



Иркутский национальный исследовательский технический университет

Военный учебный центр

Модуль военно- технической (военно- специальной) подготовки

Раздел 2. Основы конструкции воздушных судов и авиационных двигателей

Лекция № 30

Тема 15. Общие сведения о конструкции
газотурбинных двигателей.

Учебные вопросы

Введение

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

15.2 Конструкция и работа входного устройства.

15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

15.5 Конструкция компрессора.

Введение

Современные ГТД имеют достаточно разнообразную конструкцию, тем не менее основные части современных ГТД одинаковы.

В наиболее общем случае современный ГТД состоит из следующих частей:

- Входное устройство (дозвуковое, сверхзвуковое, регулируемое, нерегулируемое и т.д.)
- Компрессор;
- Камера сгорания;
- Газовая турбина;
- Выхлопное устройство.

На некоторых ВС для увеличения тяги может устанавливаться форсированные ГТД. Это означает, что за газовой турбиной размещают еще один элемент – форсажную камеру сгорания.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Входные устройства ГТД предназначены для забора воздуха из окружающей атмосферы, подвода его к двигателю и осуществления процесса сжатия этого воздуха от скоростного напора с минимальными потерями полного давления.

Основным элементом входного устройства (ВУ), является воздухозаборник (ВЗ) – устройство, в котором осуществляется:

- забор воздуха;
- сжатие его от скоростного напора;
- подвод к двигателю.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Воздухозаборник – элемент конструкции машины, служащий для забора окружающего воздуха и направленной подачи к различным внутренним системам, агрегатам и узлам для различного применения: в качестве теплоносителя, окислителя для топлива, создания запаса сжатого воздуха и др. Забор воздуха осуществляется за счет давления, создаваемого потоком набегающего воздуха, или разряжения, создаваемого, например, при входе поршня в цилиндре.

Воздухозаборник авиационного двигателя – это тщательно спроектированная и изготовленная конструкция, от исполнения которой зависят параметры и надежность работы двигателя на всех эксплуатационных режимах.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

На сверхзвуковых самолетах воздухозаборники часто делают регулируемы. Применяют различные электрогидравлические автоматы для регулировки проходного сечения («горла») воздухозаборника.

В наиболее общем случае в **состав воздухозаборника** входят:

1. Воздухозаборник;
2. Воздухопроводящий канал;
3. Система управления воздухозаборником;
4. Защитные устройства.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Защитные устройства обеспечивают защиту от попадания пыли и посторонних предметов, могут включать в себя створки перепуска, системы управления пограничным слоем; средства регулирования и пр.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.

1. По скорости потока:
 1. Дозвуковые (как разновидность – трансзвуковые);
 2. Сверхзвуковые;
 3. Гиперзвуковые.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.

2. По наличию системы управления:
 1. Регулируемые;
 2. Нерегулируемые.
3. По расположению на воздушном судне:
 1. Лобовые;
 2. Подфюзеляжные;
 3. Подкрыльевые;
 4. Боковые.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Классификация входных устройств.



15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Общие требования к воздухозаборникам

1. Минимальные потери полного давления;
2. Устойчивое течение воздуха во всем эксплуатационном диапазоне высот и скоростей полета;
3. Малое внешнее сопротивление;
4. Равномерное распределение скорости воздушного потока на входе в двигатель;
5. Обеспечение требуемого расхода воздуха;
6. Отсутствие влияния на аэродинамические характеристики воздушного судна;
7. Отсутствие влияния планера на работу входного устройства.

15.1 Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.

Основные параметры входных устройств.

1. Пропускная способность – расход воздуха, потребляемого двигателем (компрессором).
2. Относительная плотность тока – характеристика пропускной способности входного устройства.
3. Коэффициент сохранения полного давления.
4. Степень повышения давления во входном устройстве.
5. Коэффициент внешнего сопротивления.

15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.

На современных ЛА гражданской и военно-транспортной авиации широко используются ТРДД большой степени двухконтурности. Такие двигатели обычно располагают в отдельных мотогондолах и их воздухозаборники достаточно просты по конструкции, однако к ним предъявляются жесткие требования, которые сказываются и на их конструктивном исполнении.

15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.



15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.

Воздухозаборники ТРДД рассчитываются, как правило, на крейсерские скорости полета порядка $0,75..0,85M$. Они должны обладать относительно малой массой при условии обеспечения необходимого расхода воздуха. Важным требованием является обеспечение минимальных потерь энергии воздушного потока, который направляется в двигатель, а так же потерь на преодоление внешнего сопротивления.

Удовлетворение этих требований обеспечивается правильным профилированием внутреннего канала и внешних обводов, что позволяет уменьшить сопротивление и улучшить обтекание. К тому же передние кромки входного устройства чаще всего имеют достаточно толстый профиль, в продольном сечении принимающий профиль крыла.

15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.



15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.

Это, в свою очередь, позволяет обеспечить безотрывное обтекание воздушным потоком поверхностей, что минимизирует потери и, кроме того, проявляется еще одно полезное действие. При обтекании толстой входной кромки возникает аэродинамическая сила, подобная подъемной силе.

Работа дозвукового воздухозаборника сводится к торможению воздушного потока на больших дозвуковых скоростях полета и обеспечению пропуски необходимого для нормальной работы ГТД количества воздуха.

15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.

Конструктивно воздухозаборник состоит из:

1. воздухозаборника (обечайки);
2. воздухопроводящего канала.

15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.

Воздухопроводящий канал

Обечайка



15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.

На малых скоростях полета течение воздуха через воздухозаборник обеспечивается за счет разрежения, создаваемого компрессором двигателя, при этом входное сечение воздухозаборника может не пропускать необходимого количества воздуха. В этом случае воздухозаборник оборудуется дополнительными **створками подпитки**. Эти створки позволяют подать в воздухопроводящий канал дополнительные объемы воздуха и обеспечить нормальную работу ТРД.

15.2 Конструкция и работа входного устройства.

Дозвуковые воздухозаборники.



15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

На самолетах, летающих со сверхзвуковыми скоростями, применение дозвуковых входных устройств недопустимо из-за появления скачков уплотнения на обечайке входного устройства и резкого уменьшения пропускной способности воздухозаборника. Для такого класса летательных аппаратов используют сверхзвуковые воздухозаборники, в которых степень повышения давления сопоставима со степенью сжатия компрессора.

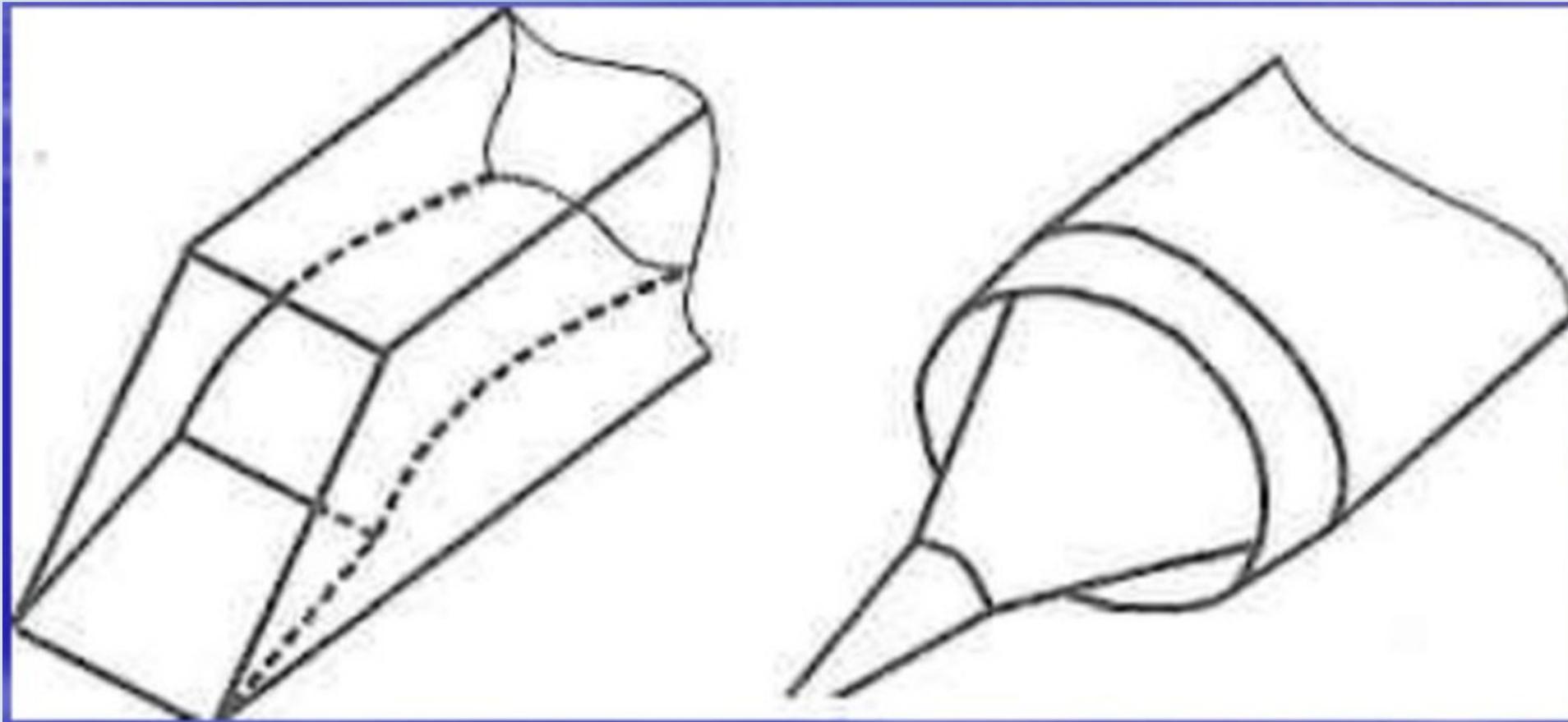
15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

Классификация сверхзвуковых входных устройств.

1. По форме поперечного сечения:
 1. Плоские;
 2. Осесимметричные.

15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

Классификация сверхзвуковых входных устройств.



15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

Классификация сверхзвуковых входных устройств.



15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

Классификация сверхзвуковых входных устройств.



15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

Классификация сверхзвуковых входных устройств.

2. По принципу организации процесса сжатия:
 1. С внешним сжатием;
 2. С внутренним сжатием;
 3. Со смешанным сжатием.
3. По количеству скачков уплотнения:
 1. С 1-м скачком (М до 1,5)
 2. С 2-мя скачками (М до 2,0)
 3. С 3-мя скачками (М до 2,5)
 4. С 4-мя скачками (М до 3,0)
 5. С 5-ю и более скачками.

