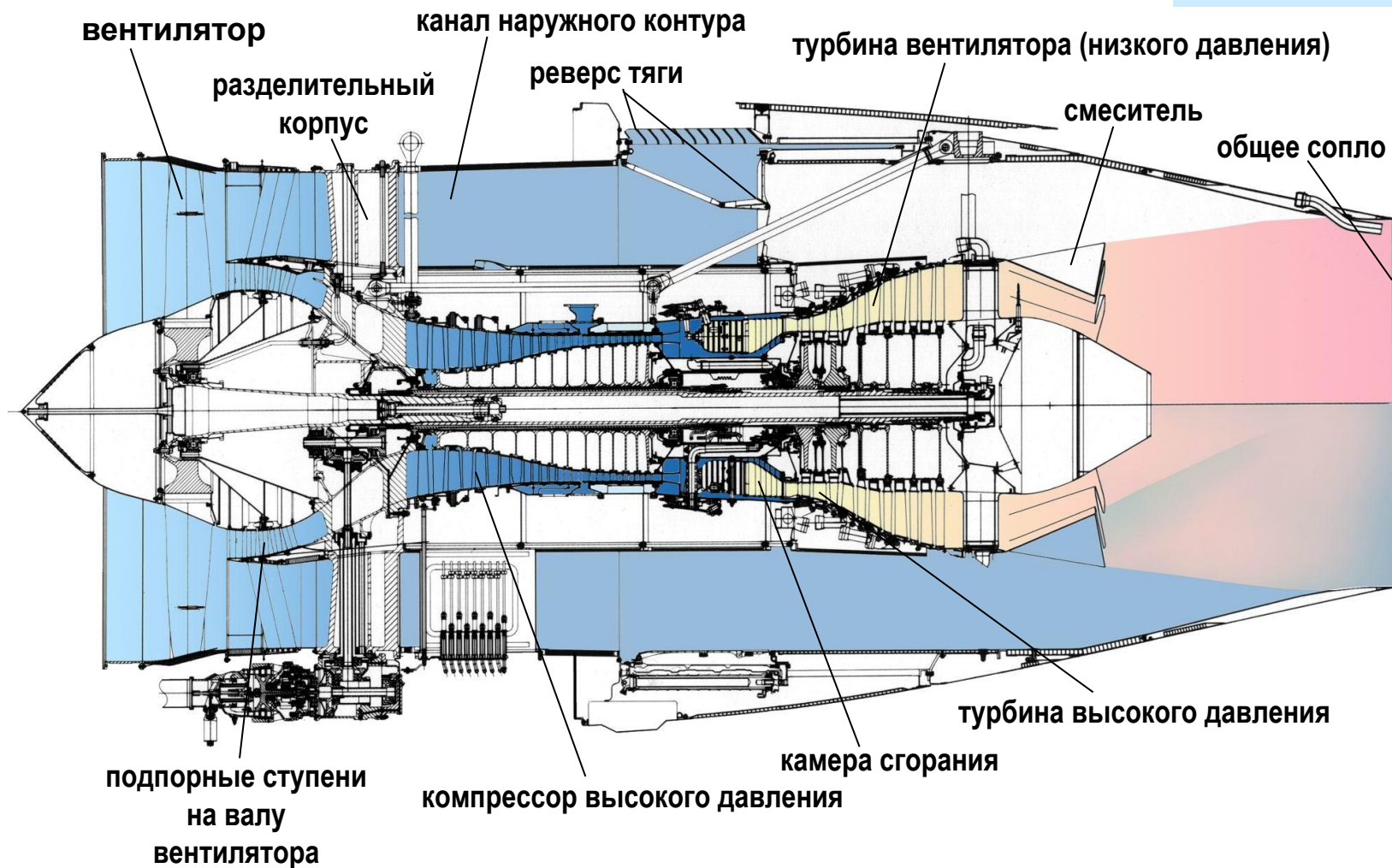


малый диапазон устойчивой работы компрессора
низкая экономичность ($m < 1.5$)

Конструктивная схема двухвального ТРДД со смешением потоков

Конструктивные схемы ТРДД

ПС-90А «Авиадвигатель»
Тяга 16 т
 $m=4.7$ $Se=0,595$ кг/кг*ч



ЭКОНОМИЧНОСТЬ



масса

Конструктивная схема двухвального ТРДД со
смещением потоков

ПС-90А «Авиадвигатель»
Тяга 16 т
 $m=4.7$ $C_e=0,595$ кг/кг*ч

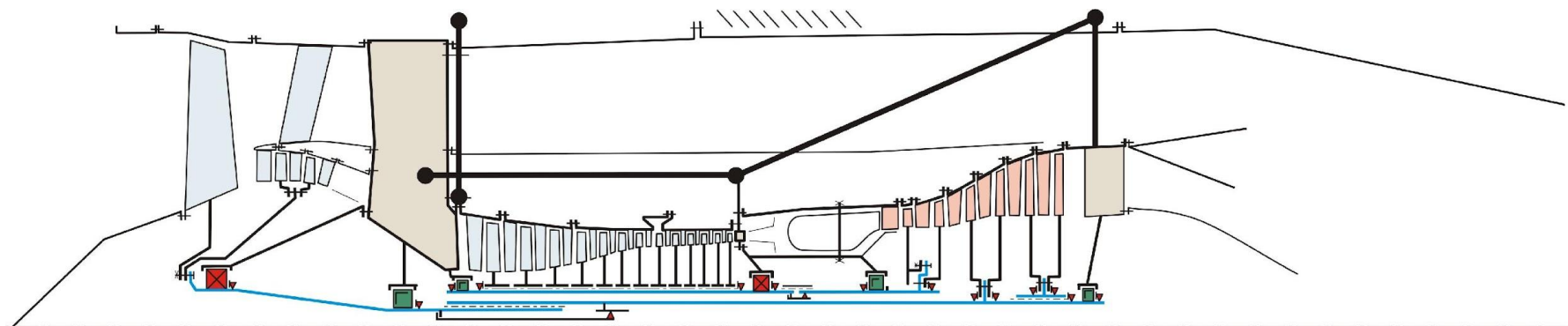
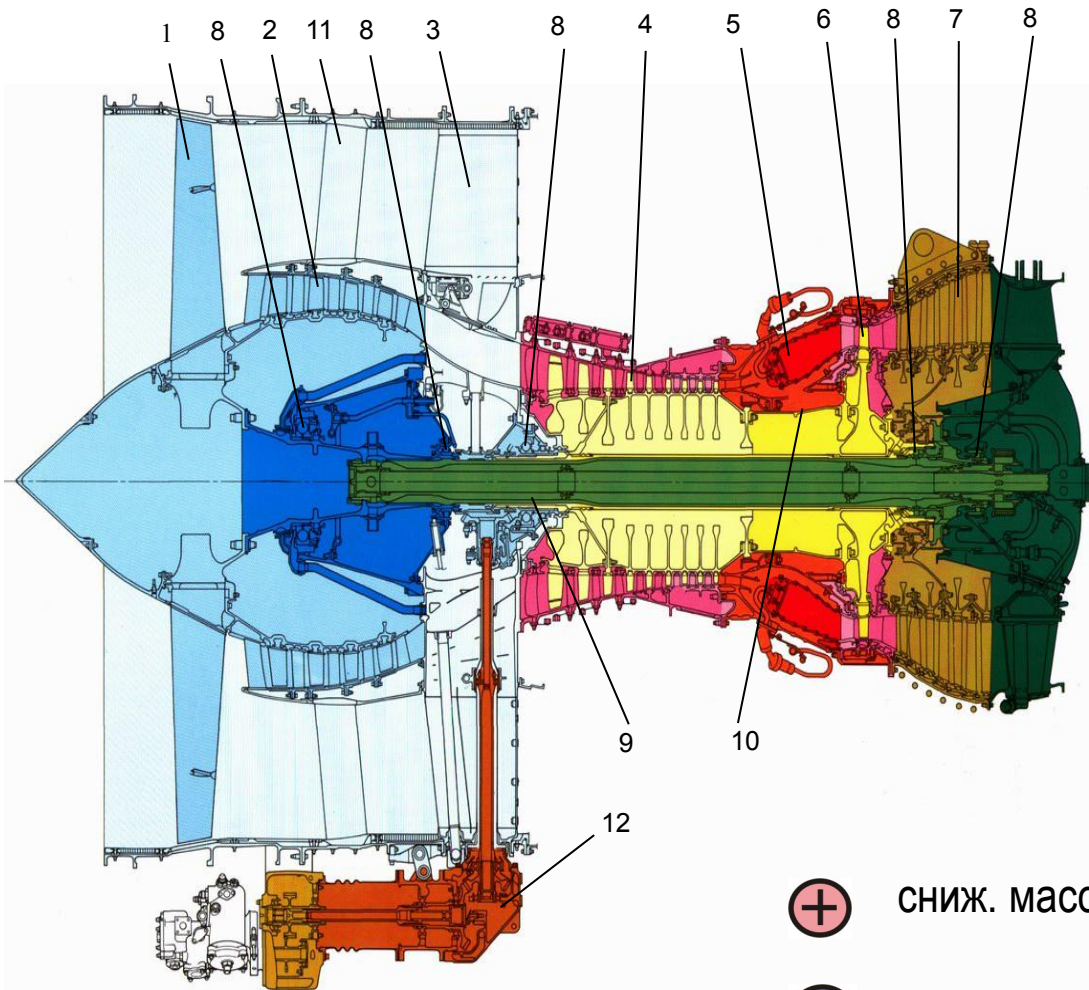


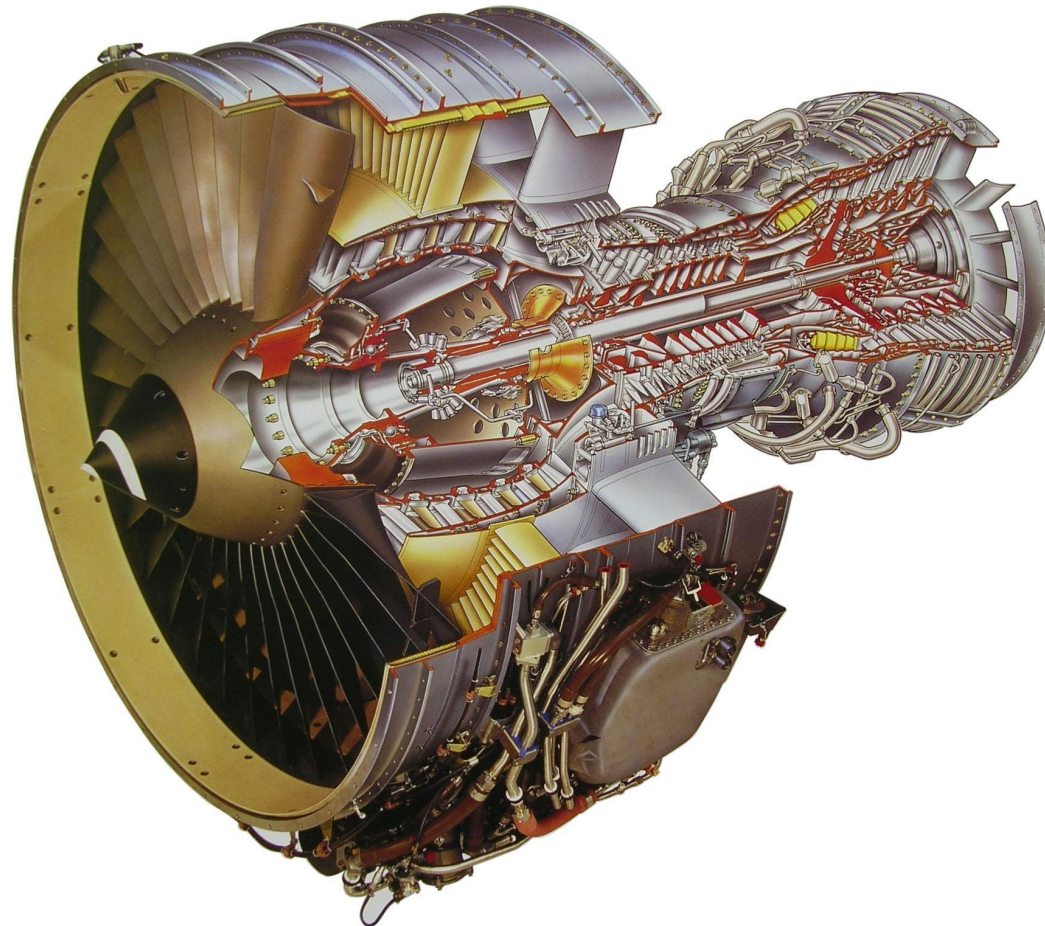
Схема двухвального ТРДД без смешения с открытым вентилятором

CFM56-5B
CFM International
Тяга 14,2 т
 $m=5$ $C_e=0,545$



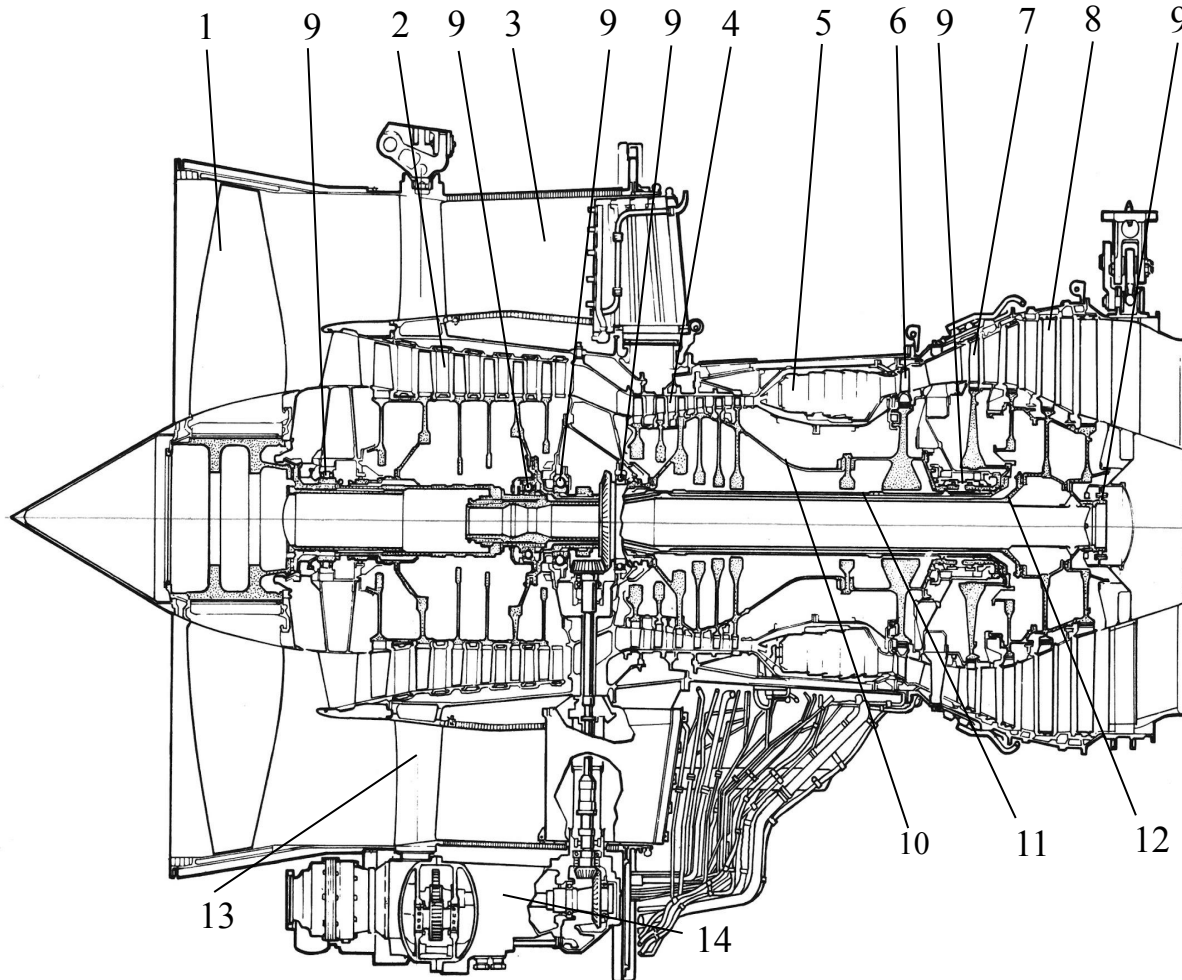
- 1 – вентилятор с полками;
- 2 – подпорные ступени;
- 3 – разделит. корпус;
- 4 – 9-ступенчатый КВД;
- 5 – камера сгорания;
- 6 – 1-ступенчатая ТВД;
- 7 – 4-ступенчатая ТНД;
- 8 – опоры;
- 9 – вал ротораНД;
- 10 – вал ротораВД;
- 11 – СА вентилятора;
- 12 – коробка приводов

Схема двухвального ТРДД без смешения с открытым вентилятором



CFM56-5B
CFM International
Тяга 14,2 т
m=5 Ce=0,545

Конструктивная схема трехвального ТРДД



RB211-535E4

Rolls Royce, 1984

Тяга 18,2 т

$m=4.3$ $C_e=0,598$

Boeing 757, Ту 204

- 1 – вентилятор;
- 2 – 6-ступенчатый КНД;
- 3 – канал нар. контура;
- 4 – 6-ступенчатый КВД;
- 5 – камера сгорания;
- 6 – 1-ступенчатая ТВД;
- 7 – 1-ступенчатая ТСД;
- 8 – 3-ступенчатая ТНД;
- 9 – опоры;
- 10 – вал ротора ВД;
- 11 – вал ротора СД;
- 12 – вал ротора НД;
- 13 – СА вентилятора;
- 14 – коробка приводов