15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

Важнейшими характеристиками сверхзвукового воздухозаборника являются расположение скачков уплотнения и площадь наименьшего проходного сечения. Плоскость воздухозаборника, имеющая наименьшую площадь проходного сечения называют **критическим сечением** или **«горлом»**.

На сверхзвуковых скоростях полета количество воздуха, поступающего через входное устройство, может превышать необходимое для нормальной работы двигателя. Такая ситуация может привести к нерасчетным режимам работы силовой установки в целом. Для предупреждения подобных явлений сверхзвуковые входные устройства, кроме **створок подпитки** оснащаются и **створками перепуска**, которые сбрасывают избыток воздуха в атмосферу.

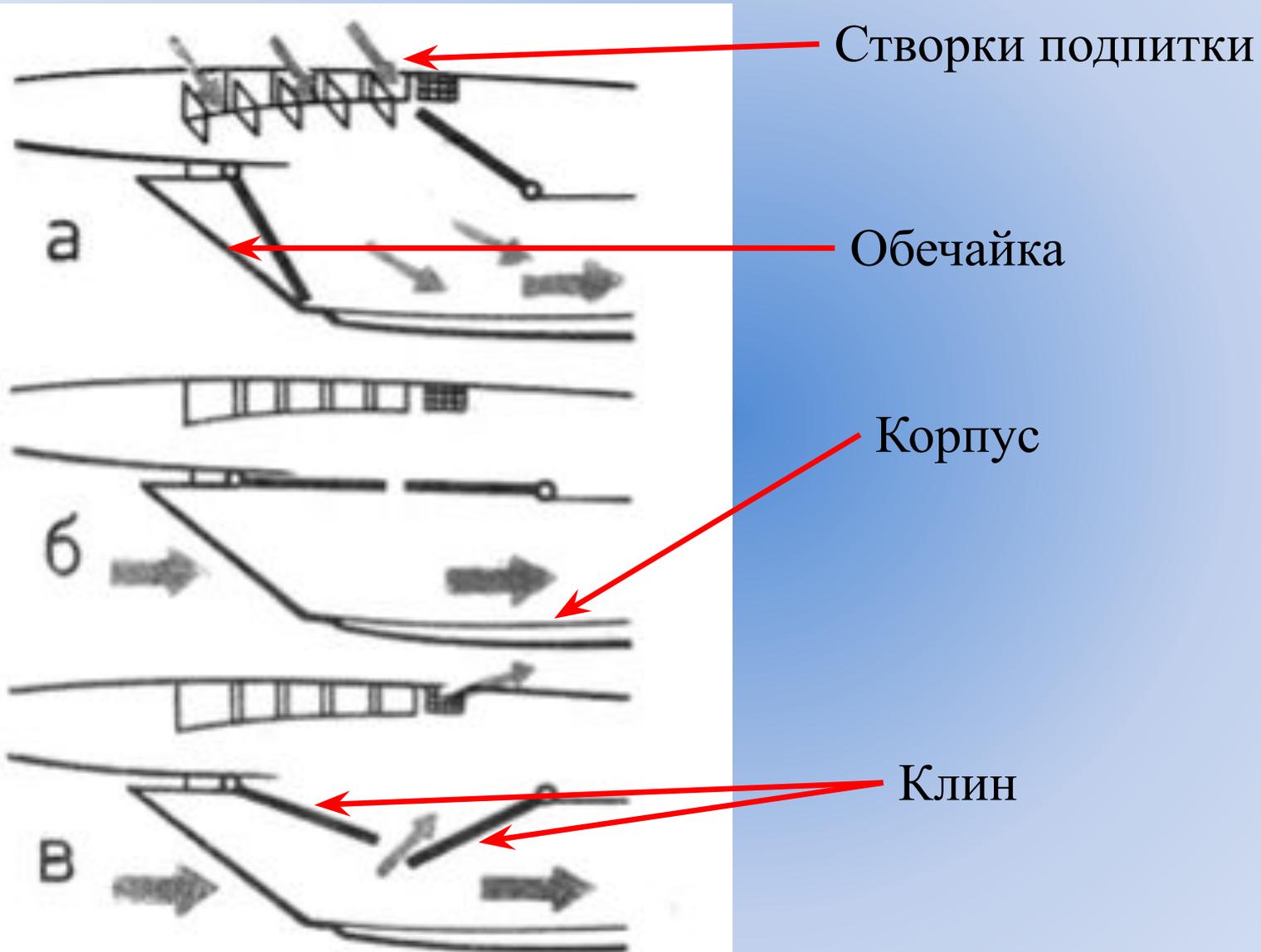
15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.

Рассмотрим основные части сверхзвукового входного устройства на примере одного из наиболее сложных в конструктивном плане воздухозаборника самолета МиГ-29.

В состав воздухозаборника входят:

1. Корпус с обечайкой
2. Клин (передняя и задняя панели).
3. Дополнительные створки подпитки.

15.3 Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.



15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Компрессор предназначается для сжатия (повышения давления) воздуха, поступающего из воздухозаборника, (что необходимо для осуществления цикла Брайтона) и прокачки его далее по тракту двигателя.

Компрессор, подающий воздух в наружный контур ТРДД (или одновременно в наружный и внутренний контуры), обычно называют **вентилятором ТРДД**.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

По направлению потока компрессоры бывают:

1. **Осевые:** направление скорости воздушного потока примерно параллельно оси двигателя.
2. **Центробежные:** направление воздушного потока параллельно радиусу двигателя.
3. **Диагональные:** направление воздушного потока среднее между осевым и центробежным компрессором.
4. **Комбинированные:** представляют собой последовательное соединение осевых и центробежных или центробежных (диагональных) и осевых компрессоров. Например, диагонально-осевые компрессоры, осецентробежные компрессоры.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

Осевой компрессор

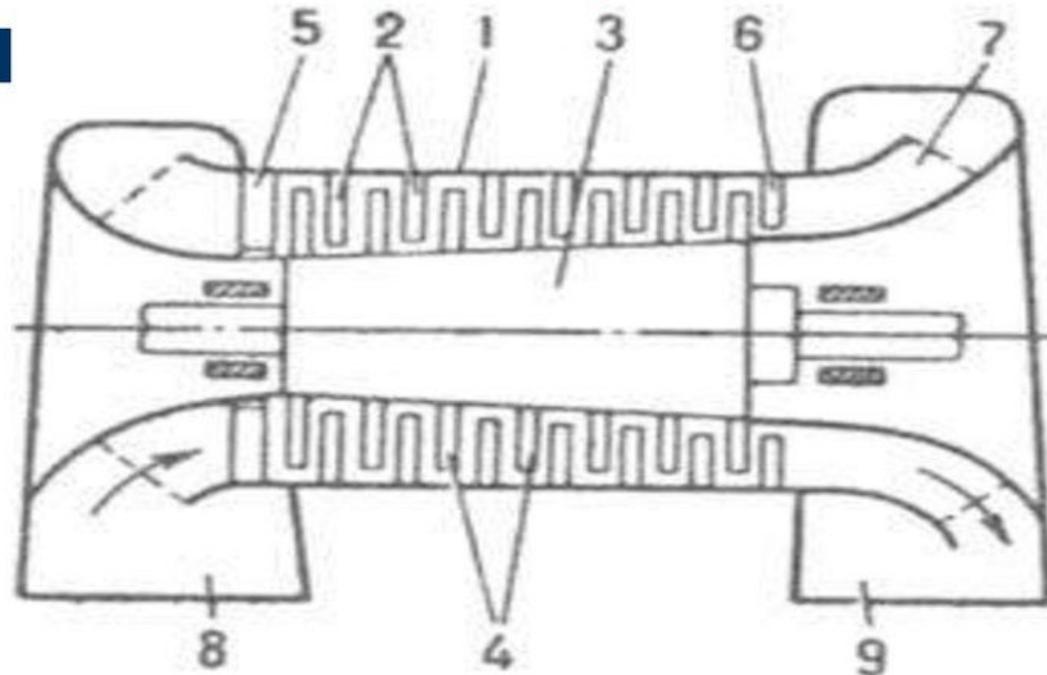
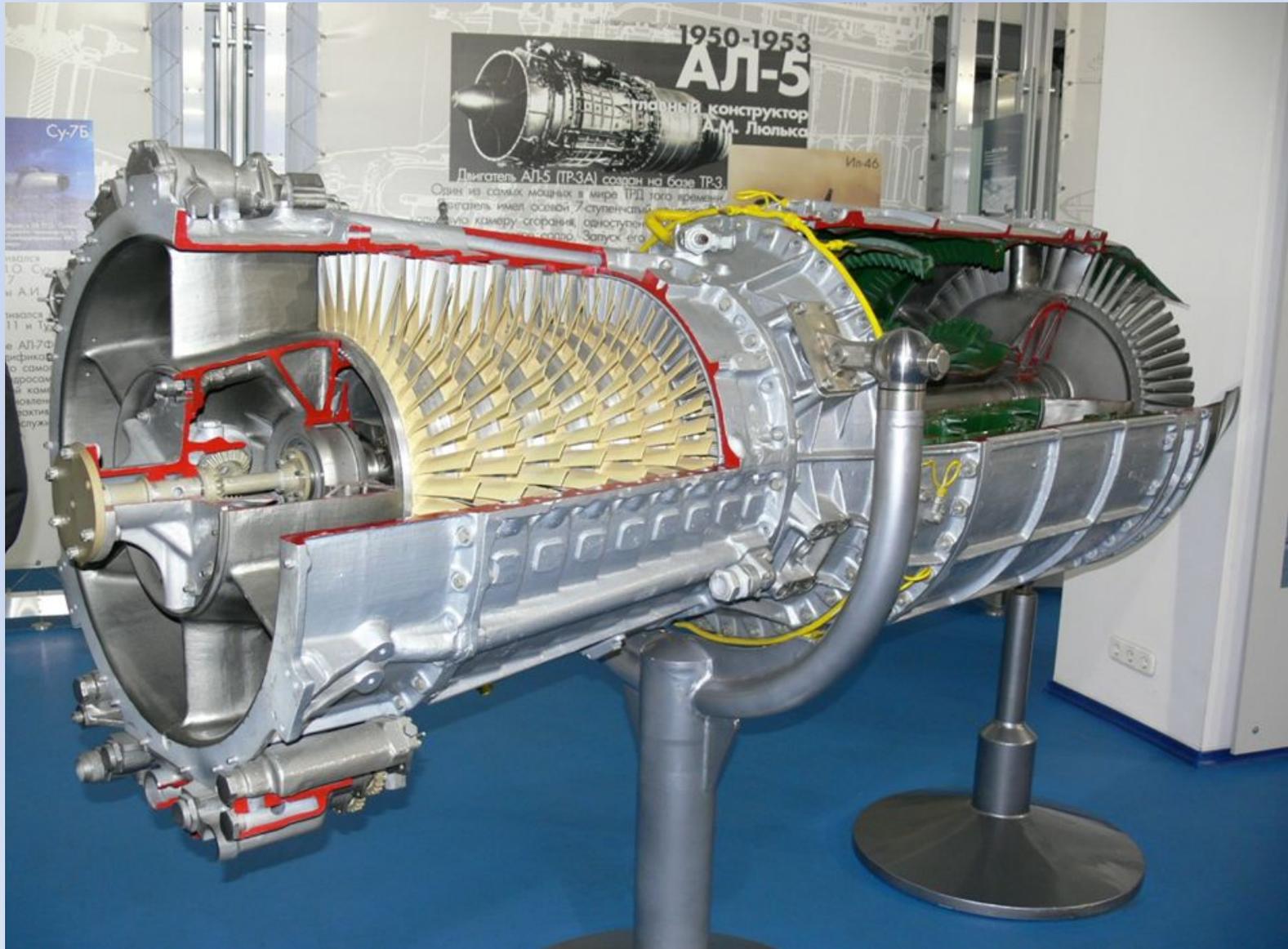


Рис. 6. Осевой компрессор: 1, 2 - статор и его лопатки; 3, 4 - ротор и его лопатки; 5, 6 - направляющий и спрямляющий аппараты; 7 - диффузор; 8, 9 - всасывающий и нагнетательный патрубки.

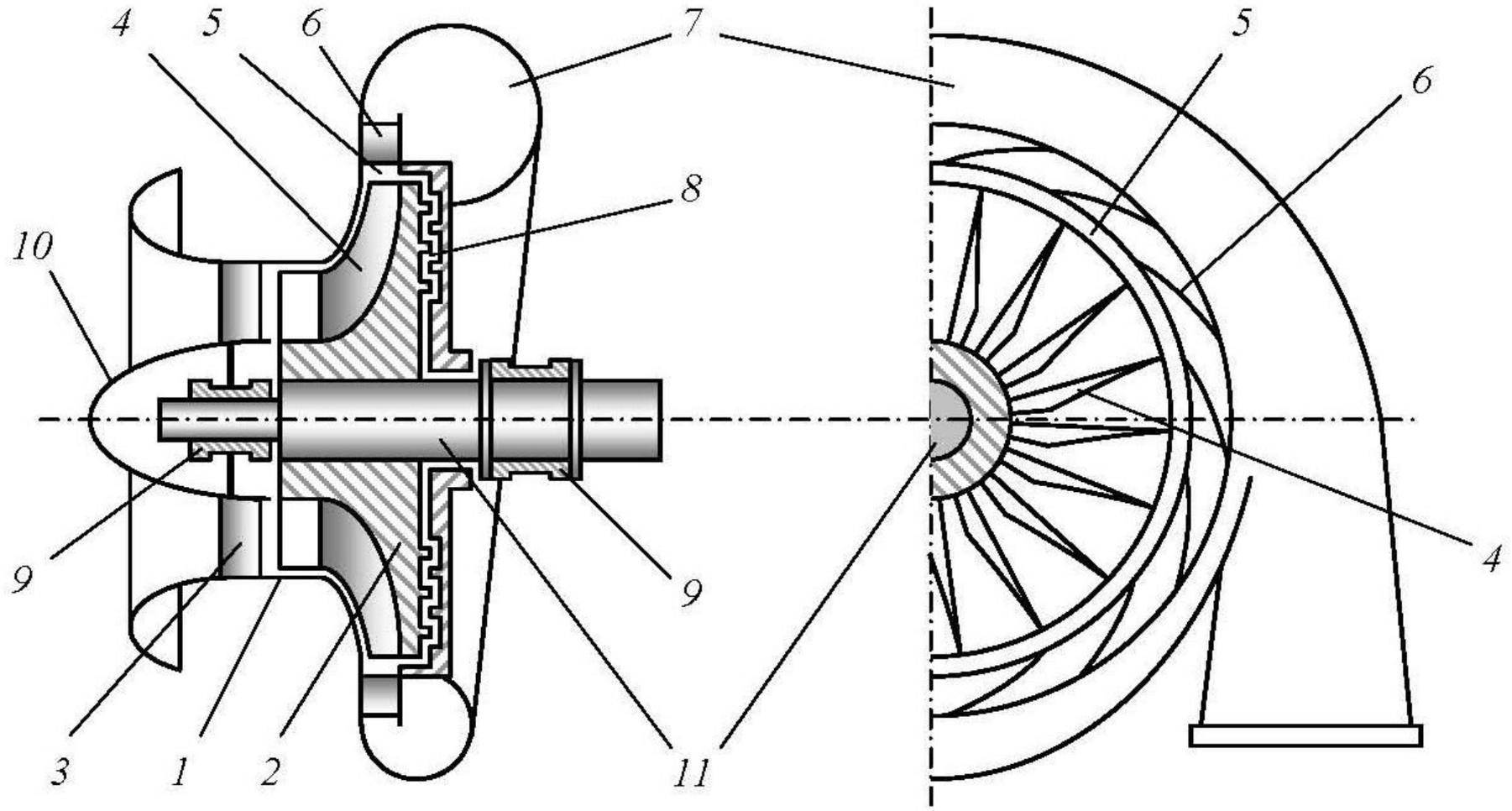
15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.



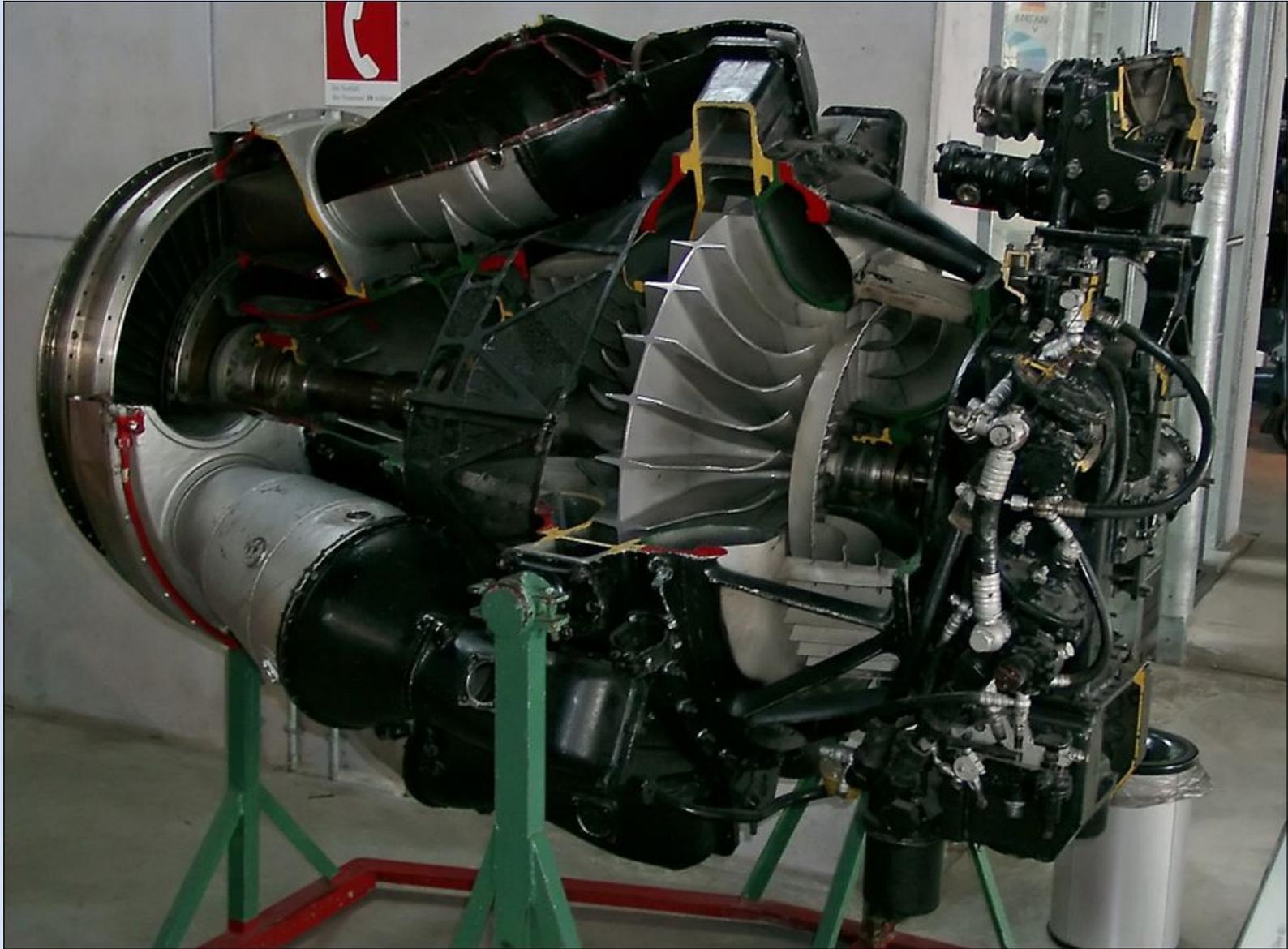
15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.