Устойчивость
низкий уровень шума



сложность

Конструктивная схема трехвального ТРДД

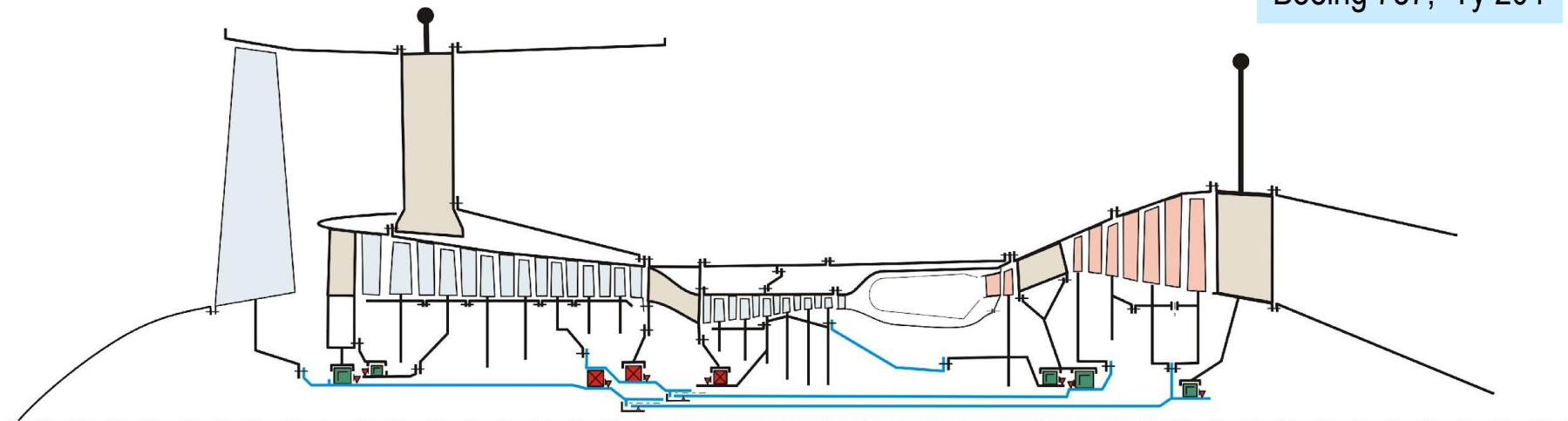
RB211-535E4

Rolls Royce, 1984

Тяга 18,2 т

$m=4.3$ $C_e=0,598$

Boeing 757, Ту 204

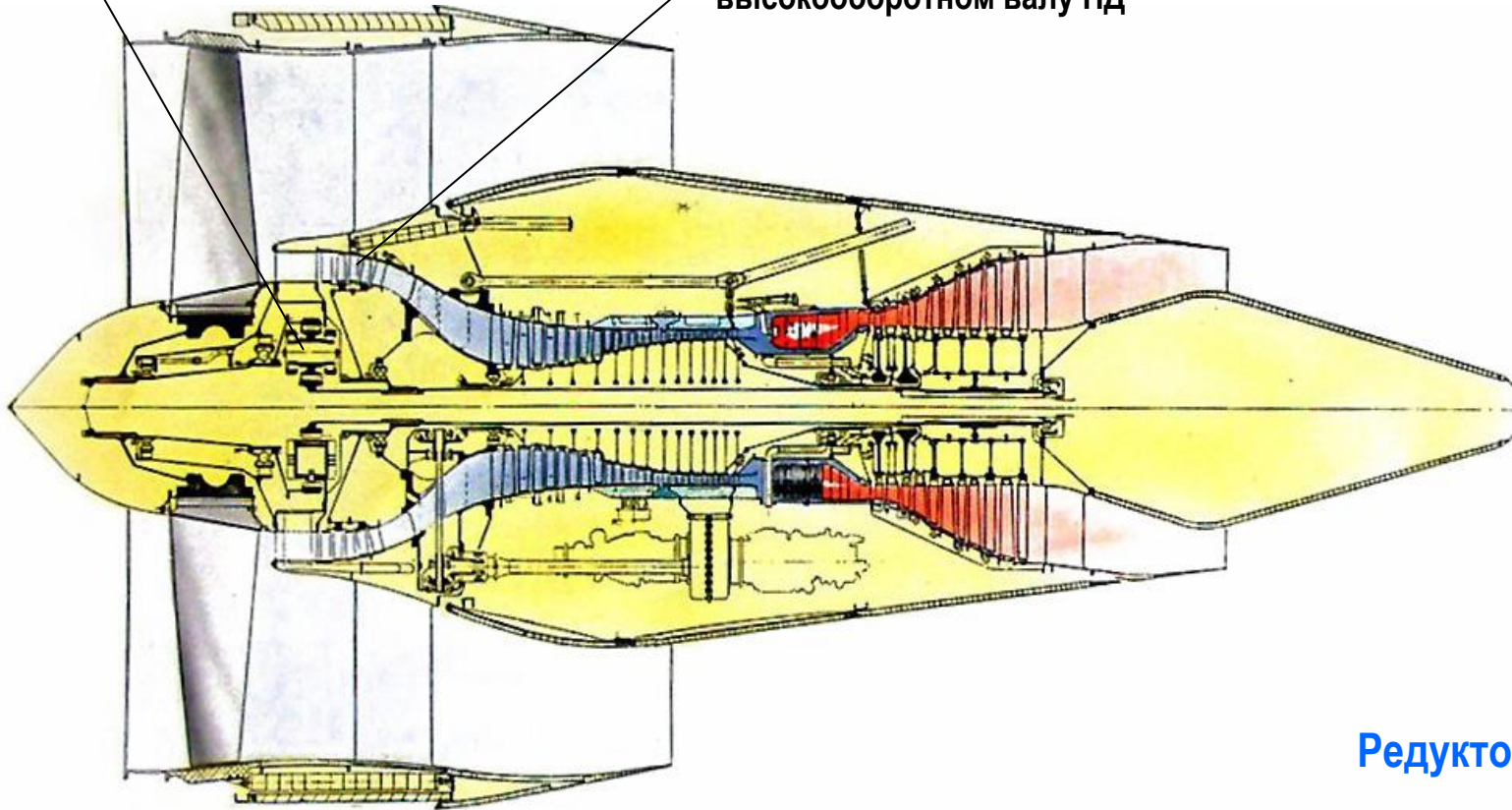


Конструктивная схема ТРДД со сверхвысокой степенью двухконтурности и редукторным приводом вентилятора

редуктор

подпорные ступени на высокооборотном валу НД

проект



Редукторы 20-30 МВт



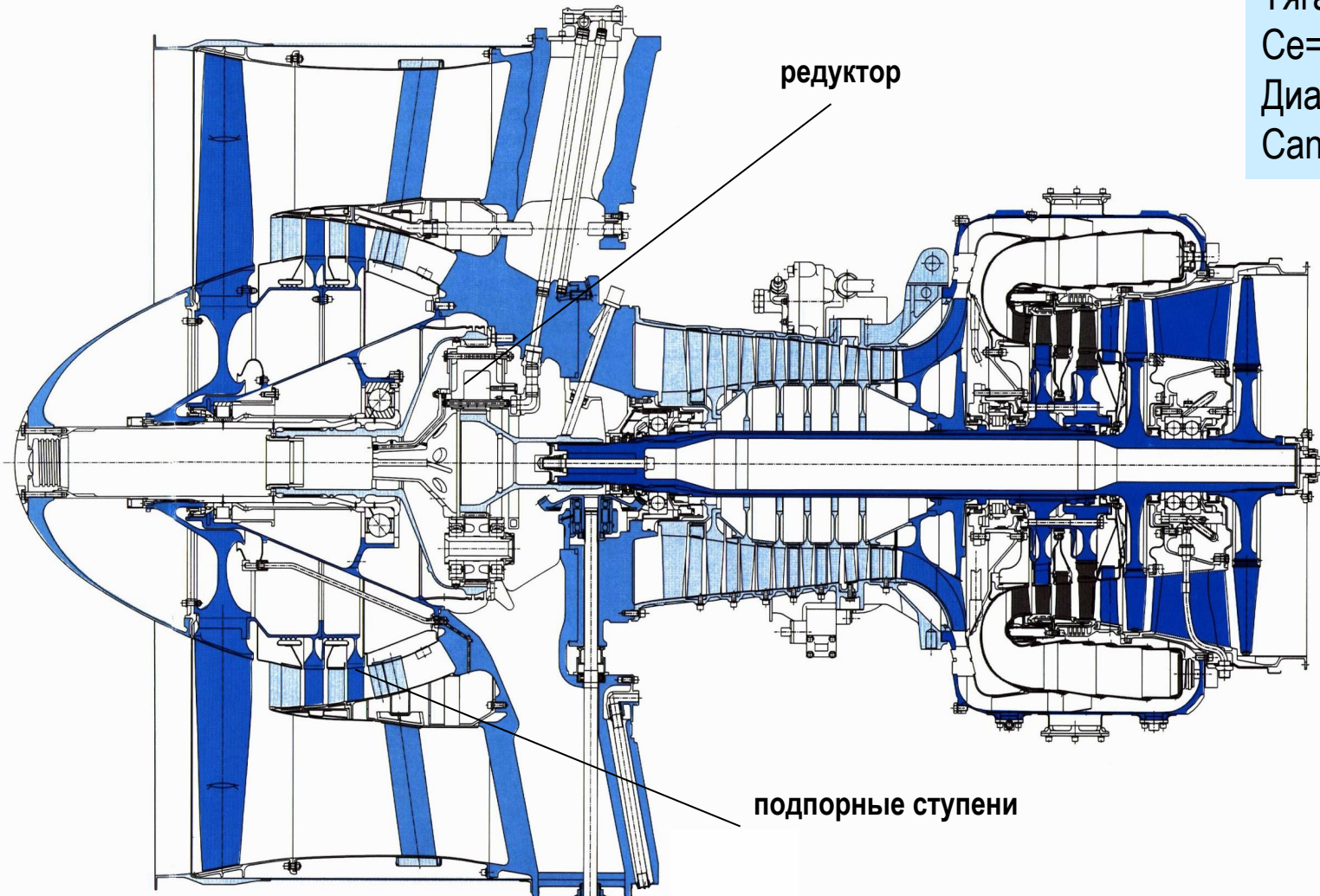
- снижение кр.момента,
- уменьшение ТНД
- экономичность – оптимизация η
- снижение шума



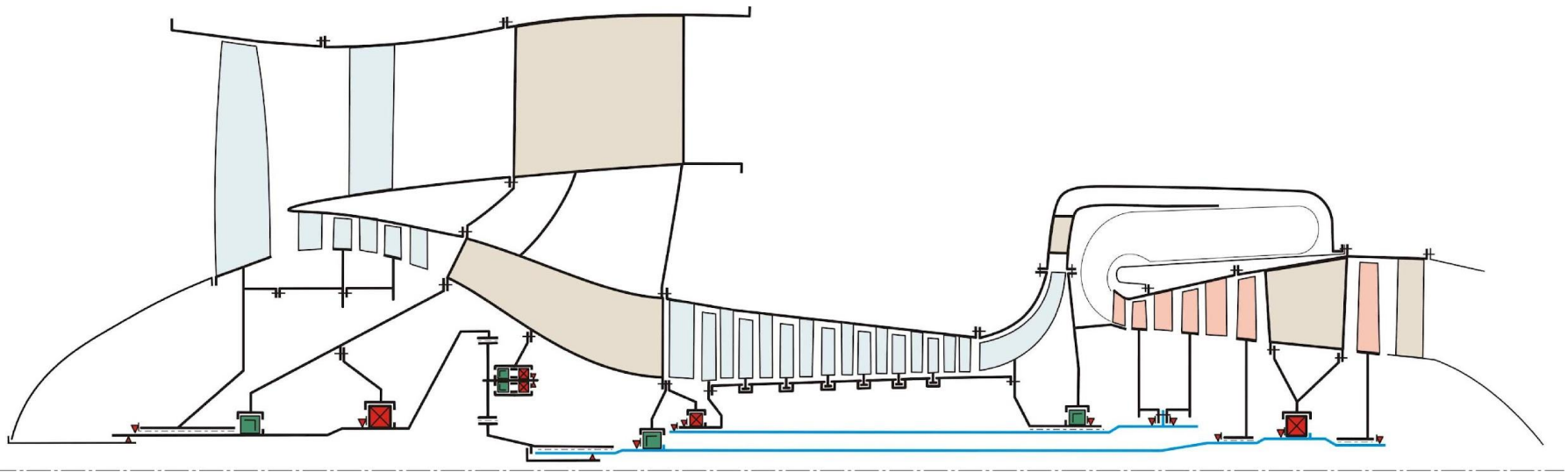
сложность редуктора
теплоотвод (1% - 200-300 Квт)

Конструктивная схема ТРДД малой размерности с
редукторным приводом вентилятора

ALF 502
Allied Signal
Тяга 3,54 т
 $S_e=0,72$ кг/кг*ч
Диаметр 1,2 м
Canadair Challenger



Конструктивная схема ТРДД малой размерности с
редукторным приводом вентилятора

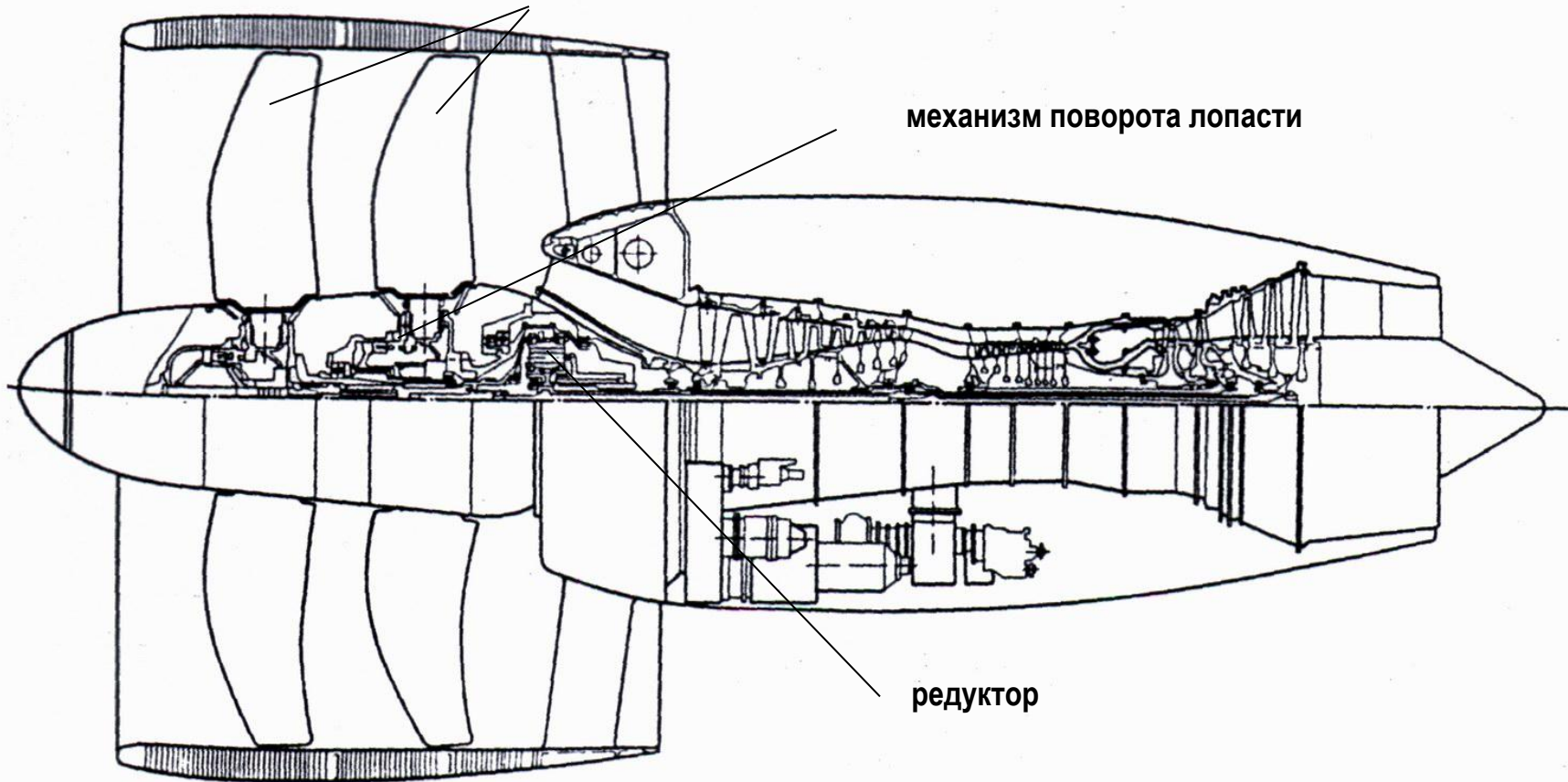


Конструктивная схема опытного трехвального ТВВД
с двухрядным винтовентилятором

НК-93 Самара «Труд»
Тяга 18 т Диаметр 2,9 м,
 $C_e=0,49$ кг/кг·ч.(прогноз)
Редуктор 22 тыс. кВт.

двухрядный винтовентилятор
с поворотными лопастями

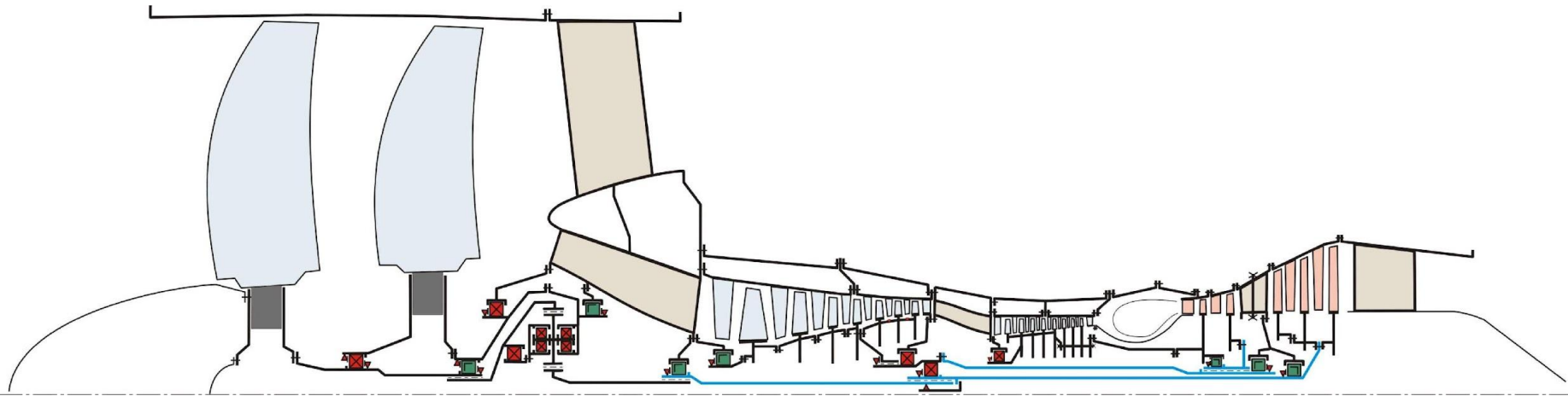
механизм поворота лопасти



редуктор

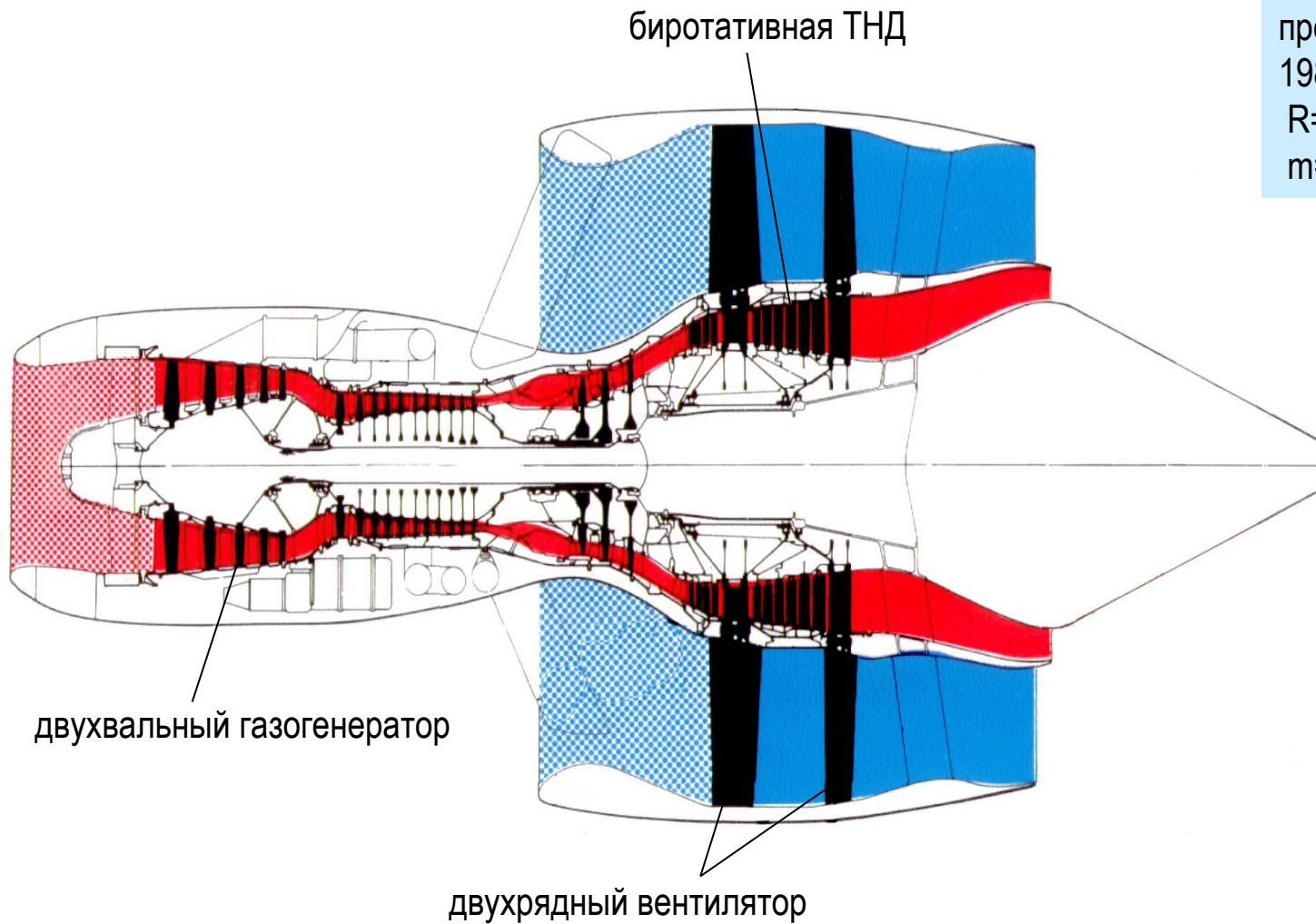
Конструктивная схема опытного трехвального ТВВД
с двухрядным винтовентилятором

НК-93 Самара «Труд»
Тяга 18 т Диаметр 2,9 м,
С_е=0,49 кг/кг·ч.(прогноз)
Редуктор 22 тыс. кВт.