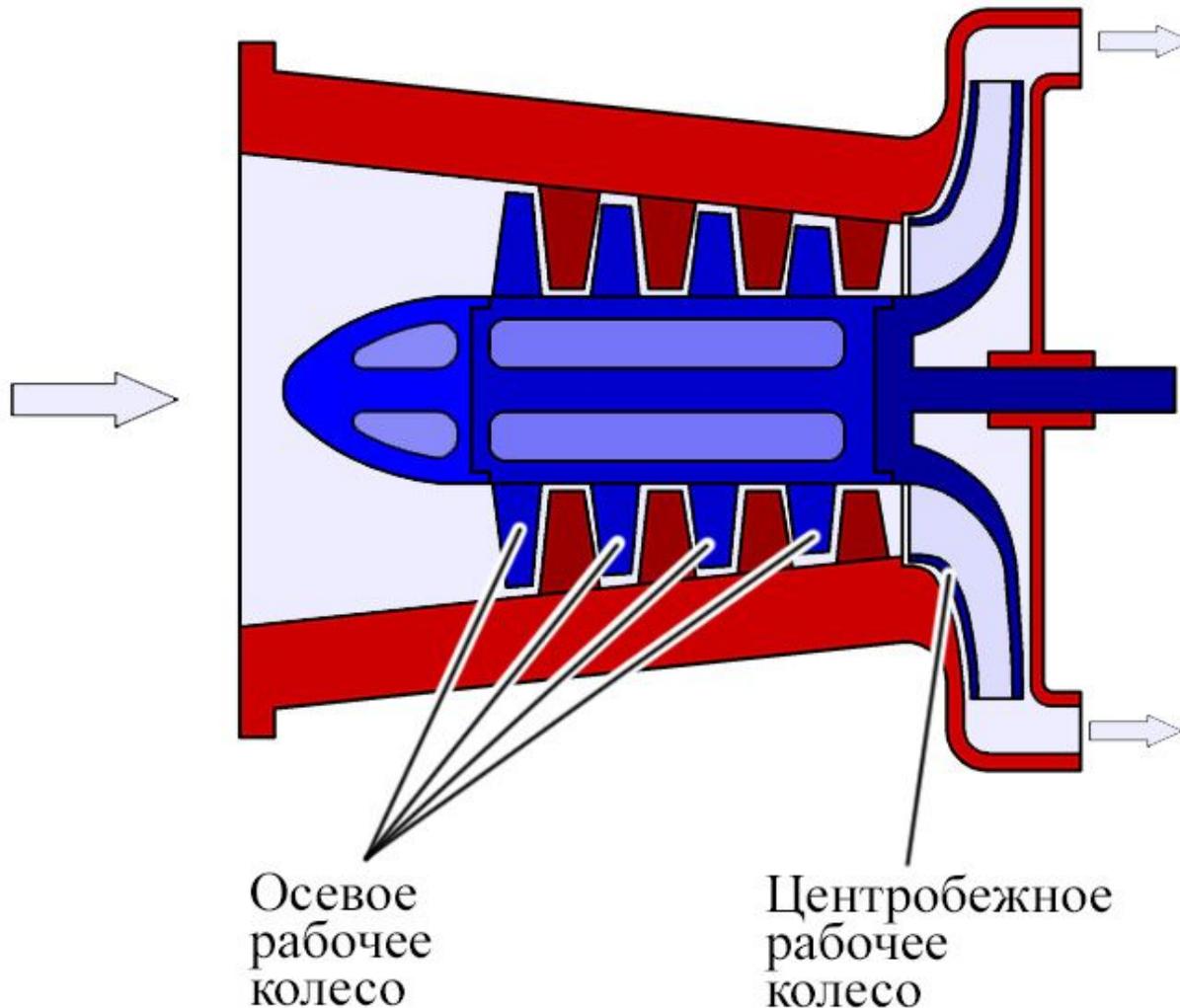
15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.



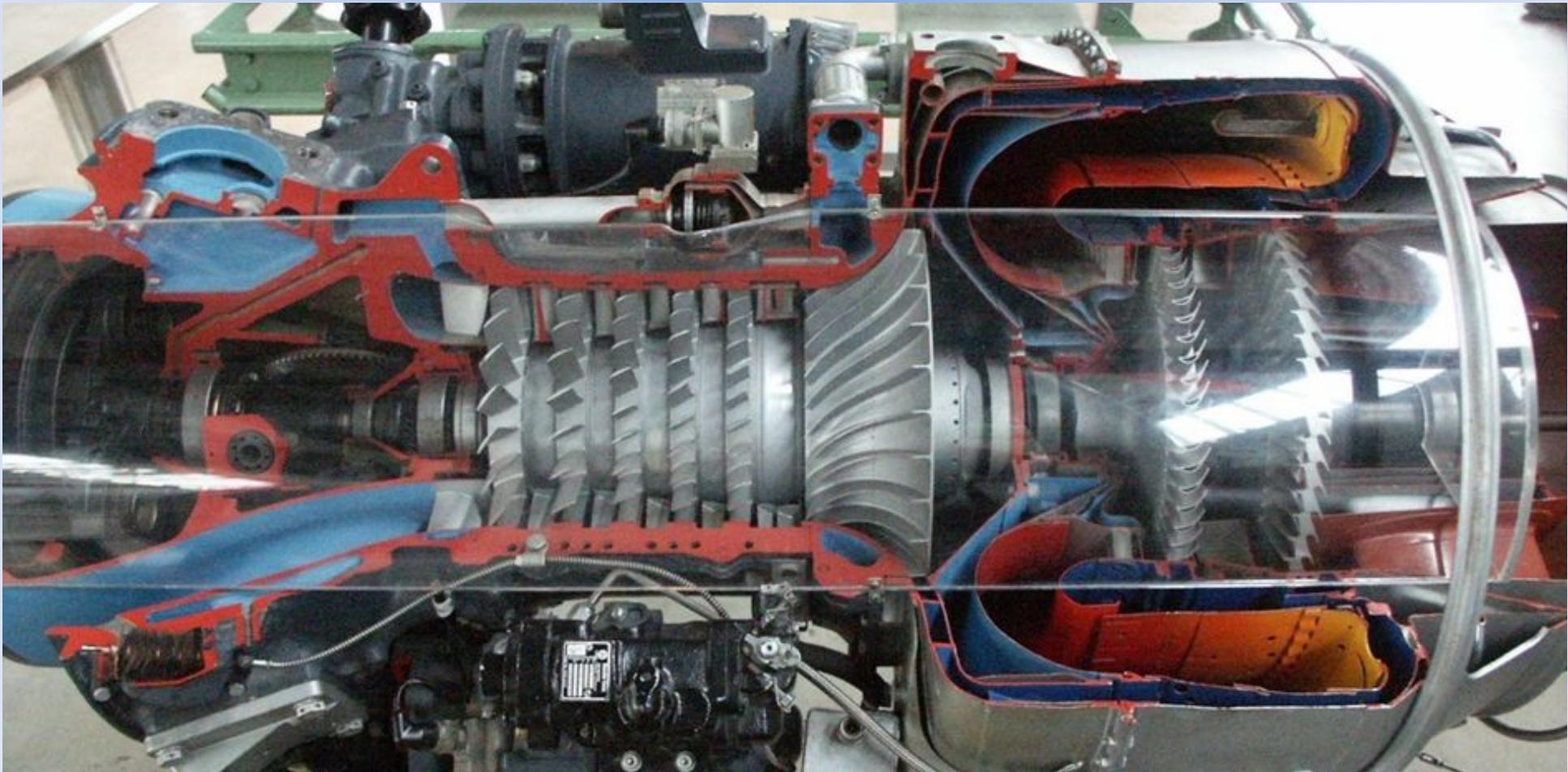
15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.



15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.



15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

По количеству ступеней компрессоры бывают:

1. Одноступенчатые.
2. Двухступенчатые.
3. Многоступенчатые.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

По количеству каскадов (роторов) компрессоры бывают:

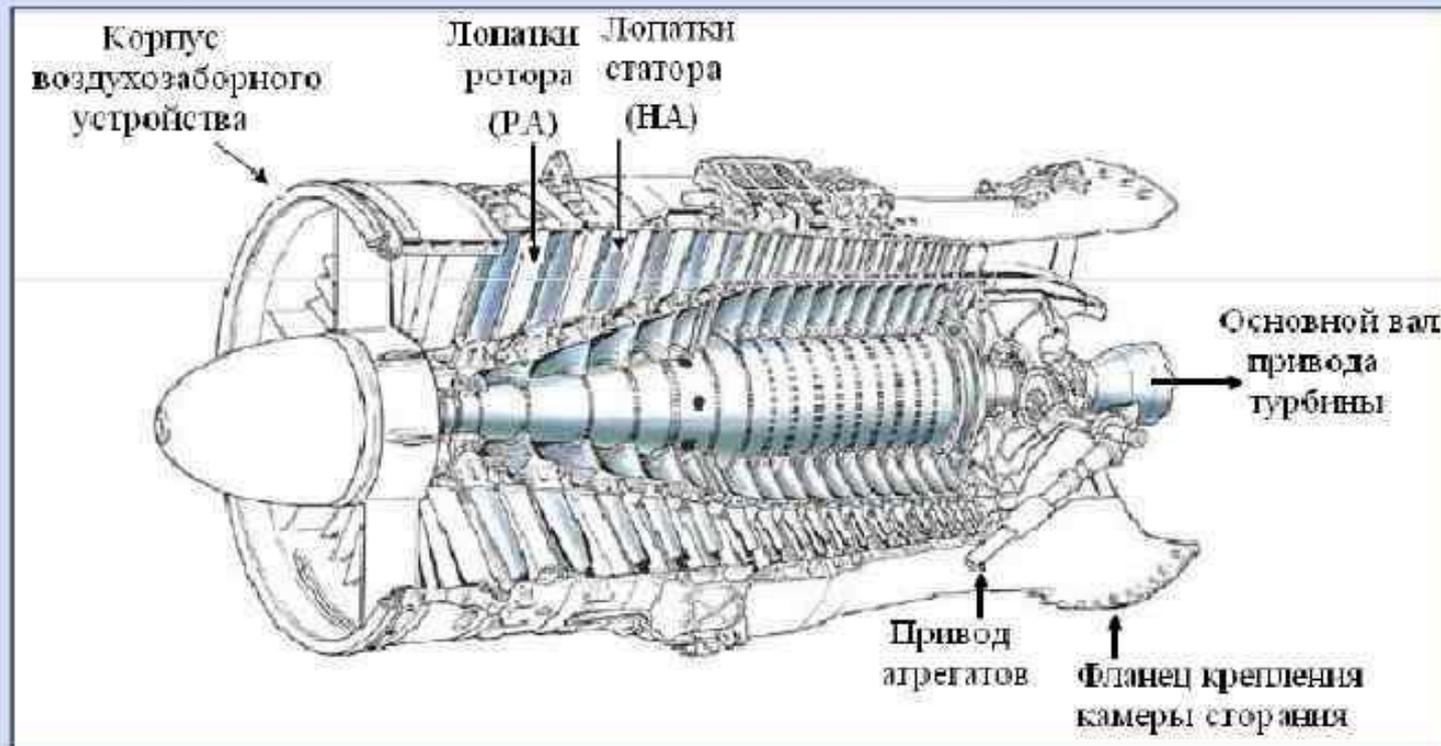
1. Однокаскадные (однороторные).
2. Двухкаскадные (двухроторные).
3. Трехкаскадные (трехроторные).

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

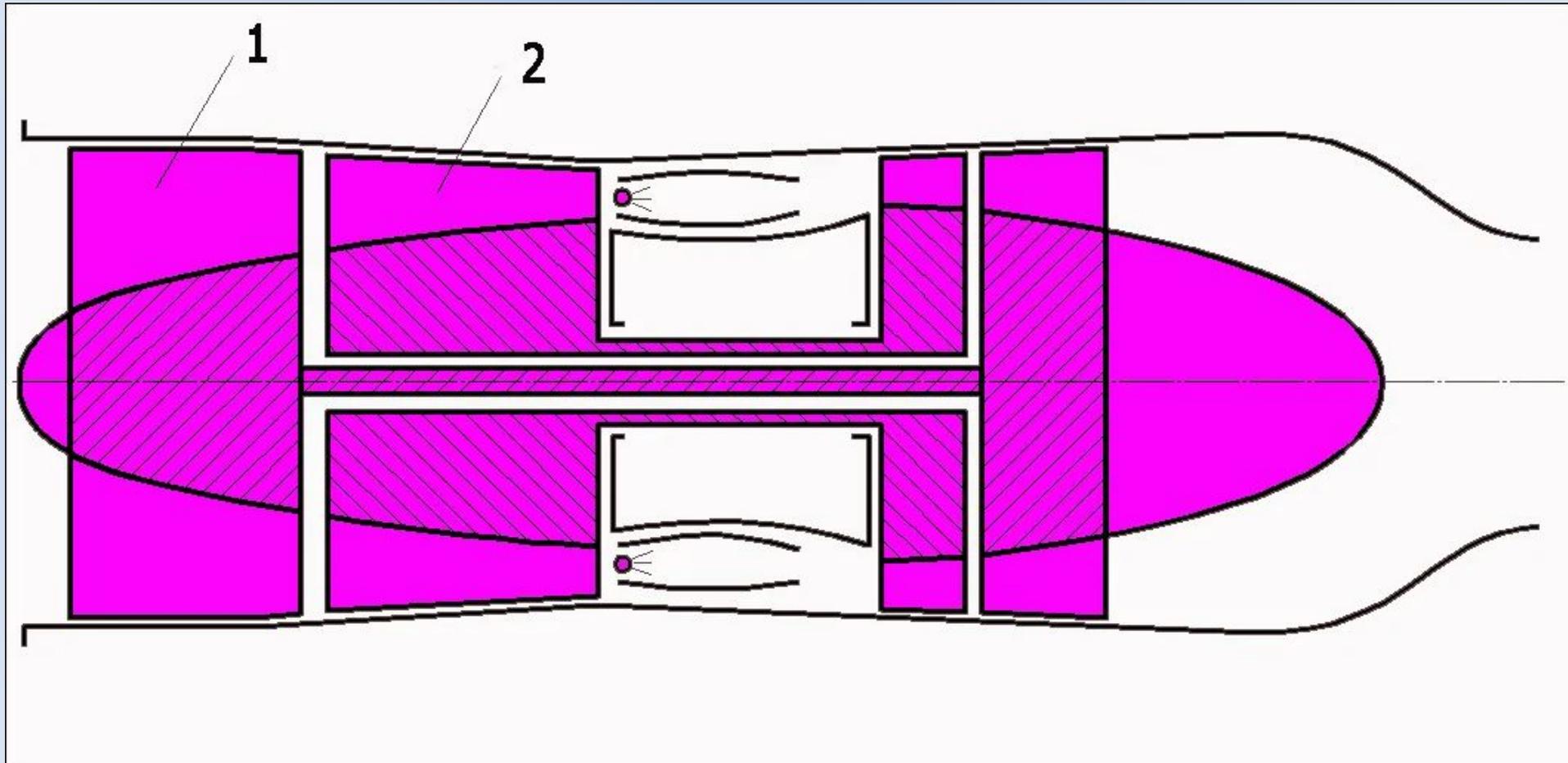
24

Однокаскадный осевой компрессор



15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

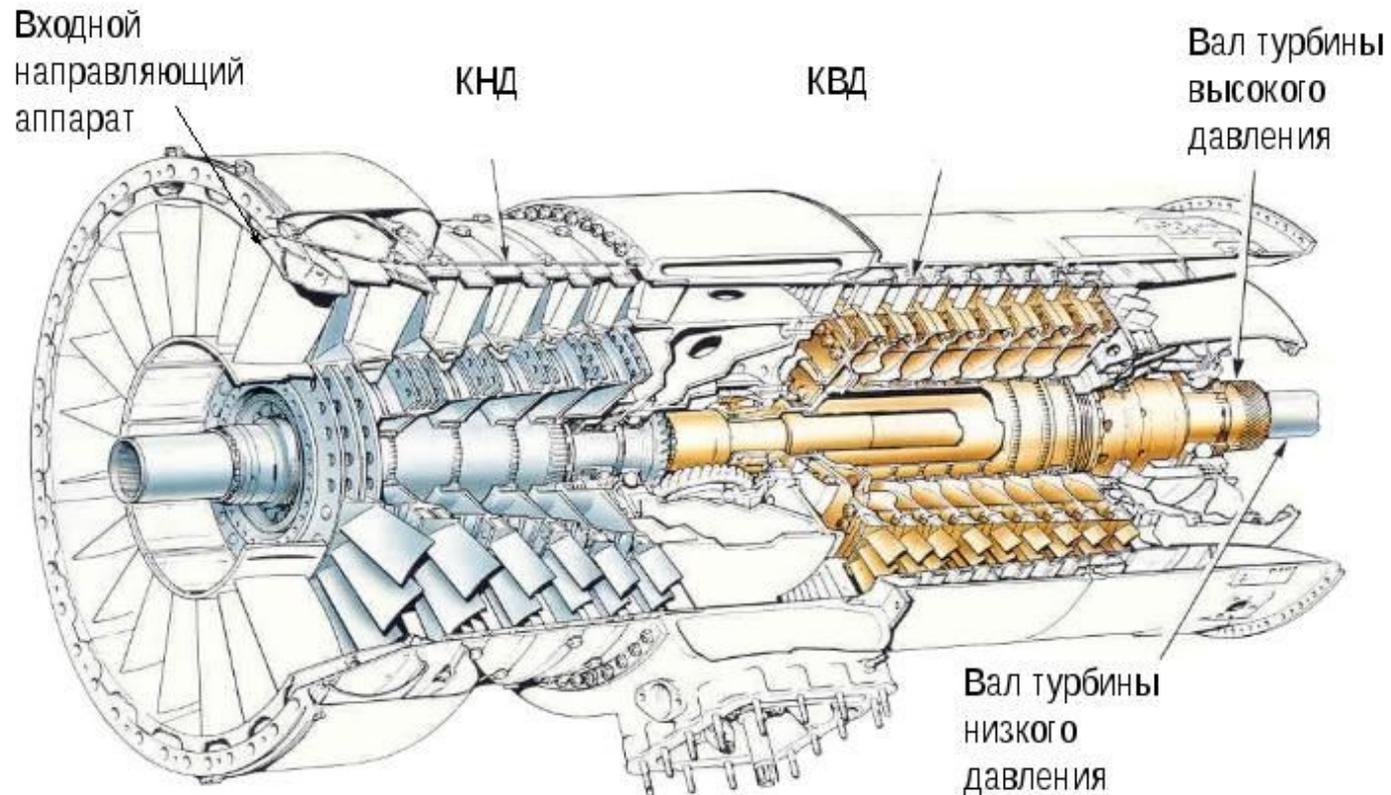


15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

Конструктивные схемы компрессоров
Осевые компрессоры

Двухкаскадный компрессор одноконтурного ТРД

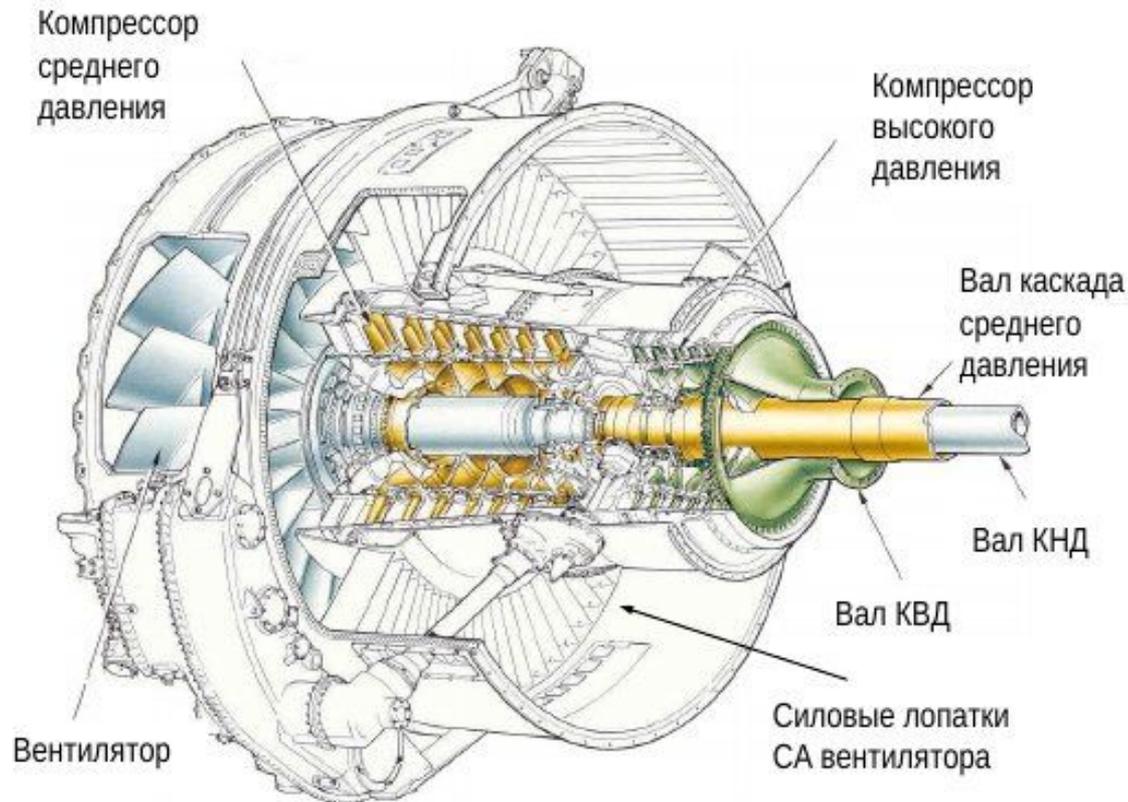


15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

Конструктивные схемы компрессоров
Осевые компрессоры

Трёхкаскадный компрессор ТРДД с большой степенью двухконтурности



15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

По конструктивному исполнению компрессоры бывают:

1. Барабанные.
2. Дисковые.
3. Смешанные.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Классификация компрессоров.