Конструктивная схема ТРДД
с задним расположением вентилятора

Rolls-Royce,
проект «Contrafan»
1980-е г.г.
R=23...27 т
m=15,6



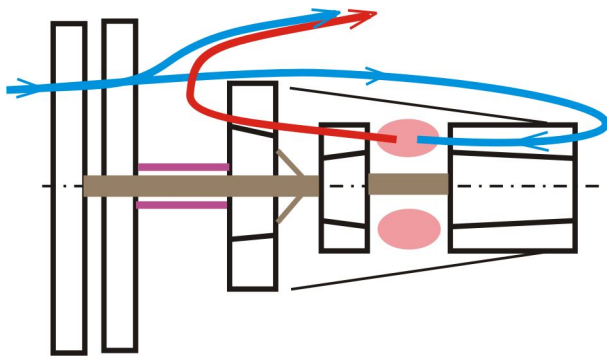
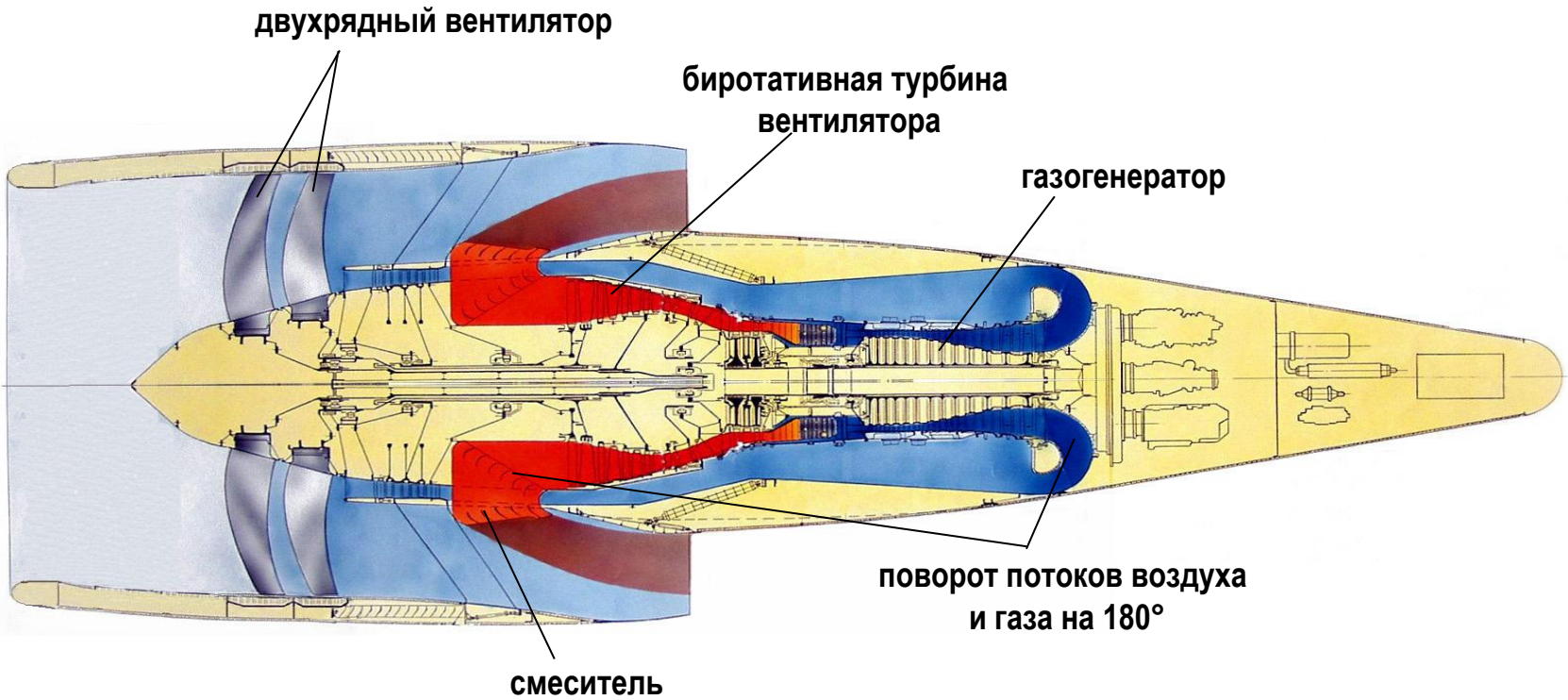
Меньше валов и опор



Низкая надежность крепления лопаток вентилятора

Конструктивная схема ТРДД с развернутым газогенератором и биротативной турбиной НД (проект)

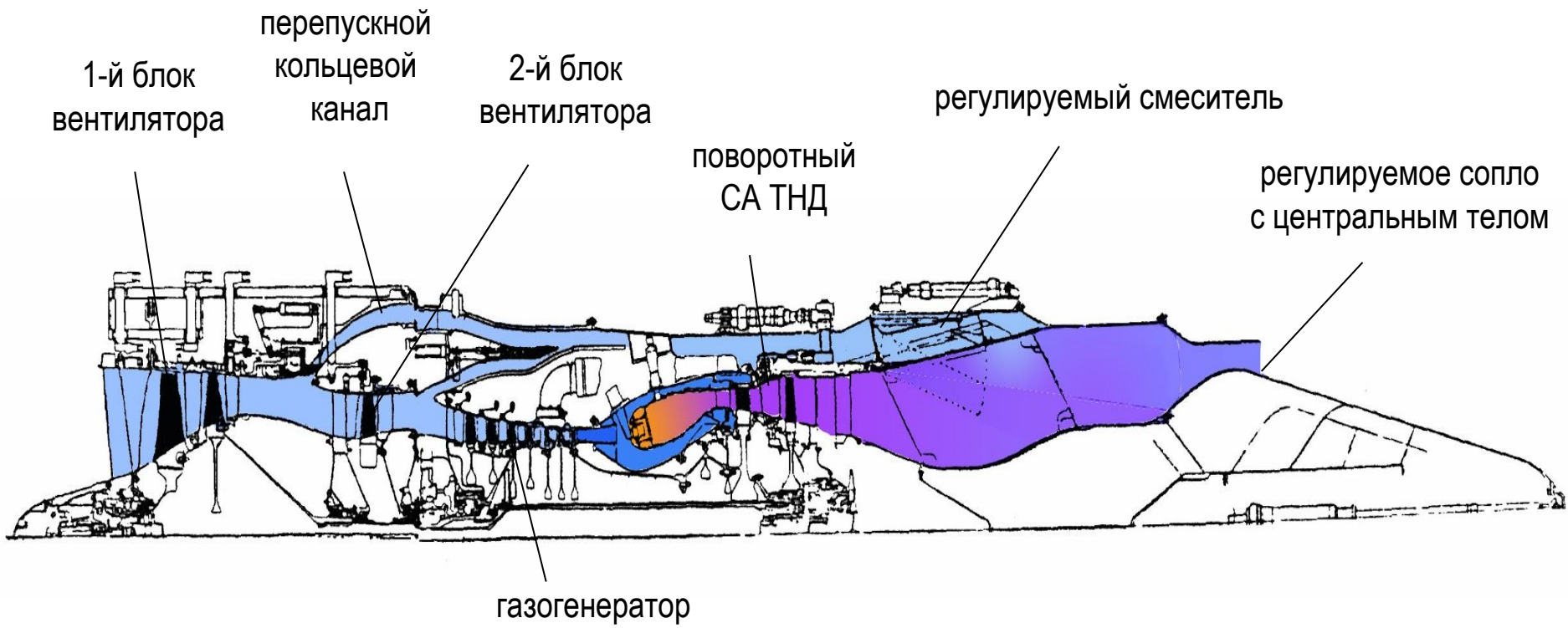
Конструктивные схемы ТРДД



- ⊕ Больше валов
- ⊕ Больше длина двигателя
- ⊕ Выше жесткость валов
- ⊖ Гидравлические потери

Конструктивная схема ТРДДФ изменяемого цикла (ДИЦ) фирмы General Electric (проект)

Конструктивные схемы ТРДД



регулируемая степень
двухконтурности



- экономичность
- снижение шума при взлете



Сложность

Двухконтурные турбореактивные двигатели с форсажными камерами ТРДДФ

Современные ТРДДФ
двухвальные (+ устойчивость, экономичность)
с общей форсажной камерой

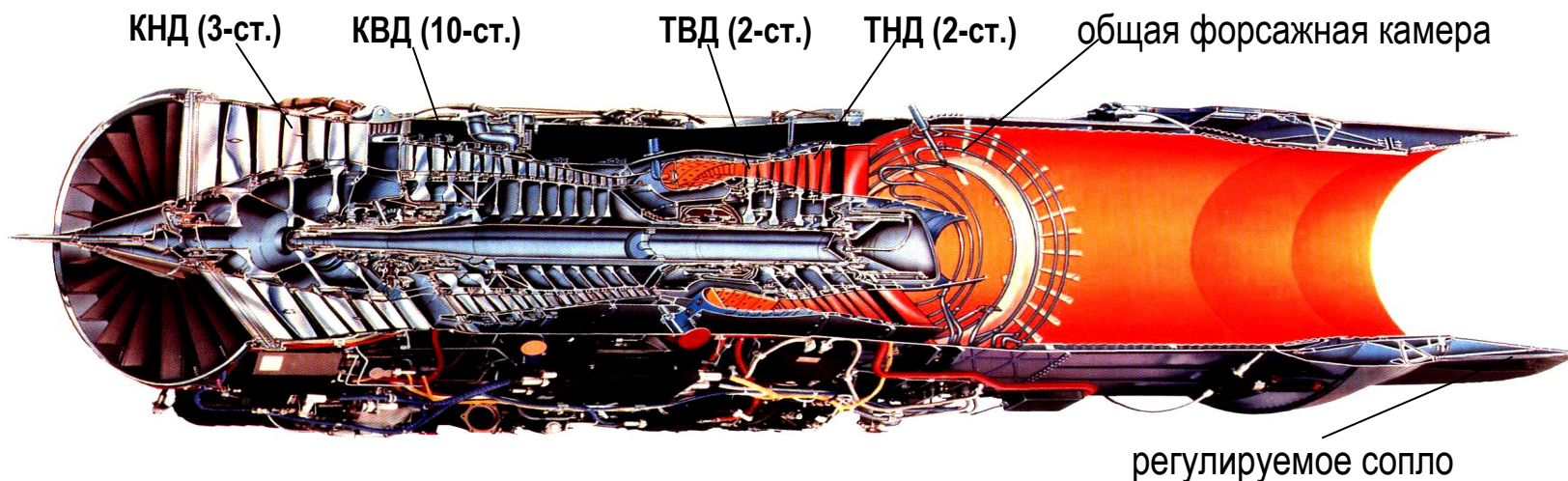
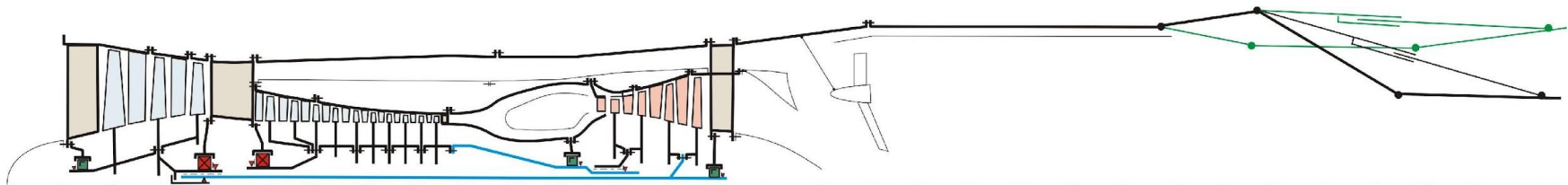
F100-PW229

Pratt&Whitney

Тяга 8.8 т. (форс. 13.2 т)

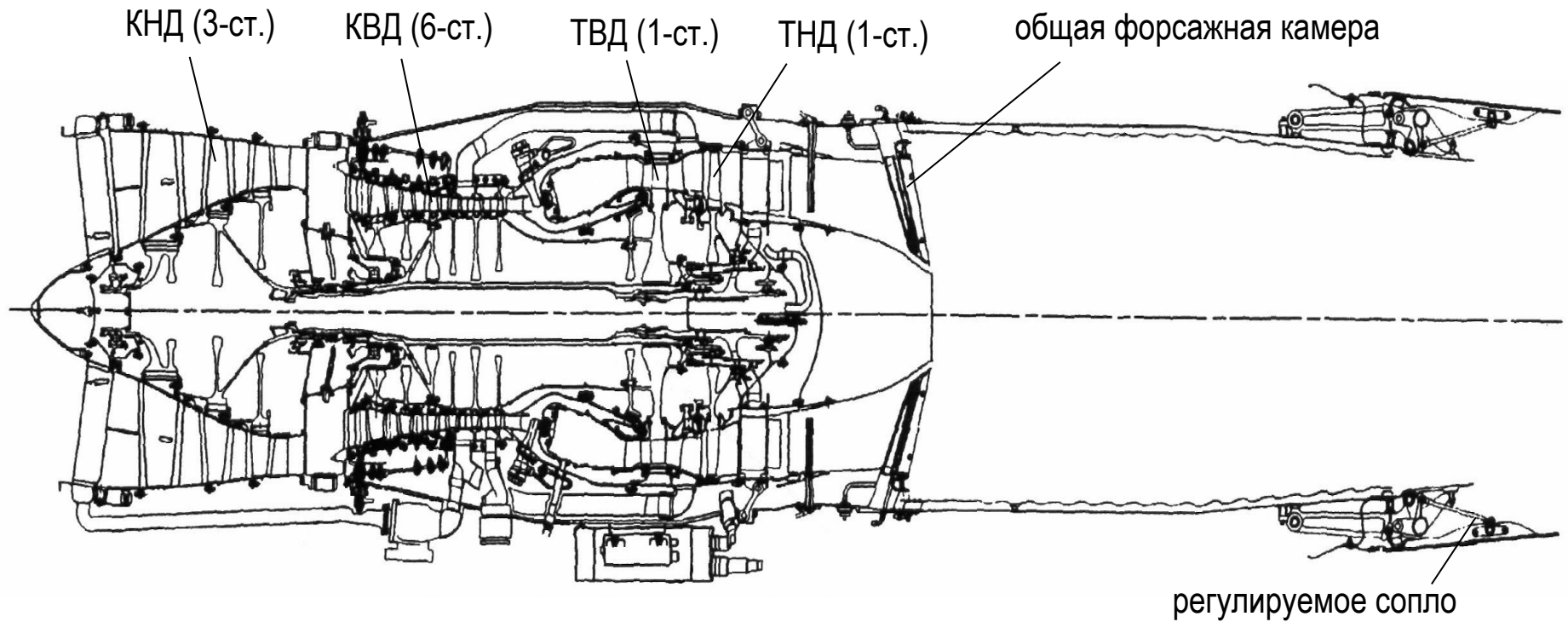
$С_e=0.74$ кг/кг*ч (форс. 2.05)

F15 F16



ТРДДФ 4+ поколения
F100-PW229

Конструктивная схема ТРДДФ пятого поколения
с общей форсажной камерой



ТРДДФ 5 поколения

М88-2 Спесна
R_ф=75 кН,
истребитель «Рафаль»

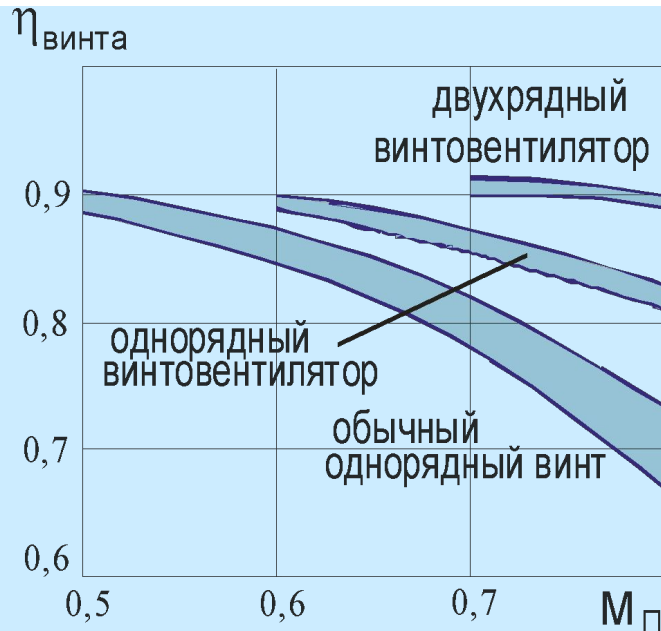
Турбовинтовые и вертолетные двигатели

ТВД



Простота

Экономичность при $M_{п} < 0,7$



- Повышенная вибрация и шум
- Опасность повреждения планера при разрушении винта;
- Сложность компоновки с планером.