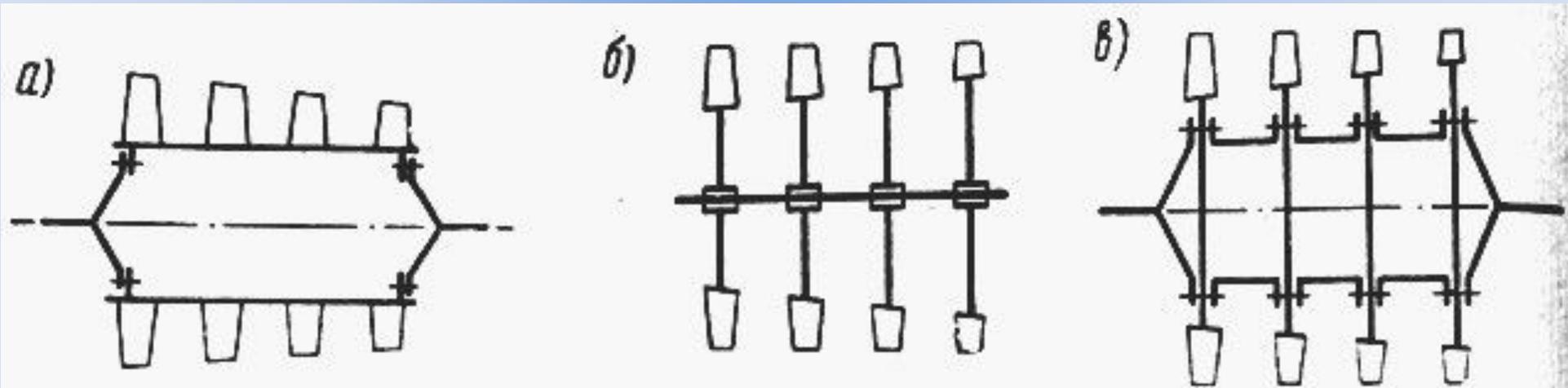


Рис. 102. Типы роторов компрессоров:
а — барабанный; б — дисковый; в — барабанно-дисковый

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Основными типами компрессоров современных авиационных газотурбинных двигателей являются одно- или многоступенчатые осевые компрессоры или осецентробежные компрессоры.

Другие типы компрессоров применяются реже. В мощных ГТД применяются исключительно осевые компрессоры, так как они позволяют обеспечить большой расход воздуха, необходимый мощным двигателям, при минимальных габаритах. В двигателях сравнительно небольших размеров может применяться сочетание нескольких осевых и обычно одной (последней) центробежной ступени. Такой компрессор называется осецентробежным.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Основными требованиями к компрессорам ГТД являются:

1. минимально возможные габариты и масса при данном расходе воздуха и степени повышения давления;
2. минимальные гидравлические потери;
3. устойчивая работа на всех эксплуатационных режимах;
4. высокая надежность конструкции;
5. минимальное число ступеней, (число ступеней в значительной мере определяет стоимость компрессора).

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Осевой компрессор имеет несколько рядов лопаток, насаженных на один общий вращающийся вал, которые образуют **ротор компрессора**.

Один ряд лопаток ротора (вращающийся лопаточный венец) называется **рабочим колесом (РК)**.

Другой основной частью компрессора является **статор**, состоящий из нескольких рядов неподвижных лопаток (лопаточных венцов), закрепленных в корпусе.

Назначением лопаток статора является спрямление воздушного потока, закрученного впереди стоящим рабочим колесом, и направление его под необходимым углом на лопатки расположенного далее следующего рабочего колеса.

Соответственно этому один ряд лопаток статора называется **направляющим аппаратом (НА)**.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Осевой компрессор

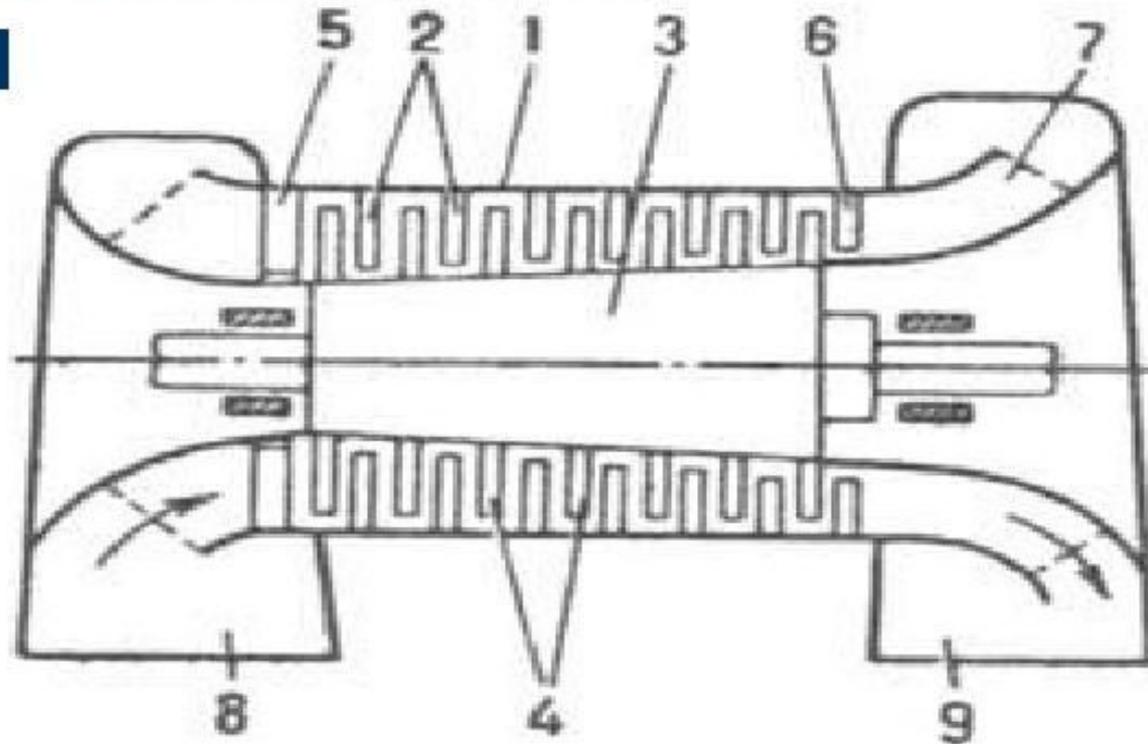
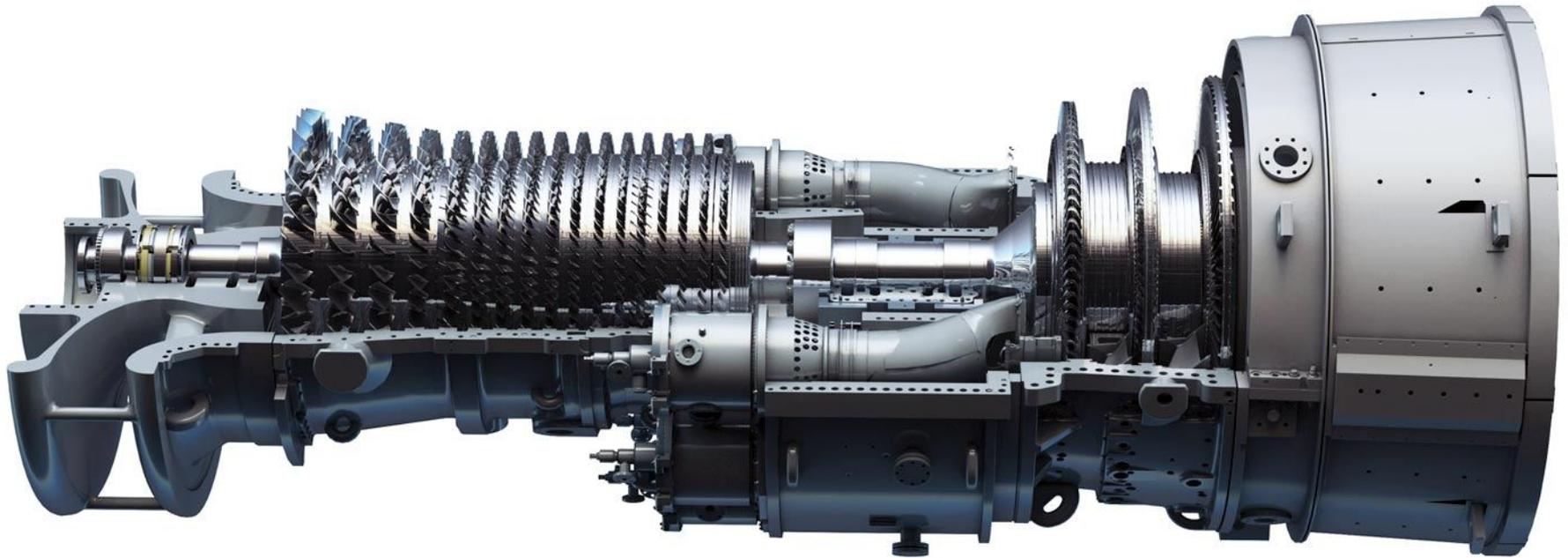


Рис. 6. Осевой компрессор: 1, 2 - статор и его лопатки; 3, 4 ротор и его лопатки; 5, 6 - Направляющий и спрямляющий аппараты; 7 - диффузор; 8, 9 - всасывающий и нагнетательный патрубки.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.



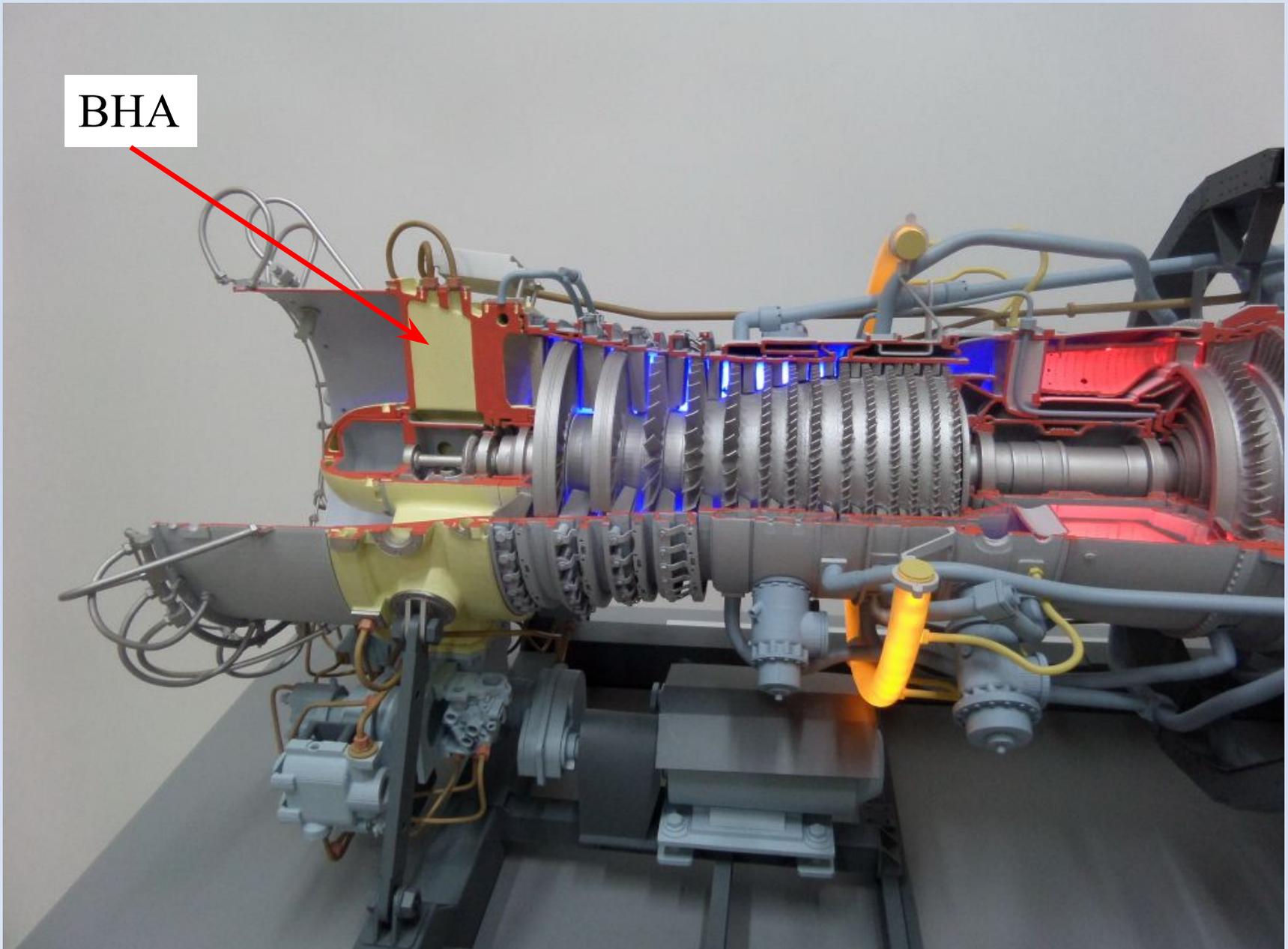
15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Если первый ряд лопаток статора установлен впереди первого рабочего колеса, то он называется **входным направляющим аппаратом (ВНА)**.

Сочетание одного рабочего колеса и одного стоящего за ним направляющего аппарата называется **ступенью компрессора**.

15.4 Назначение и классификация компрессоров.

ВНА



15.4 Назначение и классификация компрессоров.

Основные параметры осевых компрессоров:

1. расход воздуха (кг/с);
2. степень повышения полного давления;
3. коэффициент полезного действия.

15.5 Конструкция компрессора.

В настоящее время на ВС военного назначения наибольшее распространение нашли ГТД с осевым компрессором, поэтому в лекционном материале будет рассматриваться конструкция именно этого типа компрессоров.

Осевой компрессор – типичная лопаточная машина, рабочий процесс в которой происходит в результате движения рабочего тела через системы неподвижных каналов и межлопаточных каналов вращающихся колес.

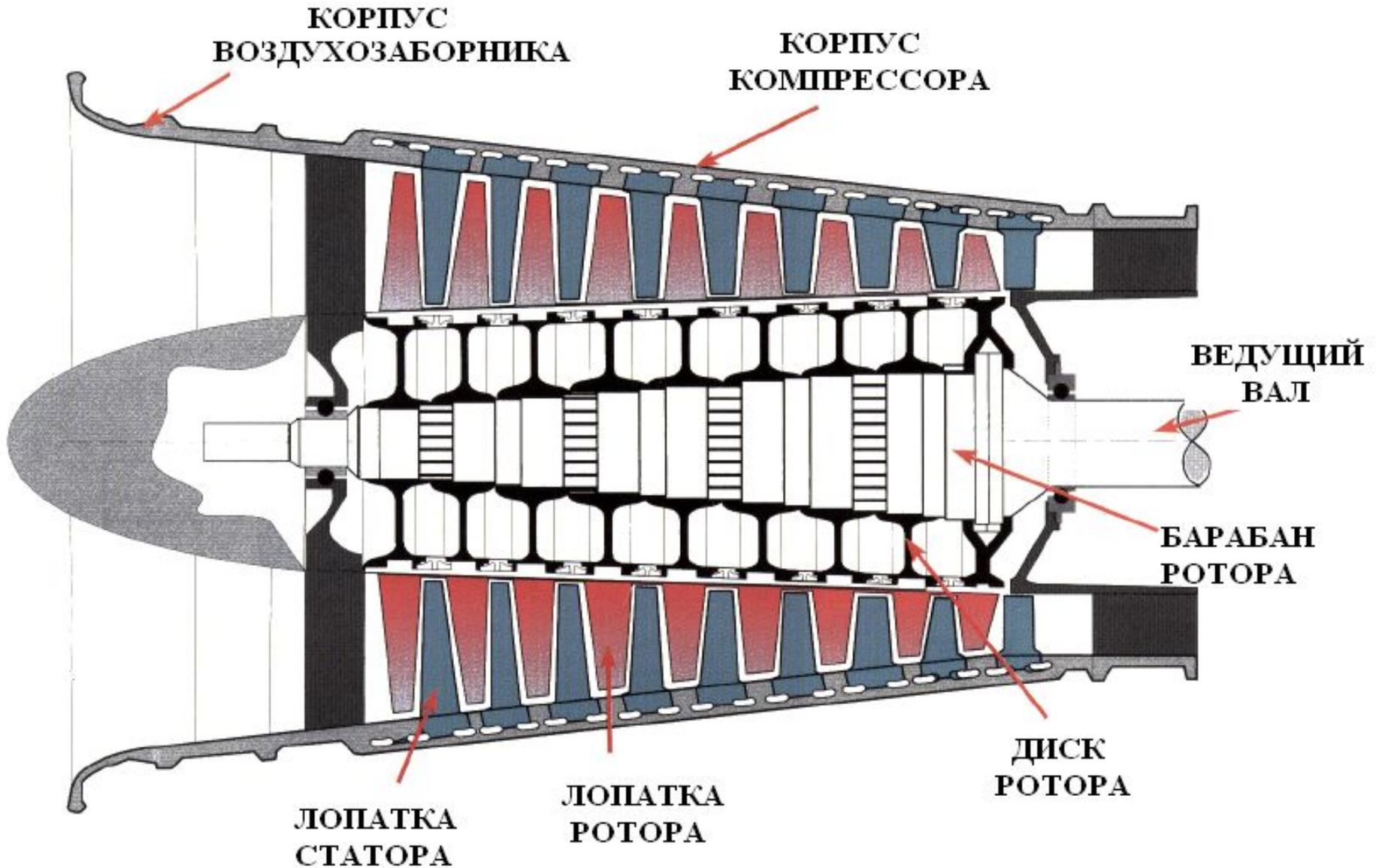
15.5 Конструкция компрессора.

Осевой компрессор состоит из ряда ступеней, количество которых может быть различным, в зависимости от величины требуемой степени повышения давления рабочего тела.

Ступень состоит из двух рядов (венцов) лопаток специального профиля. Первый ряд – **рабочее колесо**, которое вращается, находясь на одном валу с турбиной. Это подвижные лопатки. Второй ряд – это **направляющий аппарат**. Это неподвижные лопатки, которые крепятся к корпусу компрессора.

Совокупность рабочих колес образует **ротор компрессора**. Совокупность корпуса с закрепленными на нем лопатками направляющих аппаратов называют **статором**.

15.5 Конструкция компрессора.



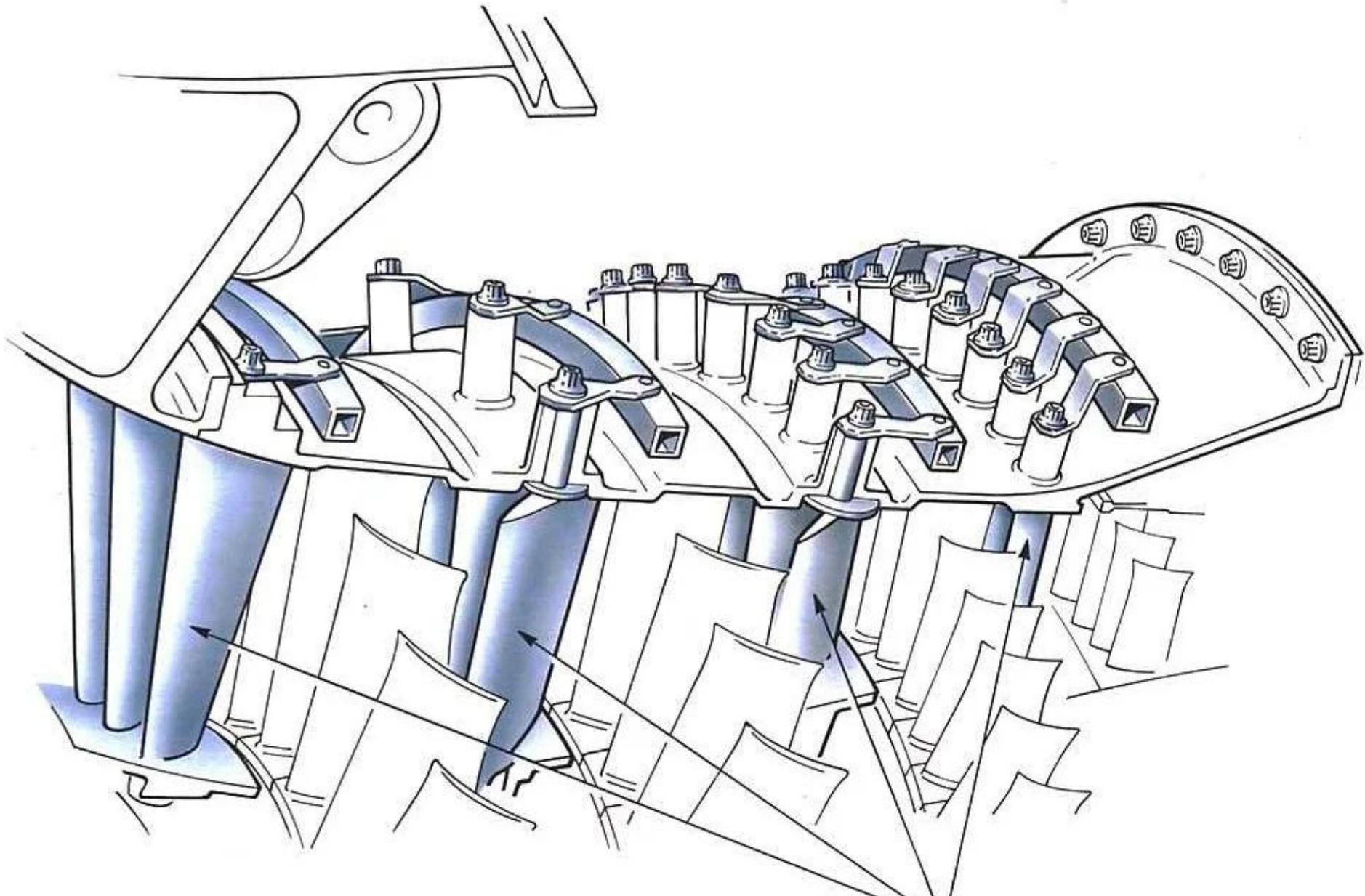
15.5 Конструкция компрессора.