классификации :

по кинематической схеме:

- одновальные
- с одновальным газоген. и турбиной винта
- с двухвальным газоген. и турбиной винта
- со «связанным» КНД

по расположению редуктора:

- со встроенным редуктором
- с выносным редуктором;

по расположению винта (для ТВД):

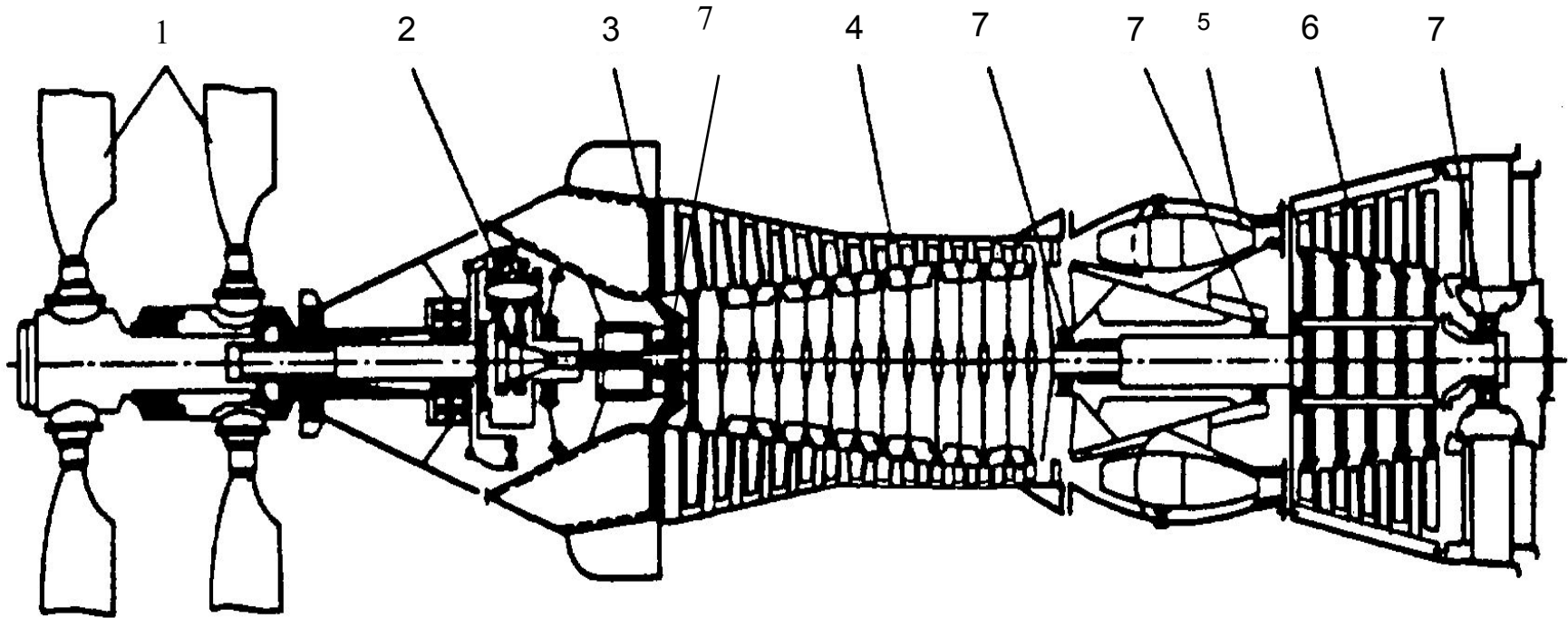
- с тянущим винтом
- с толкающим винтом.

Особенности конструкции:

многоступенчатые турбины
выхлопное устройство - диффузор
в ТВД – редуктор
в ТВВД – винтовентилятор

Конструктивная схема одновального ТВД

НК-12МВ «Труд» Самара
 $N_e = 11,3$ МВт, Диаметр винта 5,6 м
 Ту-114



1 – двухрядный винт; 2 – редуктор; 3 – входное устройство; 4 – 14-ступенчатый осевой компрессор; 5 – кольцевая камера сгорания; 6 – 5-ступенчатая турбина; 7 – опоры с подшипниками



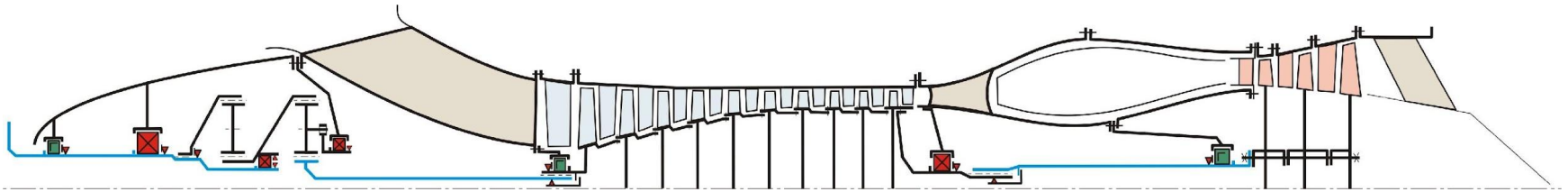
Простота



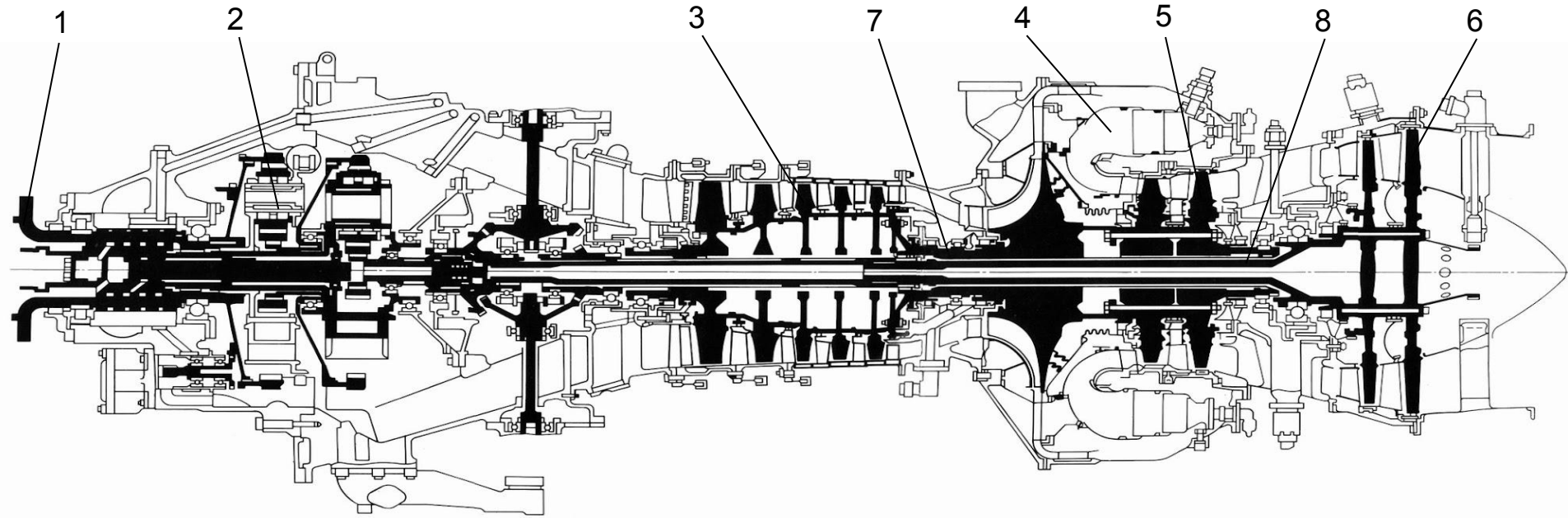
сложность согласования работы компрессора, турбины и винта.

Конструктивная схема одновального ТВД

АИ-20А Диаметр винта 4,5 м



ТВД с одновальным газогенератором и турбиной винта



- 1 – вал винта; 2 – редуктор; 3 – осецентрированный компрессор (5 ос. + 1 ц/б.);
4 – противоточная камера сгорания; 5 – 2-ступенчатая турбина газогенератора;
6 – 2-ступенчатая свободная турбина; 7 – вал газогенератора; 8 – вал свободной турбины



оптимизация η



сложность

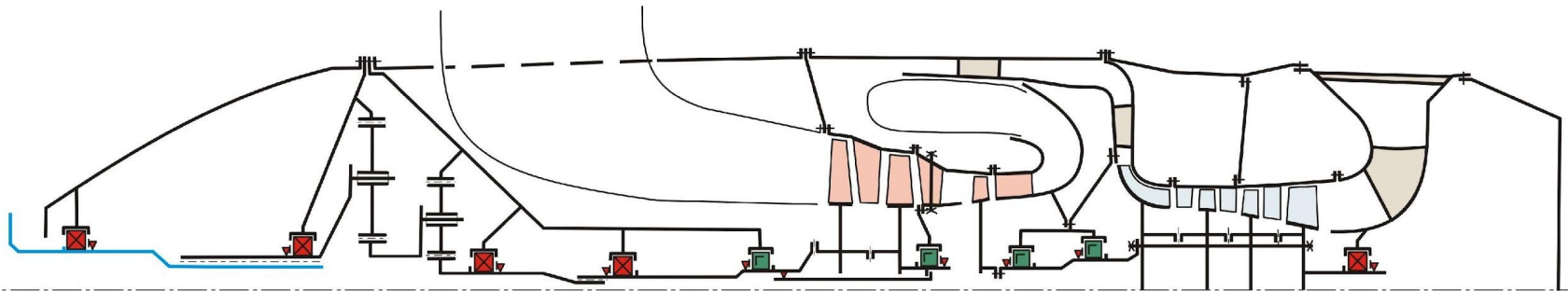
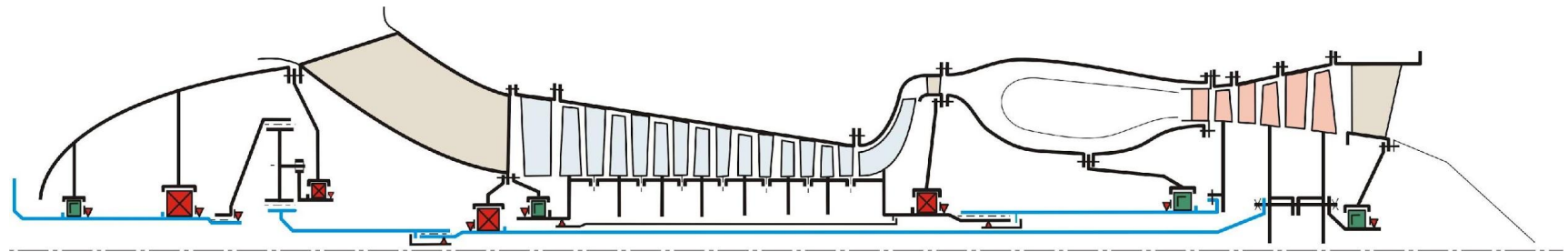
ТВ7-117

«Завод им. В.Я. Климова» (С-Петербург)

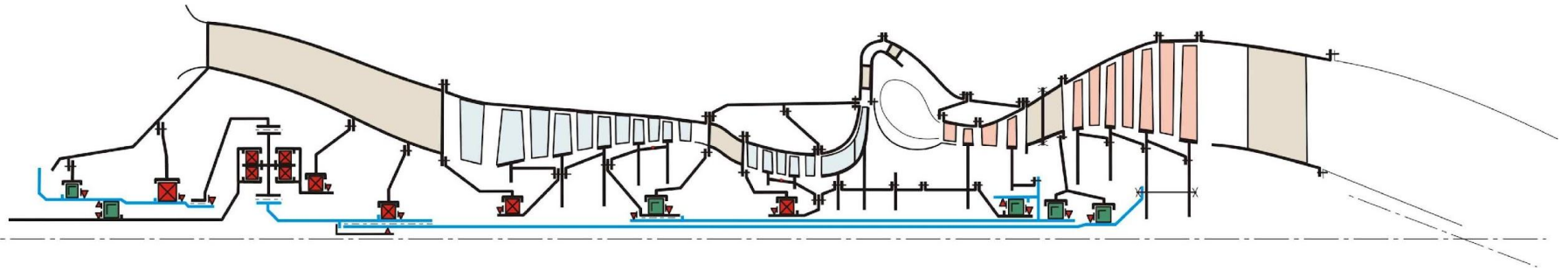
Ne=2 МВт

ИЛ-114.

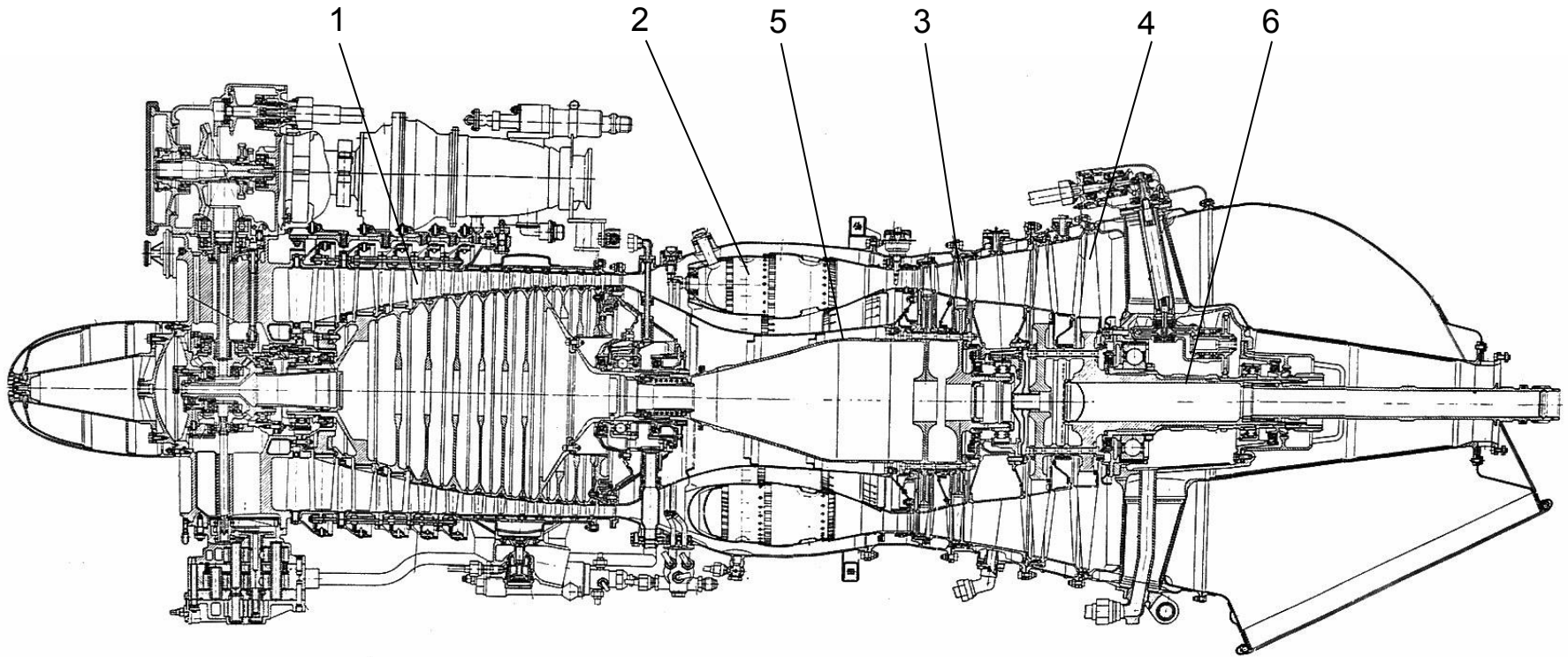
ТВД с одновальным газогенератором и турбиной винта



ТВД с двухвальным газогенератором и турбиной винта



Конструктивная схема одновального вертолетного ТВад



1 – 12-ступенчатый осевой компрессор; 2 – кольцевая камера сгорания; 3 – 2-ступенчатая турбина газогенератора; 4 – 2-ступенчатая свободная турбина; 5 – вал газогенератора; 6 – вал свободной турбины

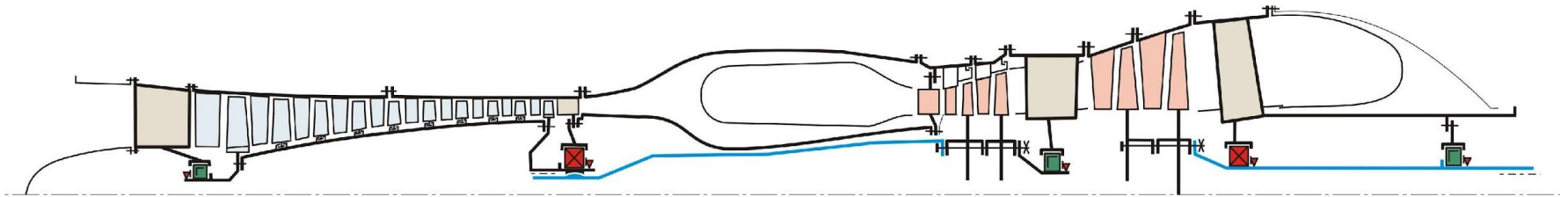
ТВ3-117

«Завод им. В.Я. Климова» (С-Петербург)

Ne=1,7 МВт

МИ-17, МИ-24, КА-28, КА-32, КА-50/52

Конструктивная схема одновального вертолетного ТВад



ТВД с двухвальным ГГ и «связанным» КНД

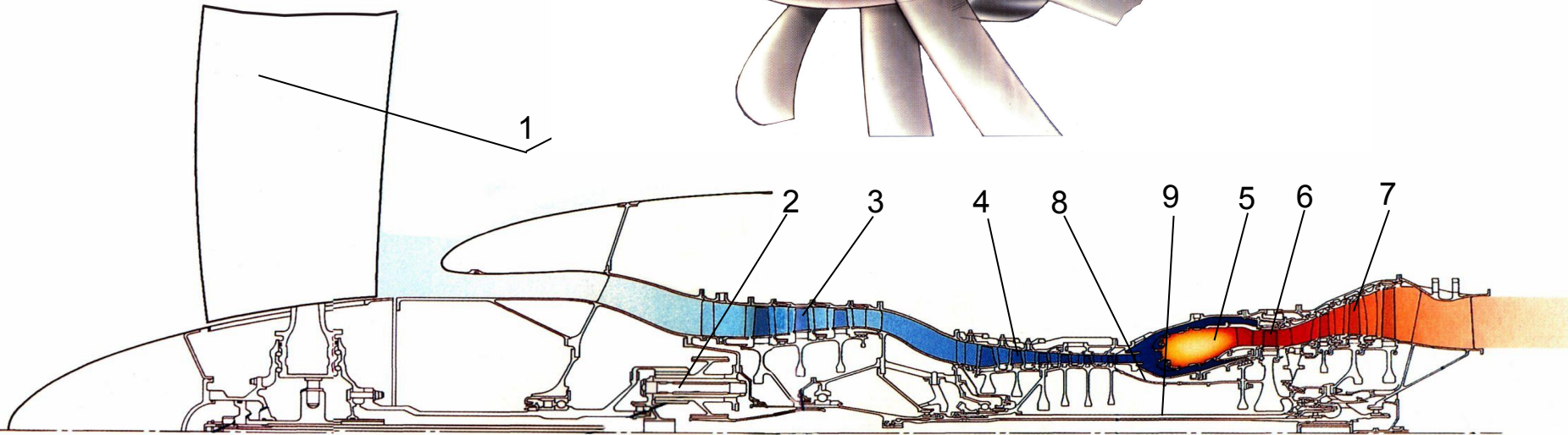
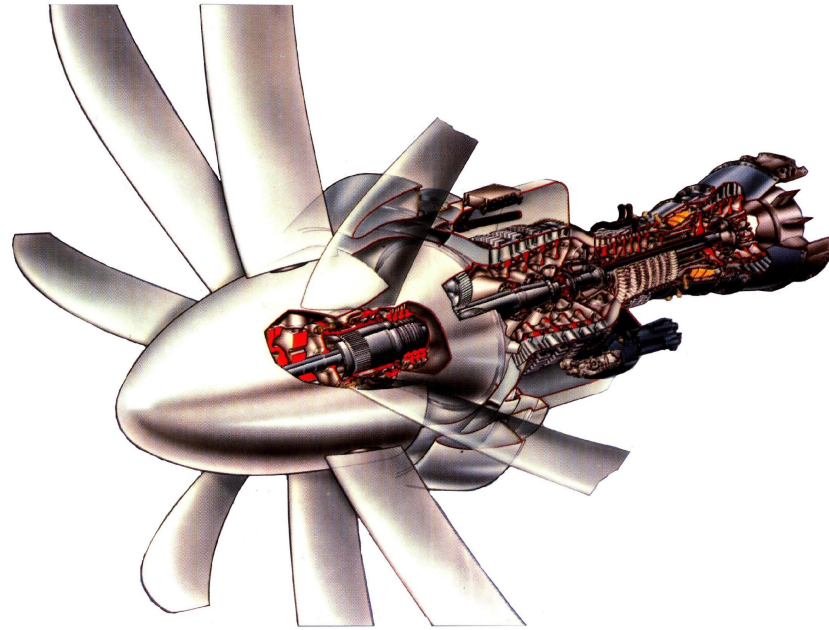
ТВД М138

Консорциум европейских фирм

Ne= 6..9 МВт

⊖ Неустойчивость

⊕ Простота



1 – винт изменяемого шага; 2 – редуктор; 3 – КНД на высокооборотном валу НД; 4 –КВД; 5 – кольцевая камера сгорания; 6 – турбина ВД; 7 – турбина НД; 8 – вал ВД; 9 – вал НД

Схема ТВД с выносным редуктором

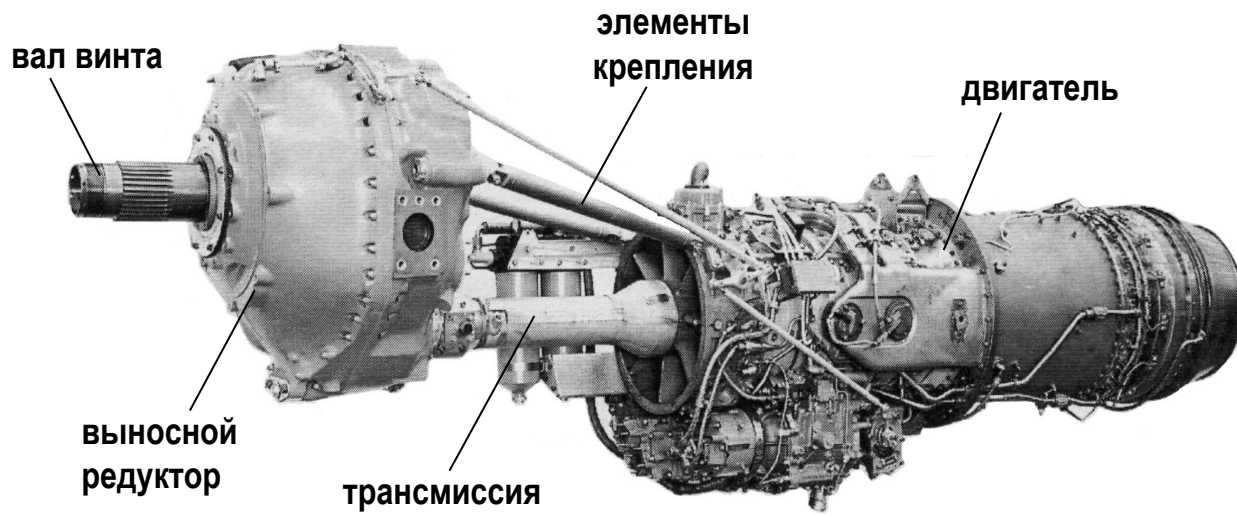
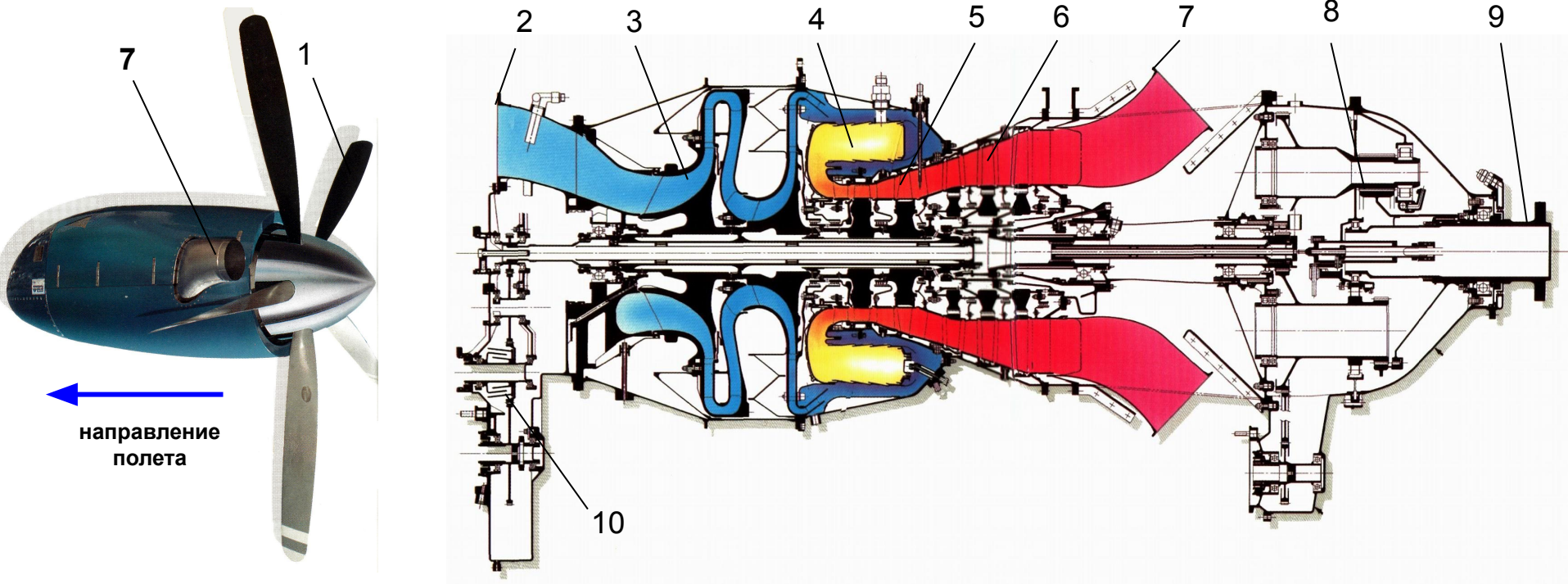


Схема ТВД с толкающим винтом



- 1 – «толкающий» винт; 2 – входное устройство; 3 – 2-ступенчатый центробежный компрессор;
4 – противоточная камера сгорания; 5 – 2-ступенчатая турбина газогенератора; 6 – 3-ступенчатая свободная турбина; 7 – выхлопное устройство; 8 – редуктор; 9 – вал винта; 10 – привод агрегатов

Подъемные и подъемно-маршевые ГТД

СУ СВВП

- подъемные двигатели
- подъемно-маршевые двигатели с поворотом струи
- подъемно-маршевые двигатели с подъемным вентилятором

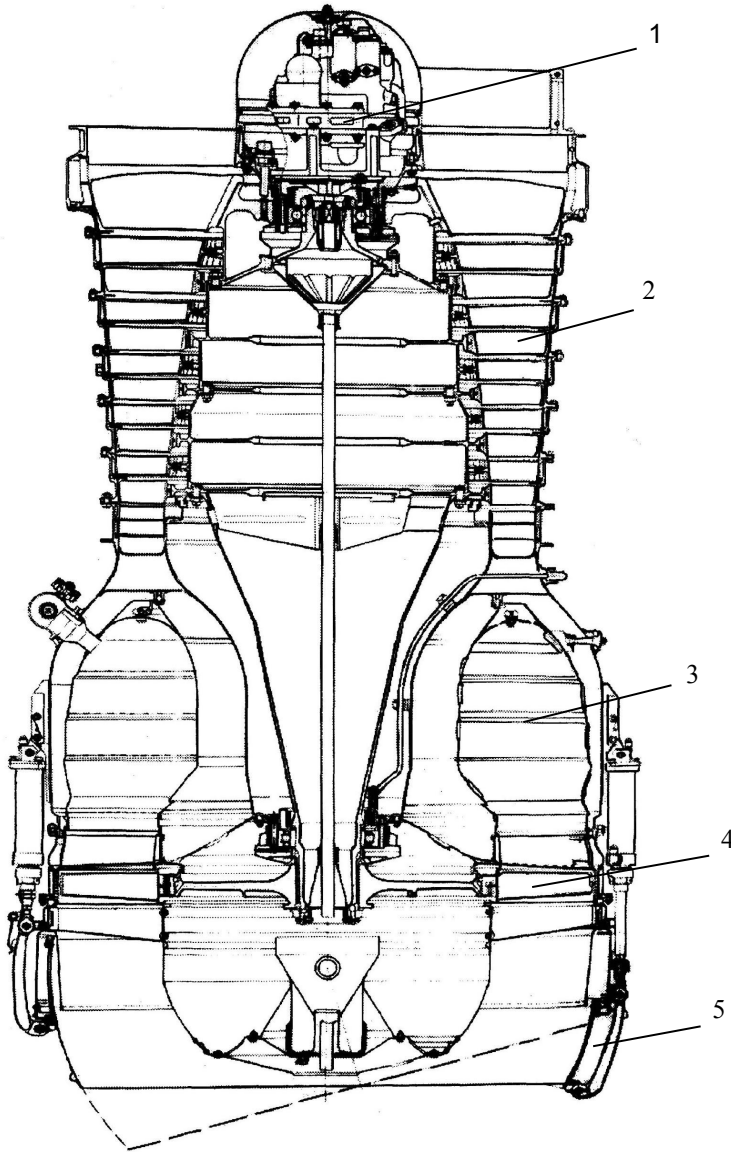
подъемные - для создания вертикальной тяги взлете и посадке
Минимальный вес и длина
Простота
Низкая экономичность

подъемно-маршевые
для создания тяги на взлете
(посадке) и в горизонтальном полете



СВВП Bell-Boeing V-22
«Osprey»
с поворотными ТВД на
концах крыла

Подъемный ТРД



РД-38

«Сатурн» 1976

Тяга 3.25 т

Вес 229 кг

Диаметр 0.76 м

ЯК-38М

- 1 – агрегаты
- 2 – 6-ступенчатый компрессор;
- 3 – короткая камера сгорания
- 4 – одноступенчатая турбина
- 5 – поворотное сопло

Подъемно-маршевый ТРДДФ с поворотом струи



3-х ступ. КНД;
11-и ступ. КВД
2-х ступ. ТВД
2-х ступ. ТНД

Р-79В-300

«Союз» 1988

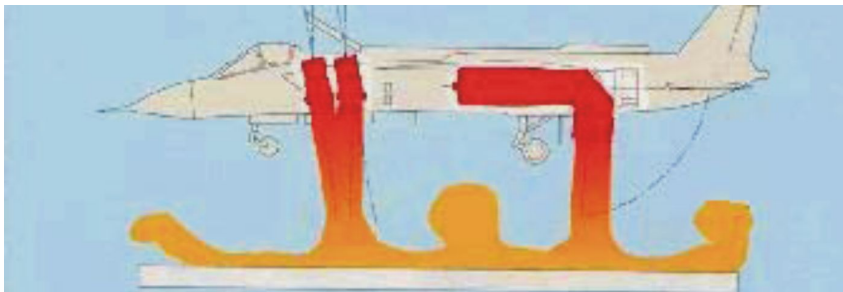
Тяга 15.5 т

$m=0.8$

Диаметр 1.1 м

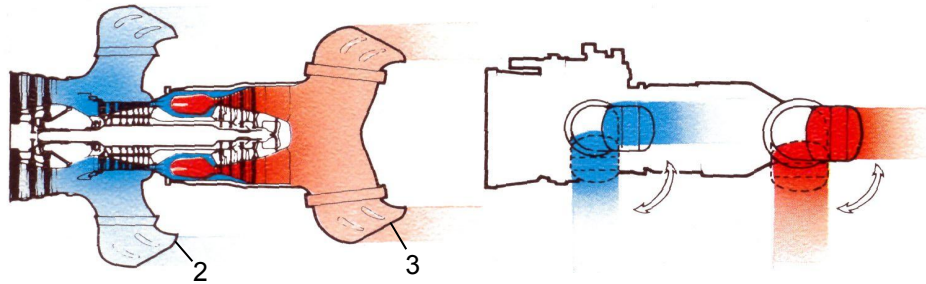
сверхзвуковой

СВВП ЯК-141

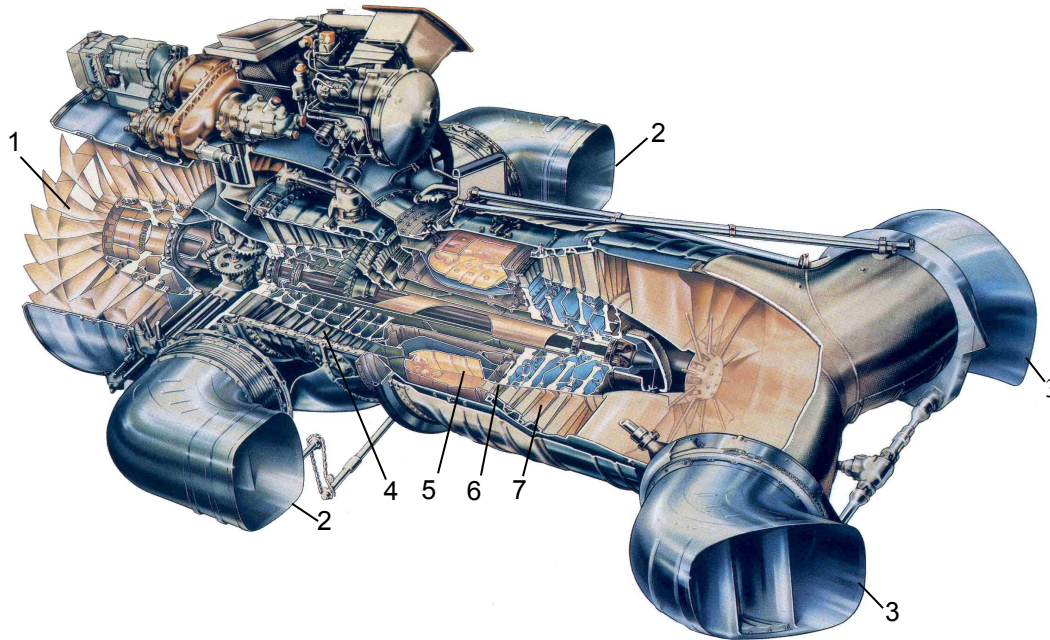


Силовая установка ЯК-141
из двух подъемных и одного
подъемно - маршевого двигателя.

Схема работы подъемно-маршевого ТРДД

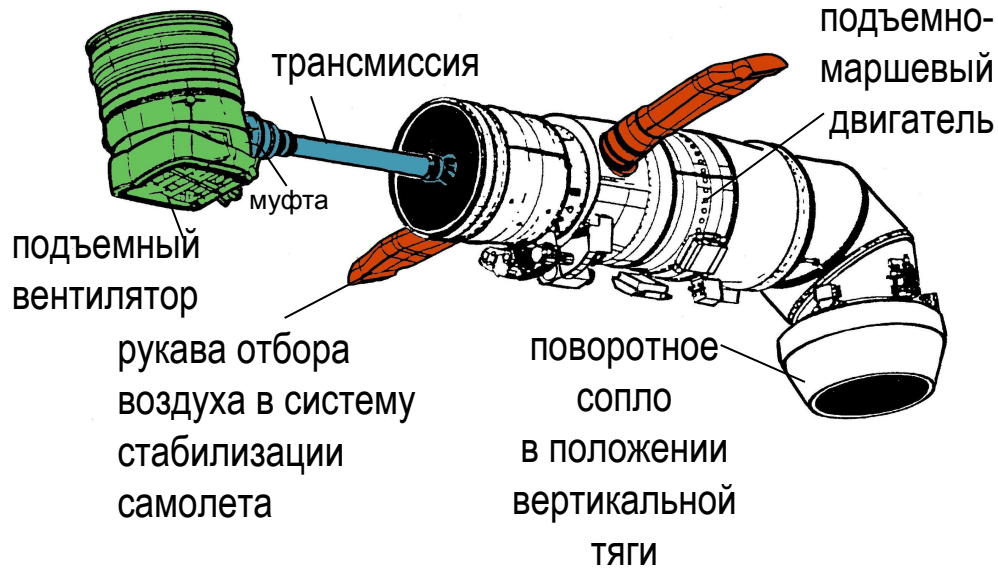


Пегас 11
Rolls-Royce 1974 г.
Тяга 9,7 т.
Диаметр 1,2 м
 $m=1,55$
Харриер II



1 – 3-х ступенчатый вентилятор; 2 – поворотные сопла
наружного контура; 3 – поворотные сопла внутреннего контура;
4 – 8-ми ступенчатый КВД; 5 – камера сгорания; 6 – 2-х ступ.
ТВД; 7 – 2-х ступ. ТНД

Схема подъемно-маршевого ТРДД с подъемным вентилятором



JSF119-611

Тяга двигателя 7 т

Тяга вентилятора 9 т.

$m=0.5$

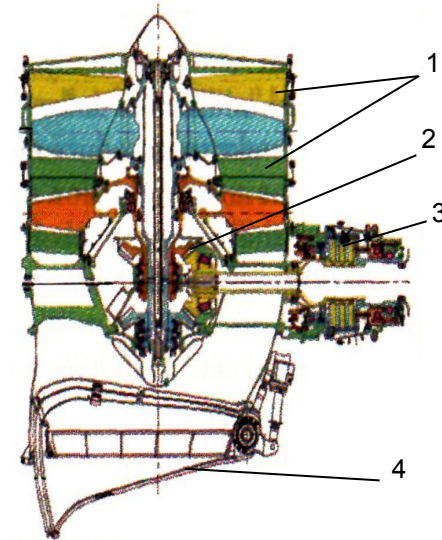
$\pi_{\beta}=2.25$

Диаметр 1.1 м

Диаметр вент. 1.27 м

СУВВП F-35

Lockheed Martin 2000г.

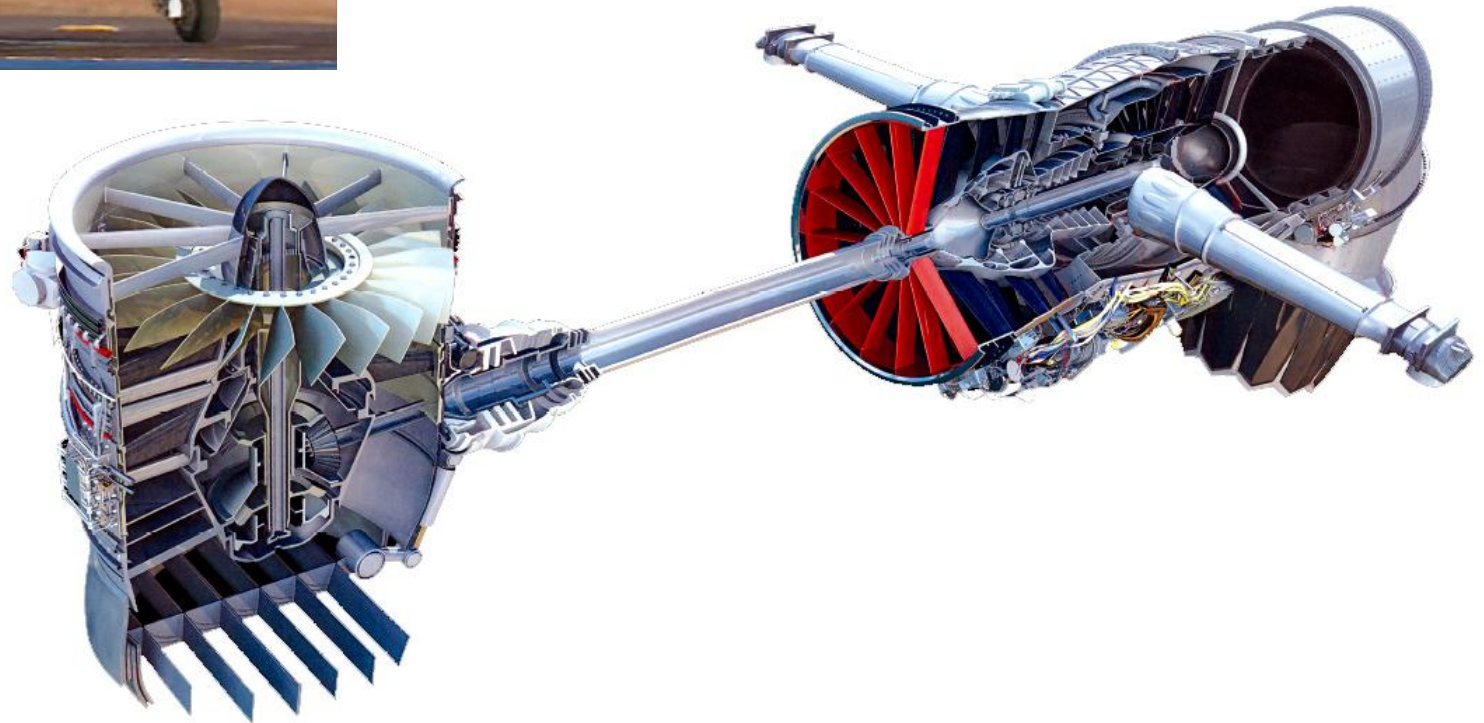


Двухступенчатый биротативный подъемный вентилятор

Силовая установка F-136 истребителя F35B



	R, кН	G _в , кг/с	m	$\pi_{\kappa \Sigma}^*$	D _{вх.} , мм	L _{дв.} , мм	Схема
F-135	191,4	159	0,57	28	-	-	3+6/1+2
F-136	177,7	-	0,6	36	1067	4242	3+5/1+3



Вспомогательные ГТД

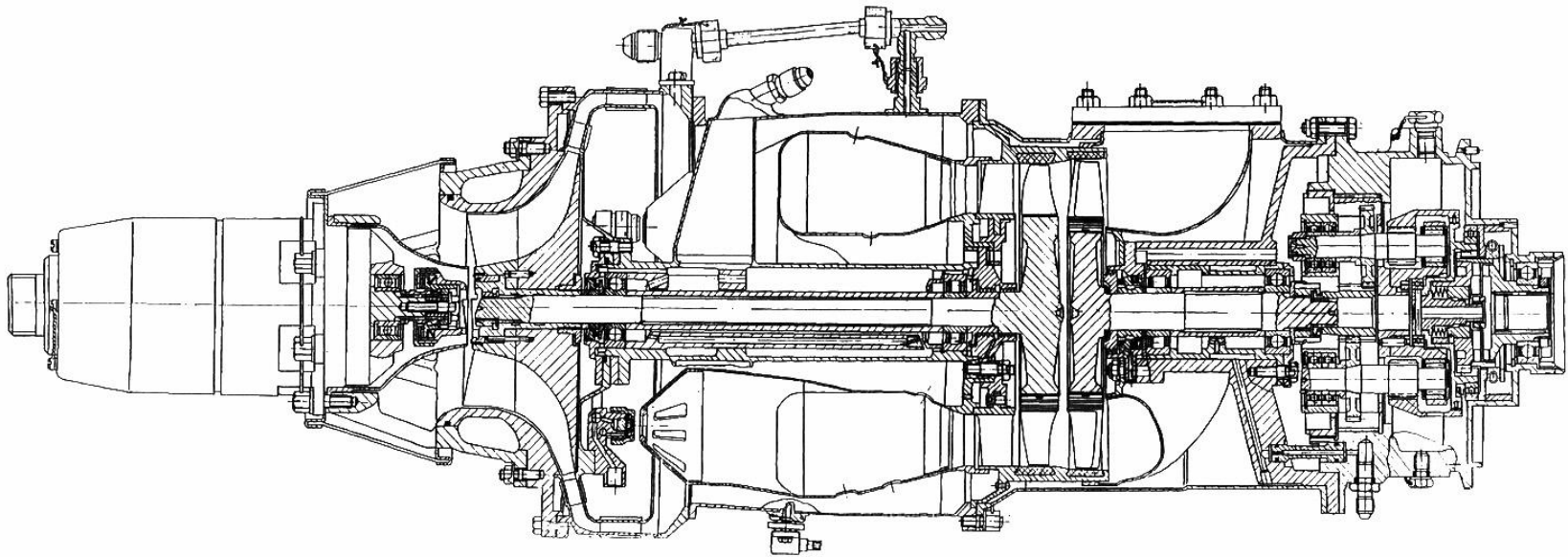
Назначение:

- Провод генераторов эл. энергии
- Провод источника сжатого воздуха
- Пусковое устройство

Схема:

одновальный ТВаД
со свободной турбиной
ц/б компрессор

турбостартер ТКС-48
Д30-Ф6
МИГ-31
«Авиадвигатель»



Авиационные силовые установки

Включает в себя:

- двигатель с агрегатами
- входное устройство
- выходное устройство
- реверс тяги;
- средства шумоглушения;
- выносной редуктор ТВД,
- вертолетный редуктор;
- узлы крепления и подвески;
- воздушный винт
- мотогондола

Требования:

минимальные потери тяги
удобство обслуживания двигателя

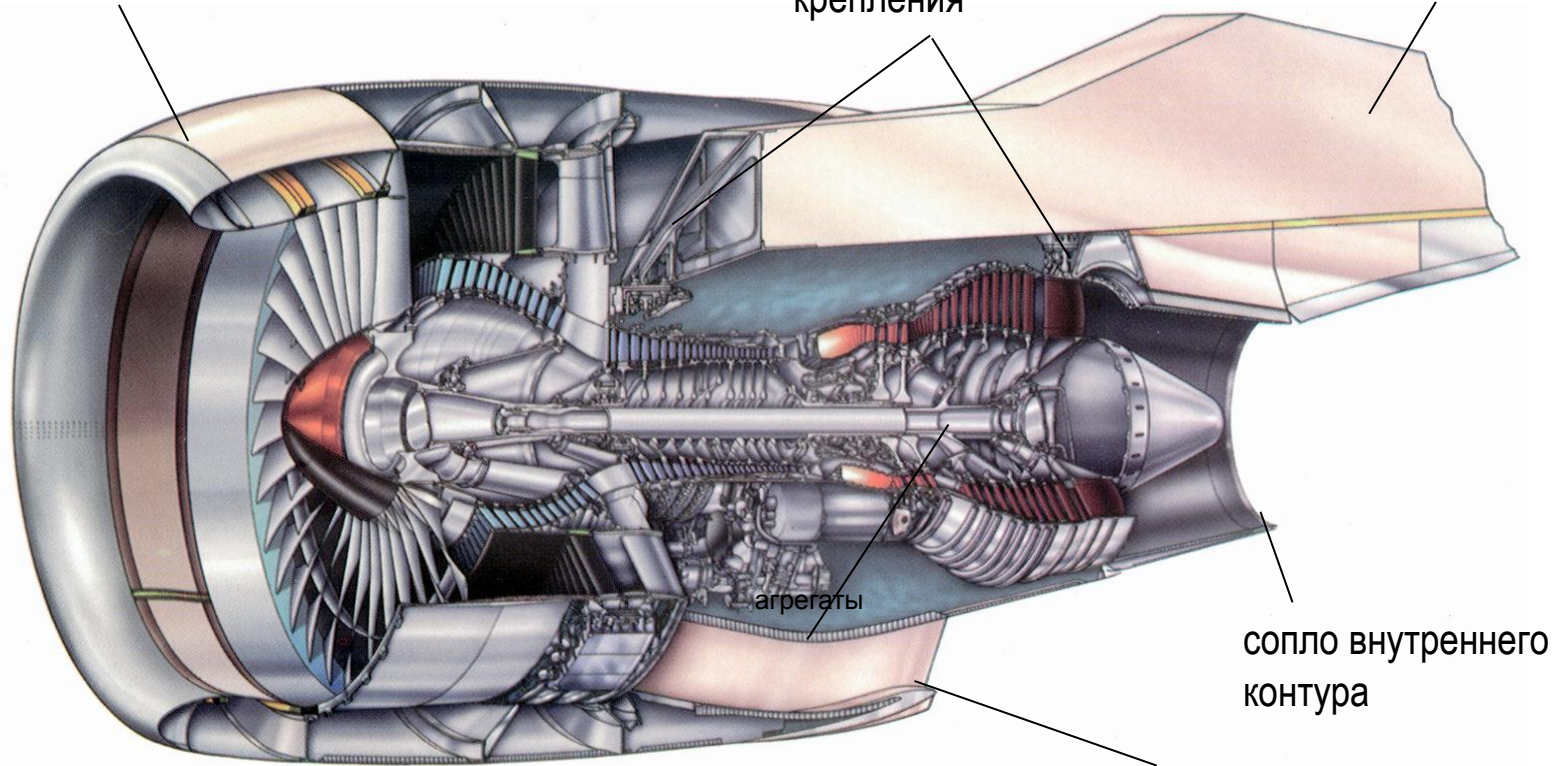
Силовая установка с ТРДД без смешения

PW4084

воздухозаборник

узлы
крепления

пилон



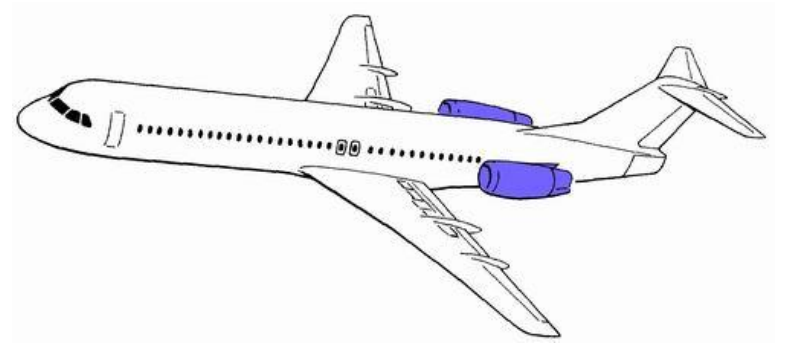
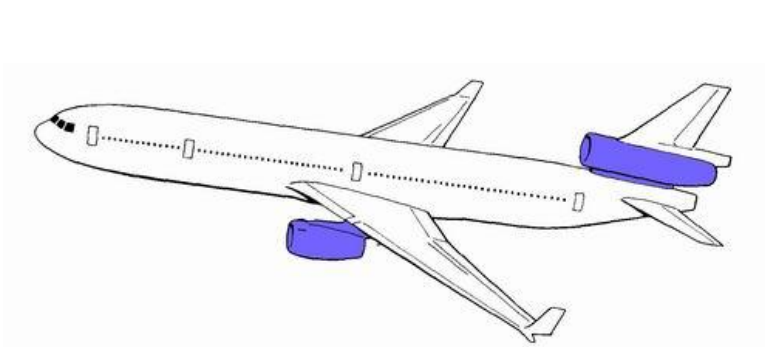
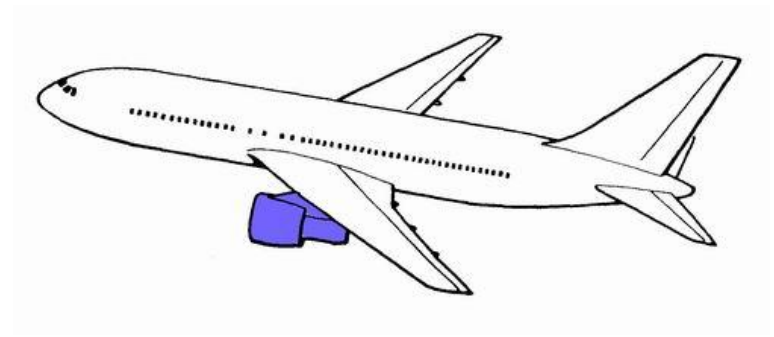
сопло внутреннего
контура

сопло наружного
контура

Примеры размещения силовых установок пассажирских самолетов

Размещение

- * на пилонах
- под крылом или в хвосте
- * внутри фюзеляжа



КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ НАЗЕМНЫХ ГТД

Особенности требований

- высокий ресурс (25 лет);
- ремонтпригодность
- умеренная стоимость;
- отсутствие жестких весовых ограничений

Особенности конструкций:

- простота
- дешевые материалы
- массивные корпуса
- возможность замены жаровых труб в эксплуатации;

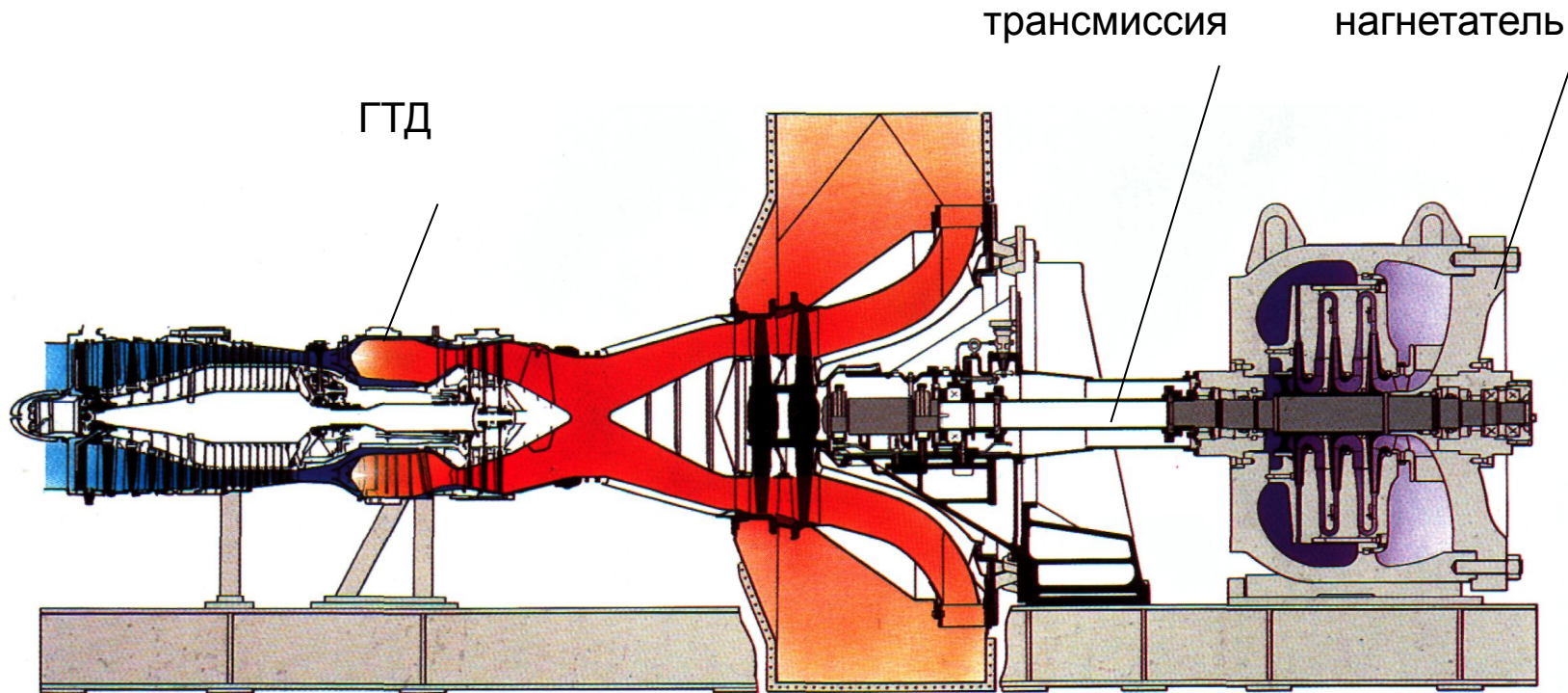
Классификация

- Одновальные ГТД
- ГТД с одновальным газогенератором и свободной турбиной
- ГТД с двухвальным газогенератором и свободной турбиной
- ГТД с двухвальным газогенератором и связанным КНД

Классификация

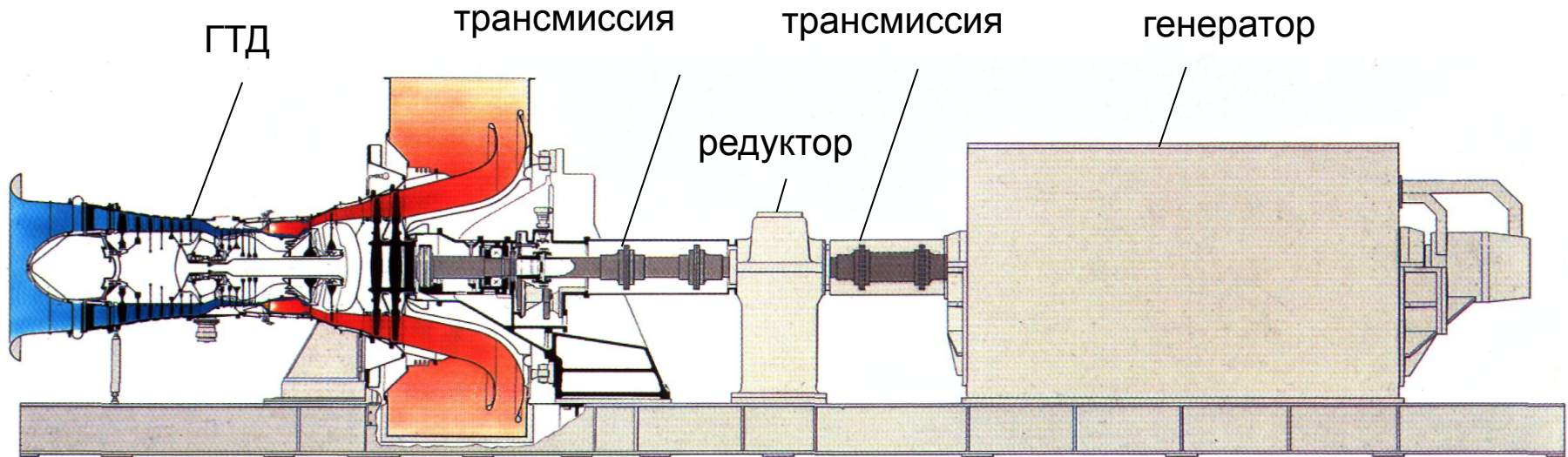
Стационарные и конвертированные

Применение ГТД
для прямого привода нагнетателя природного газа



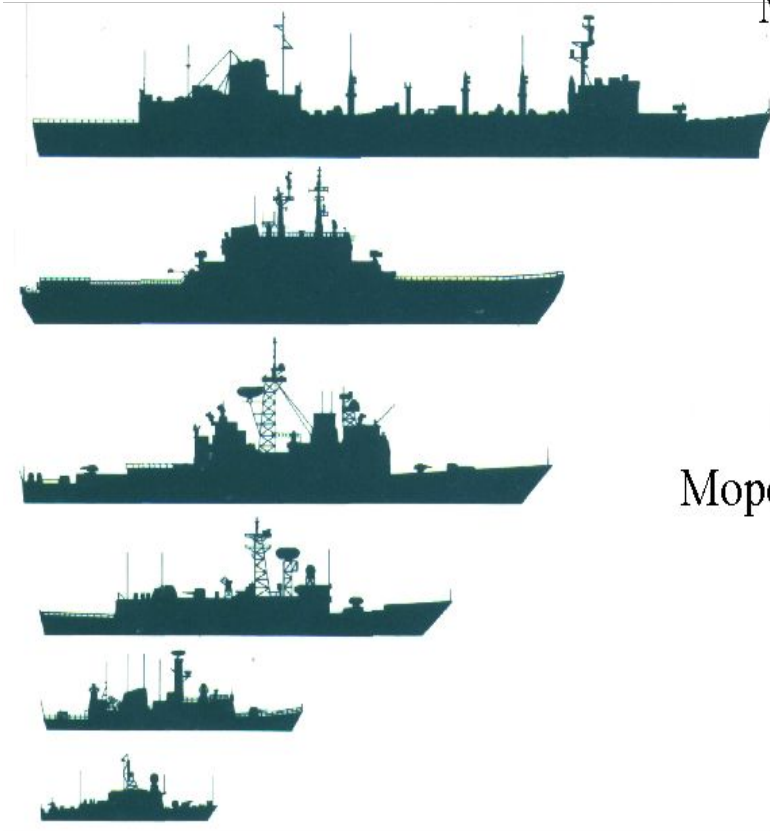
- зависимость потребляемой мощности N от частоты вращения n , температуры и давления нагнетаемых сред

Применение ГТД
для привода электрического генератора (через редуктор)

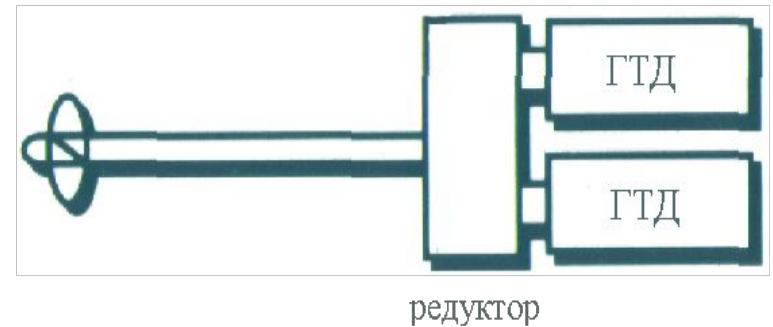


- высокие требования к точности поддержания частоты вращения

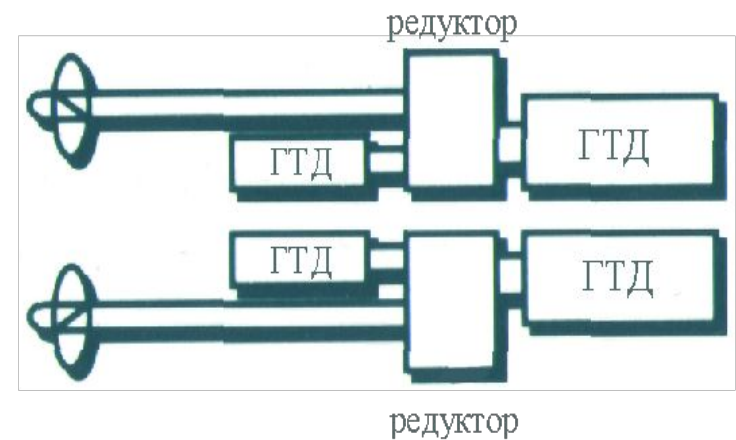
Применение ГТД в составе морского силового агрегата



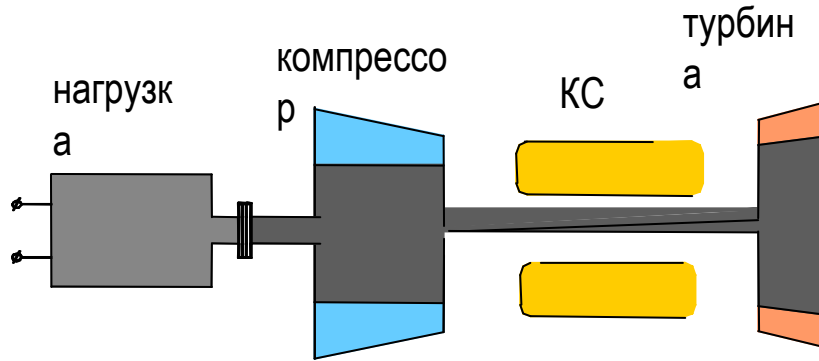
Морской силовой агрегат с ГТД равной мощности



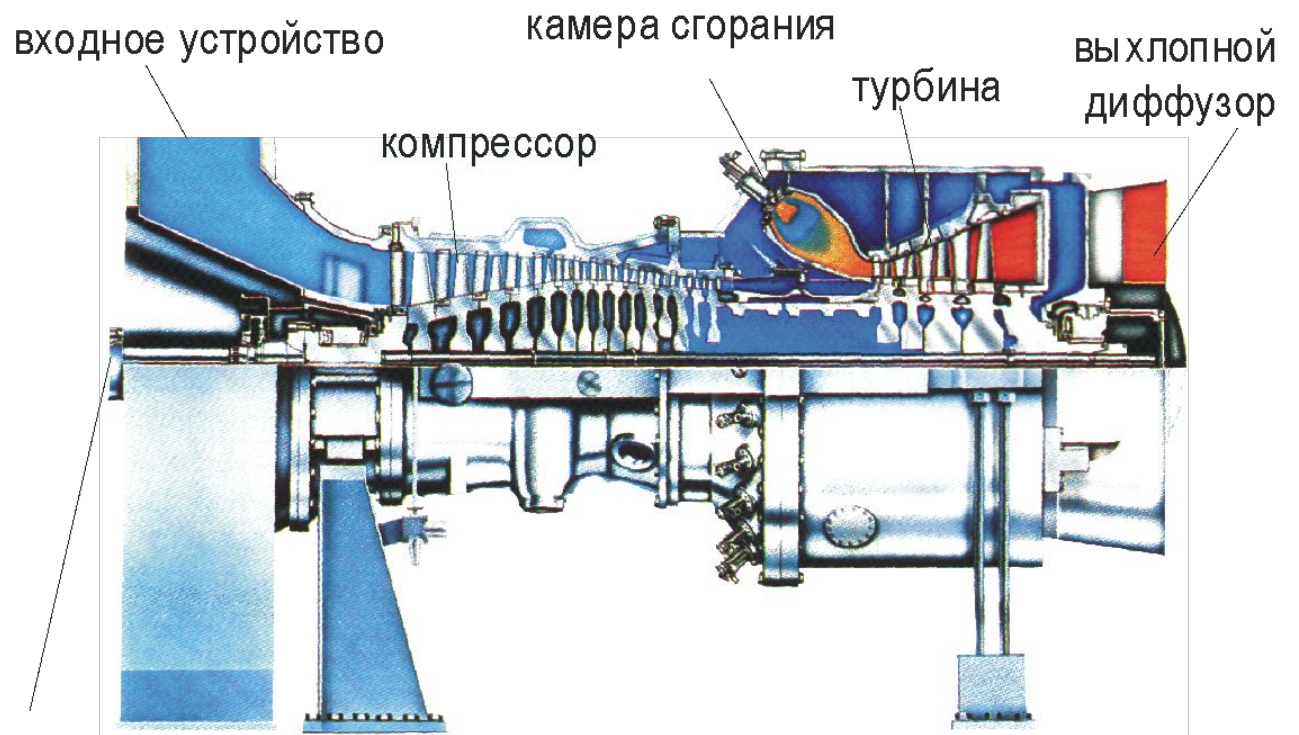
Морской силовой агрегат с ГТД различной мощности



Одновальный ГТД со связанной турбиной



V84.3A
Siemens
мощность 180 МВт



фланец отбора мощности

схема ГТД со свободной турбиной
с выходом силового вала назад

ГТУ-16П

ОАО «Авиадвигатель»

мощность 16 МВт

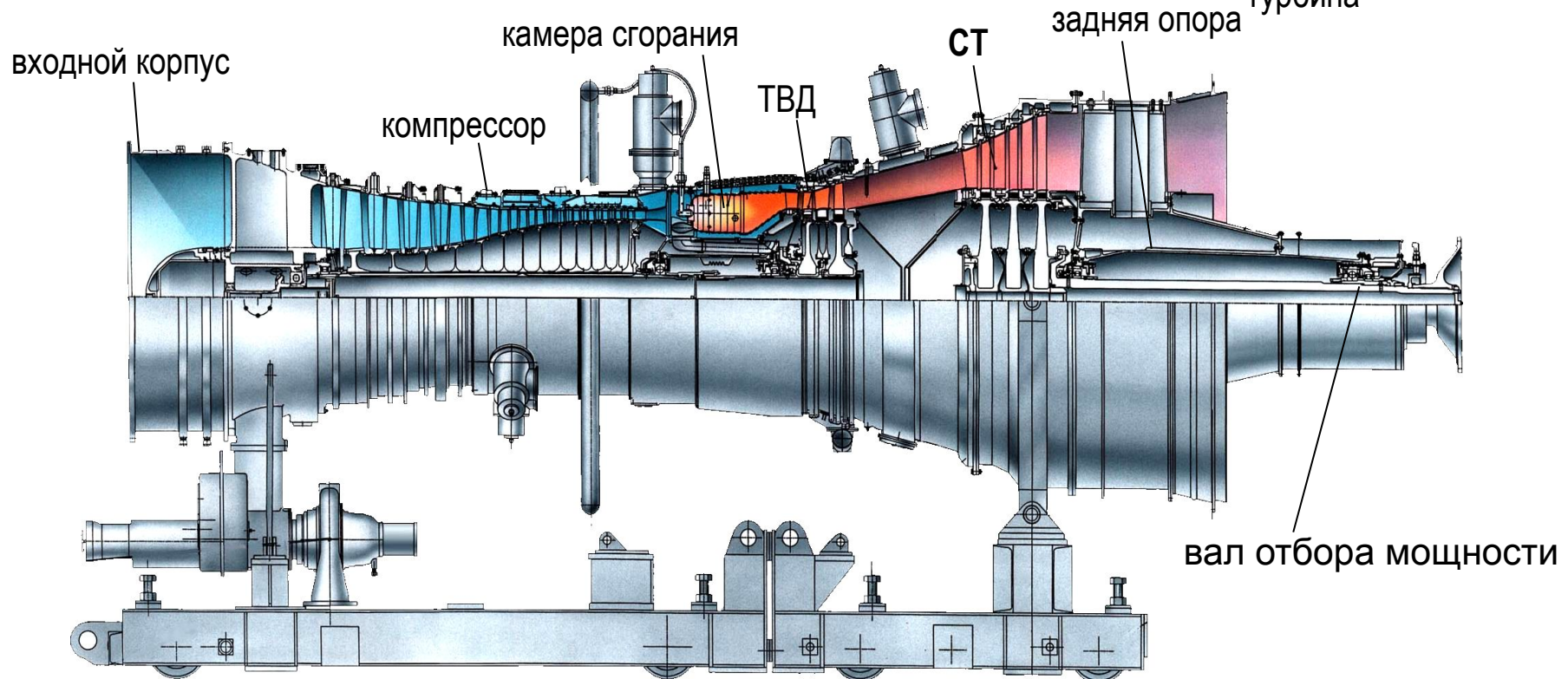
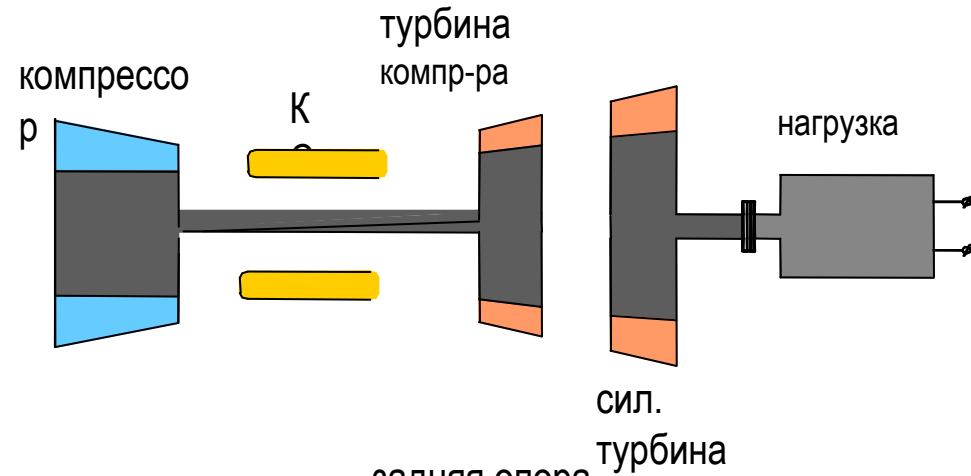


схема ГТД со свободной турбиной
с выходом силового вала назад

ГТУ-16П
ОАО «Авиадвигатель»
мощность 16 МВт

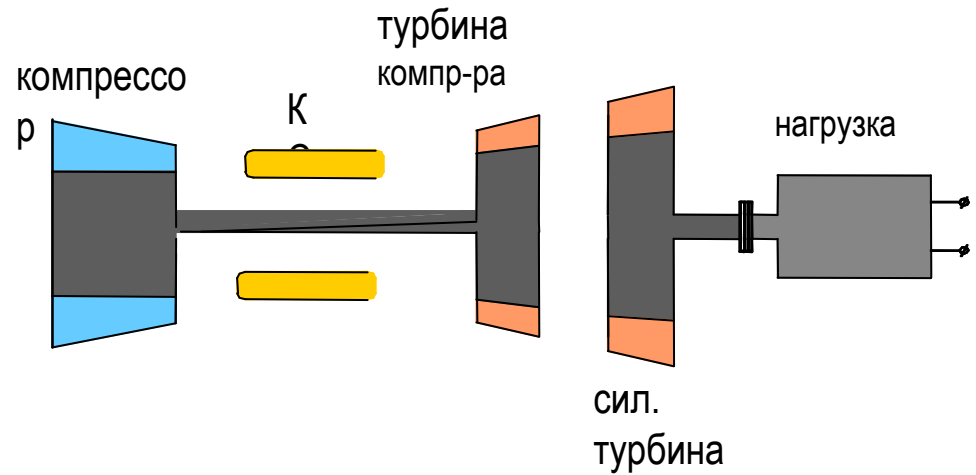
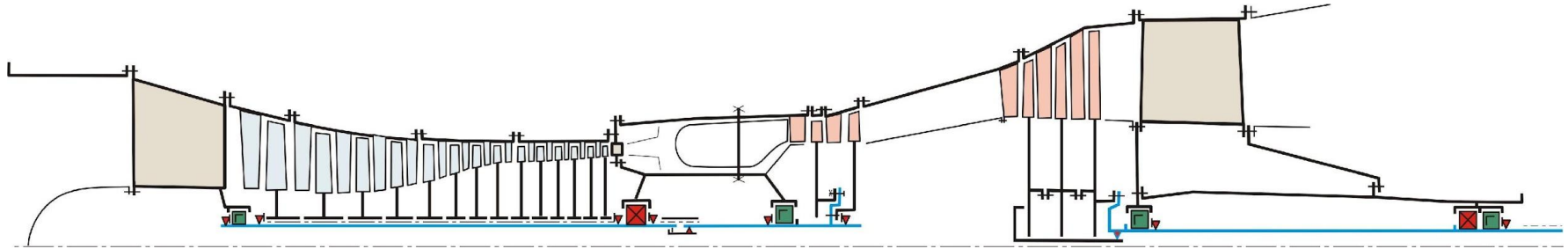


схема ГТД с силовой турбиной
и выходом силового вала вперед

ГТУ-4П
ОАО «Авиадвигатель»
мощность 4 МВт

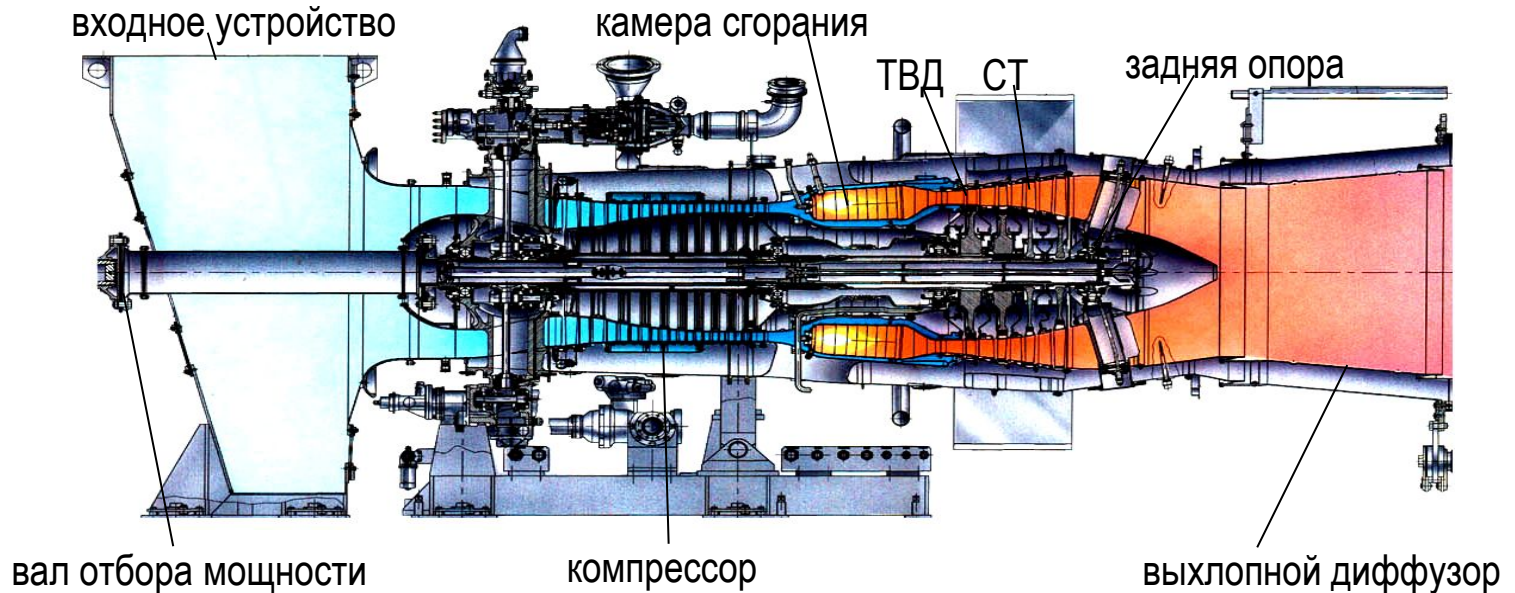
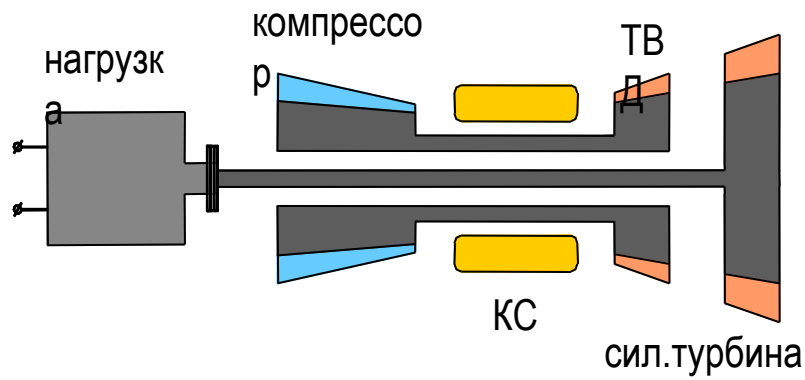


схема ГТД с силовой турбиной
и выходом силового вала вперед

ГТУ-4П
ОАО «Авиадвигатель»
мощность 4 МВт

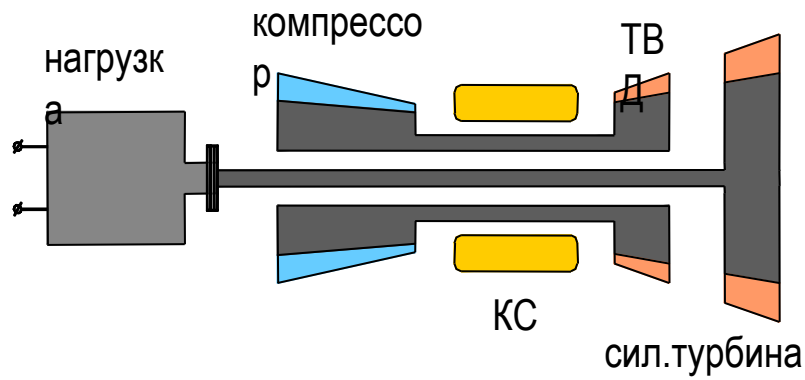
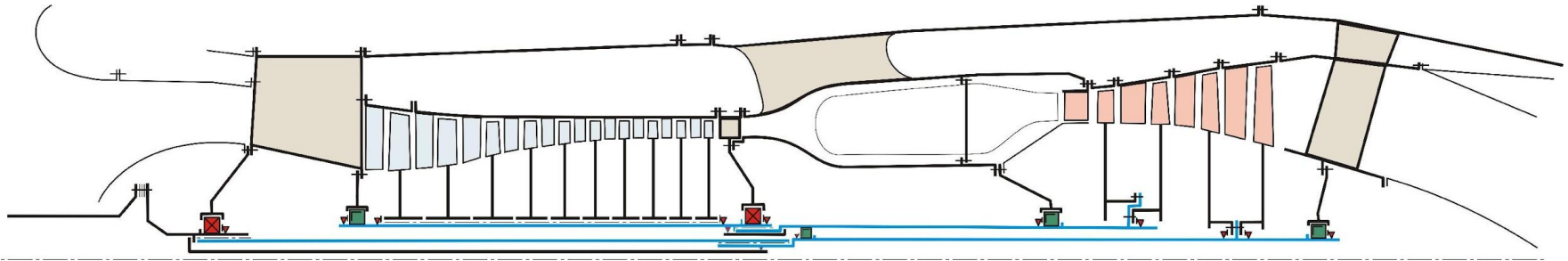
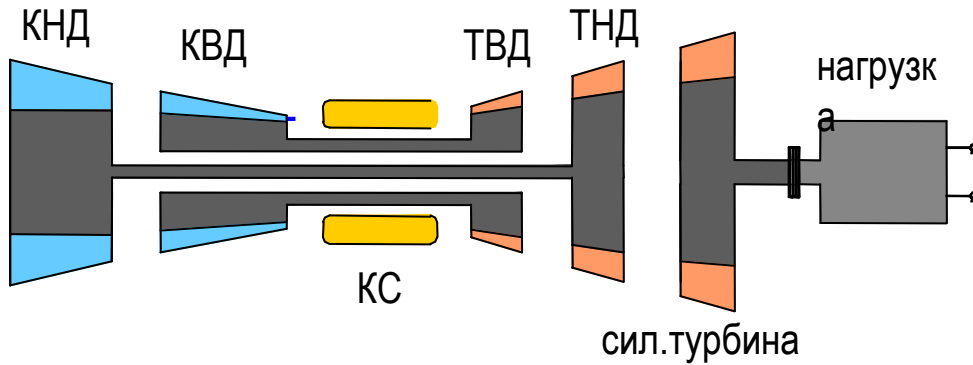


Схема ГТД со свободной турбиной с двухкаскадным турбокомпрессором



ГТУ-25П

ОАО «Авиадвигатель»

мощность 25 МВт

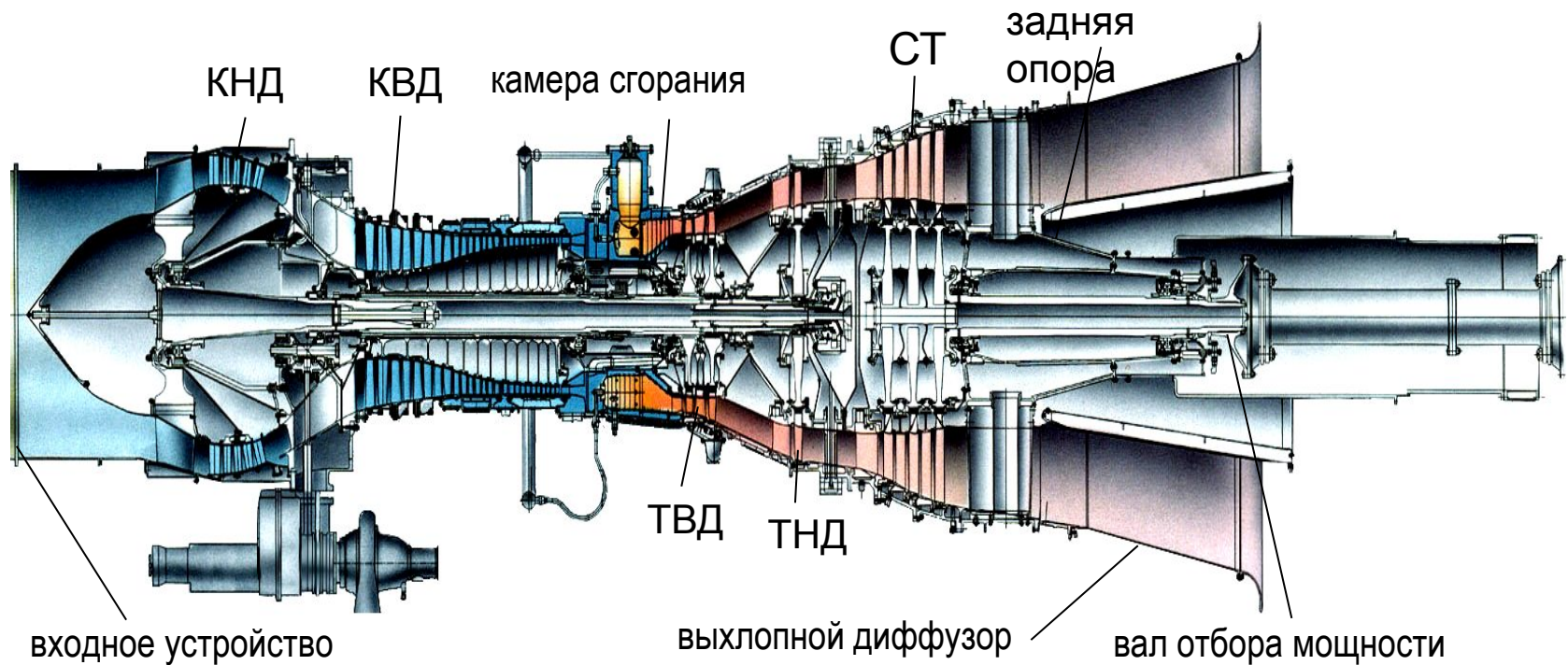


Схема ГТД со свободной турбиной
с двухкаскадным турбокомпрессором

ГТУ-25П

ОАО «Авиадвигатель»

мощность 25 МВт

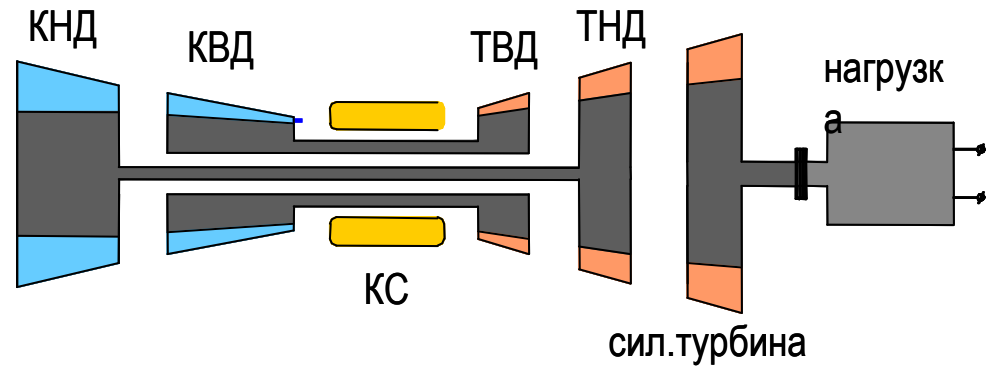
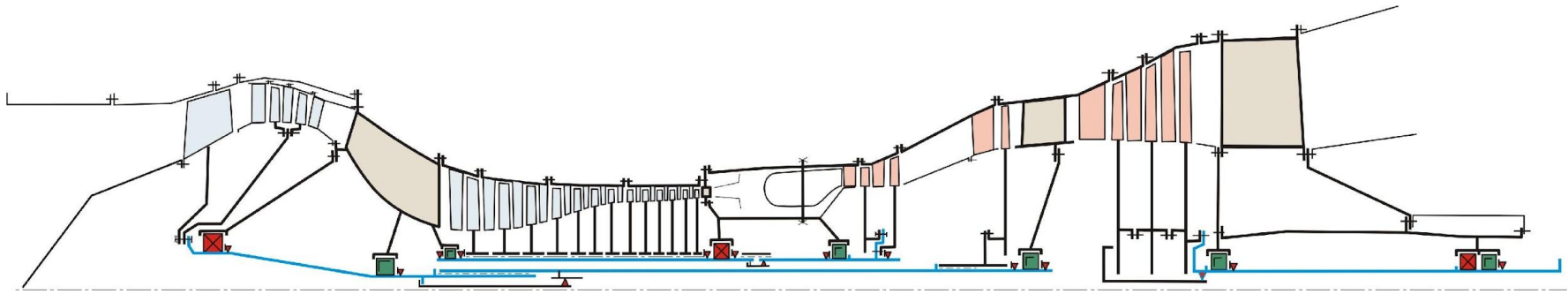


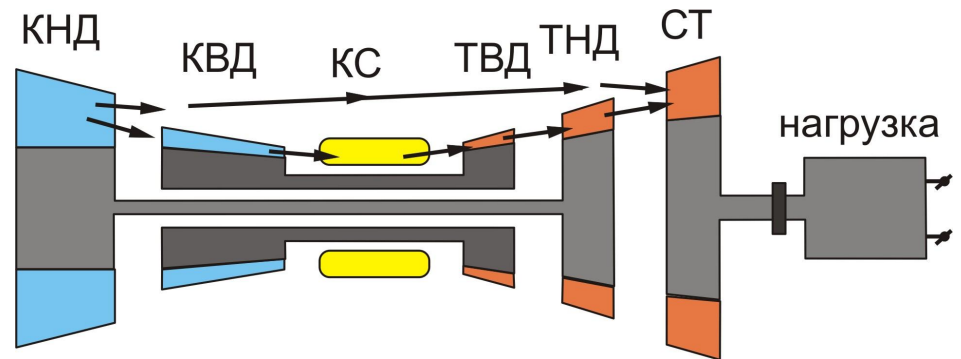
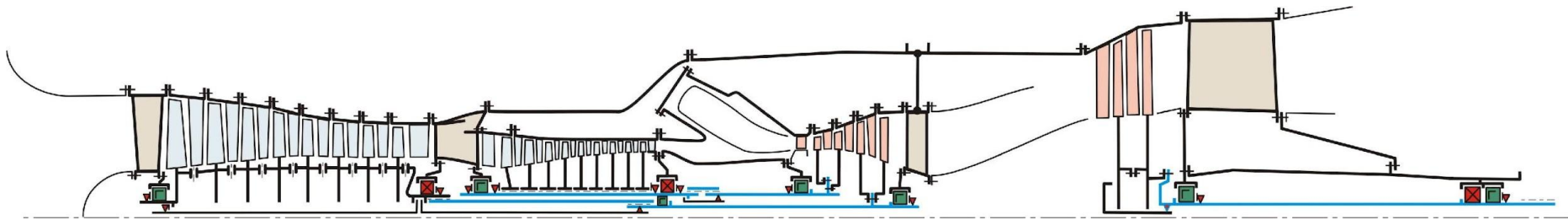
Схема ГТД со свободной турбиной
с двухкаскадным турбокомпрессором

ГТУ-34

ОАО «Авиадвигатель»

мощность 34 МВт

(проект)



конструктивные схемы наземных ГТД

Схема ГТД с двухкаскадным турбокомпрессором, силовой турбиной, рекуператором и дополнительной воздушной турбиной

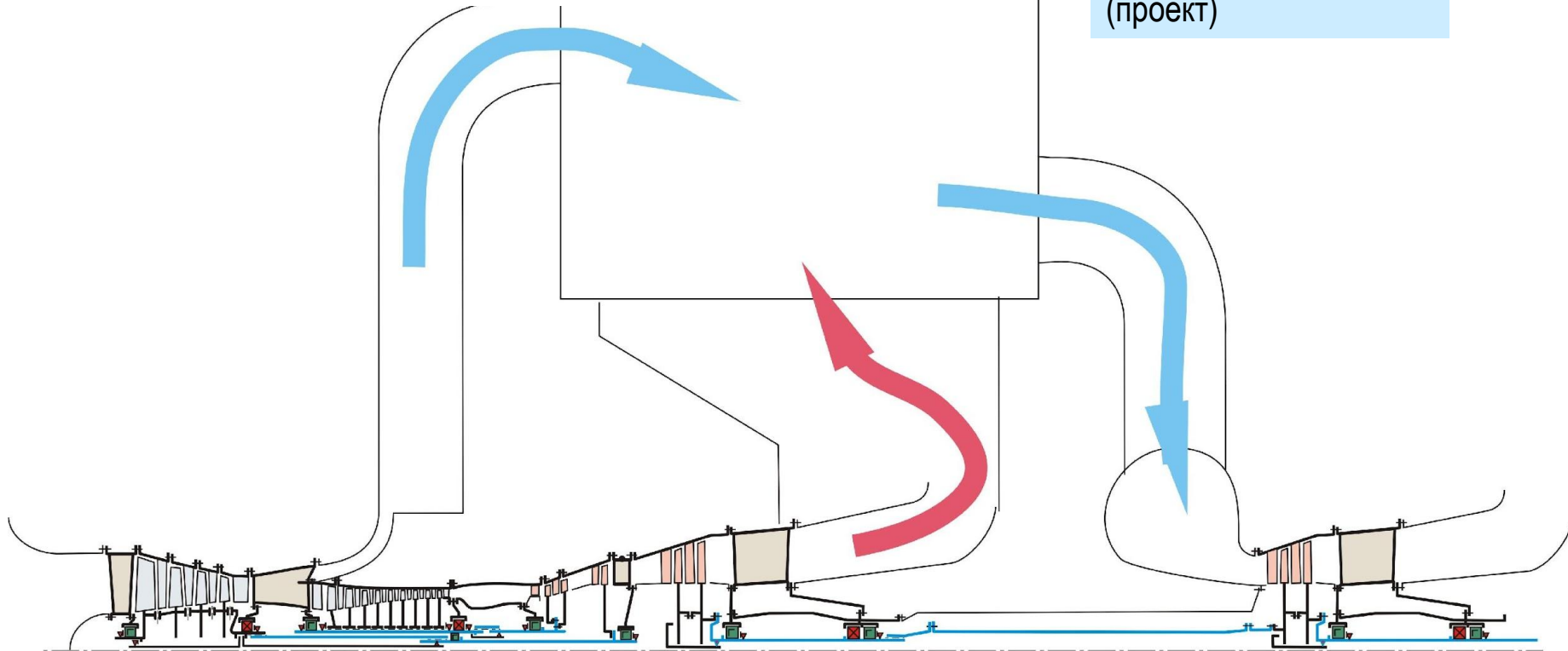
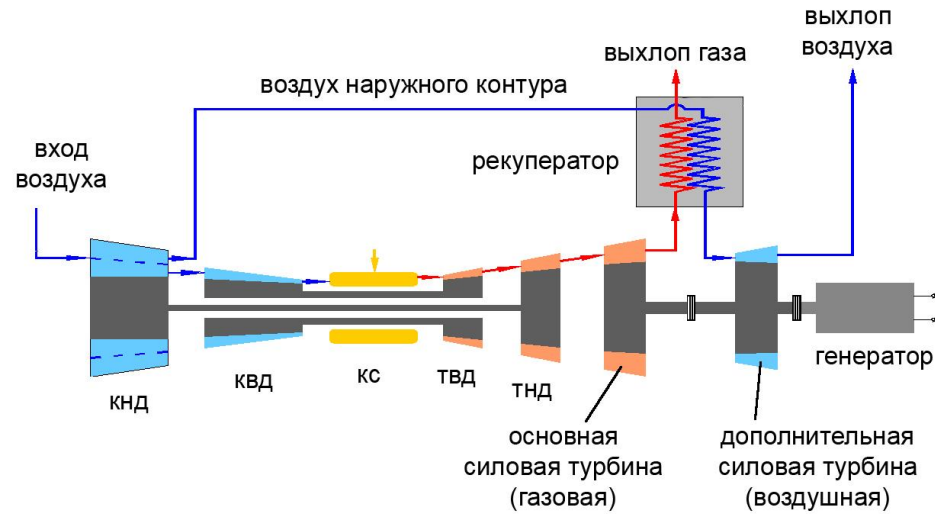
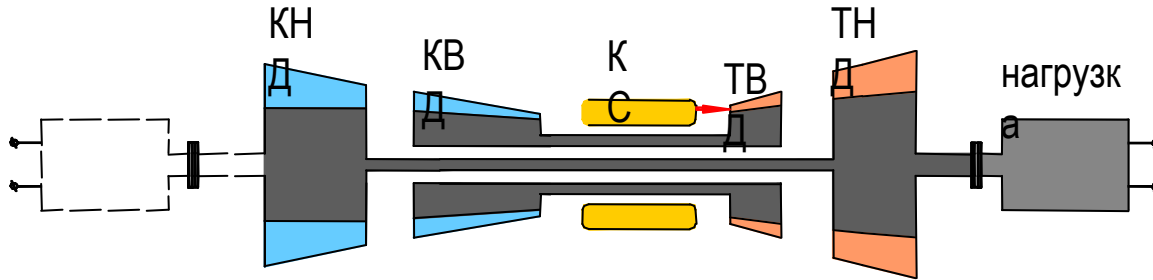


Схема ГТД со «связанным» КНД
с двухкаскадным турбокомпрессором



ГТД LM6000
фирмы GE
мощностью 43 МВт