Лопатки направляющего аппарата, установленные перед первой ступенью компрессора образуют **входной направляющий аппарат (ВНА)**. Лопатки ВНА организуют предварительную закрутку воздуха перед рабочими лопатками первой ступени для улучшения обтекания рабочих лопаток.

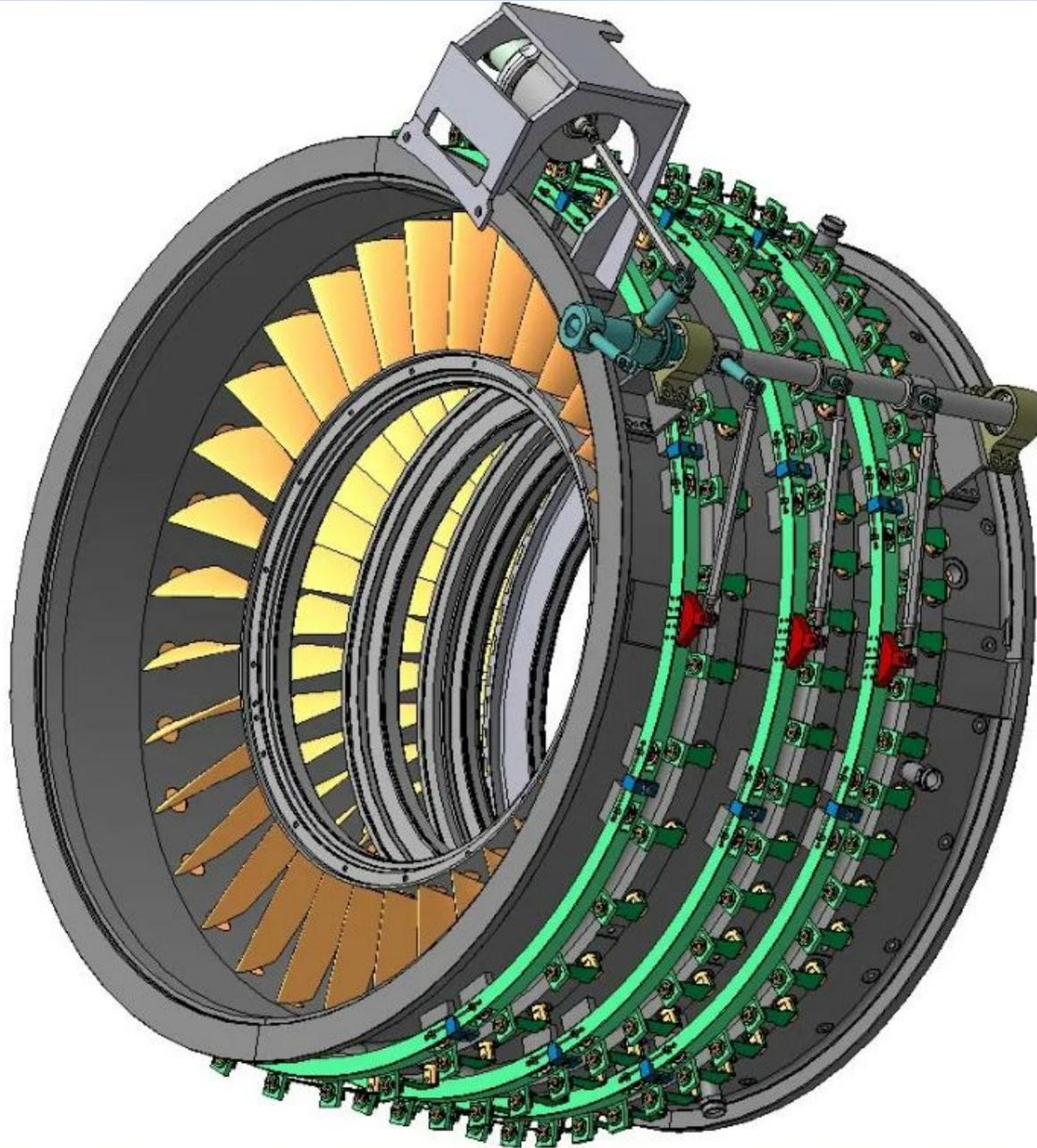
В некоторых двигателях лопатки ВНА выполняют поворотными, что бы в зависимости от режима работы двигателя (оборотов) направлять поток под оптимальными углами.

Для обеспечения устойчивости работы ГТД поворотными выполняются лопатки не только ВНА, но и направляющих аппаратов других ступеней.

15.5 Конструкция компрессора.



15.5 Конструкция компрессора.



15.5 Конструкция компрессора.

Таким образом, компрессор ГТД состоит из:

1. Статора:
 1. Корпуса;
 2. Направляющих аппаратов.
2. Ротора:
 1. Вала ротора, жестко соединенного с валом соответствующей турбины.
 2. Рабочих колес.

15.5 Конструкция компрессора.

Корпус компрессора выполняется разъемным для обеспечения технологичности производства. Обычно корпус состоит из двух частей, соединенных по фланцу болтами.

Снаружи на корпусе выполняются кронштейны для крепления различных агрегатов двигателя, а так же системы поворота лопаток направляющих аппаратов (при наличии таковых). На внутренней поверхности выполнены узлы крепления лопаток статора. Кроме этого, по радиусам движения рабочих лопаток делаются пазы для размещения лабиринтных уплотнений.

Крепление лопаток статора к корпусу производится винтами.

15.5 Конструкция компрессора.

Соединительный фланец корпуса компрессора



15.5 Конструкция компрессора.

Корпус компрессора выполняется разъемным для обеспечения технологичности производства. Обычно корпус состоит из двух частей, соединенных по фланцу болтами.

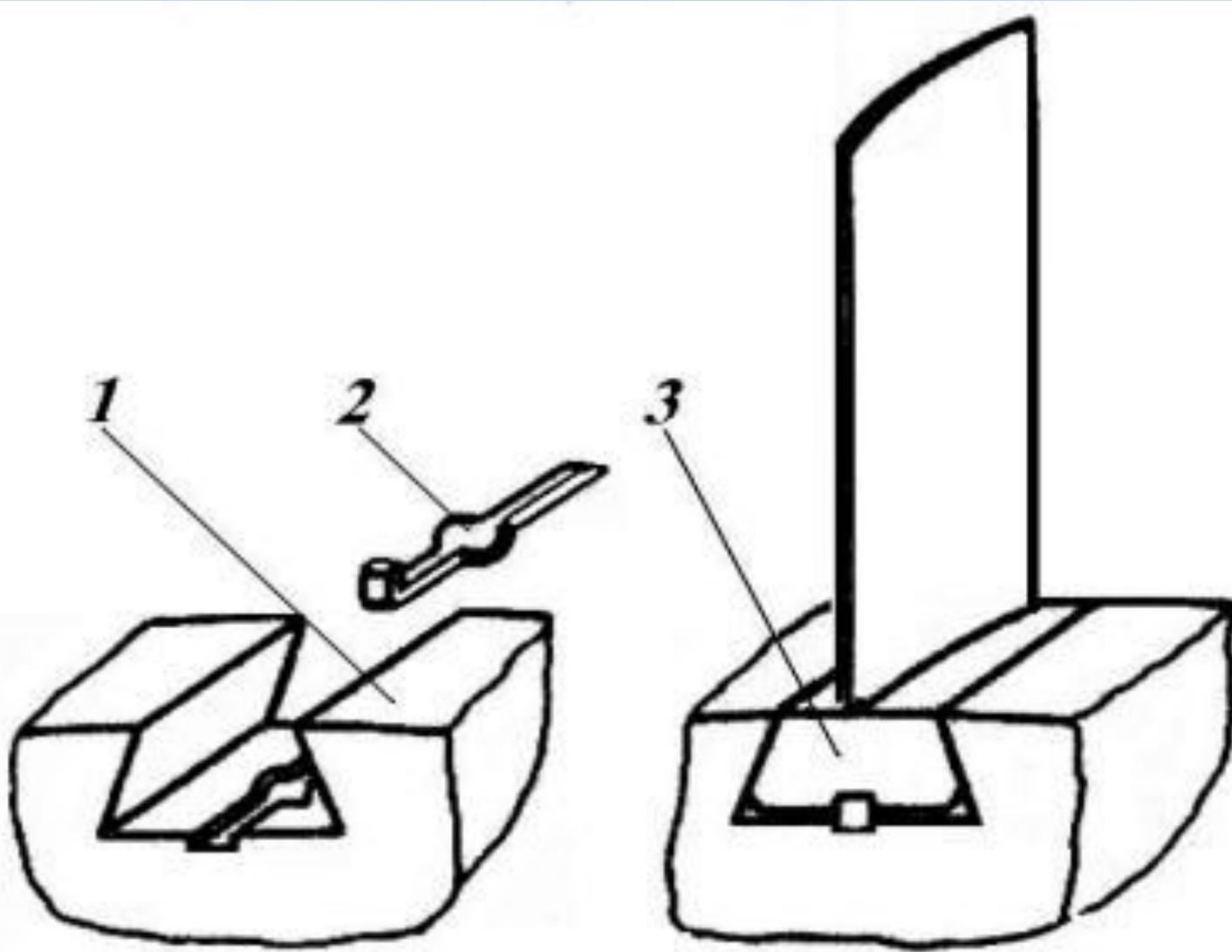
Снаружи на корпусе выполняются кронштейны для крепления различных агрегатов двигателя, а так же системы поворота лопаток направляющих аппаратов (при наличии таковых). На внутренней поверхности выполнены узлы крепления лопаток статора. Кроме этого, по радиусам движения рабочих лопаток делаются пазы для размещения лабиринтных уплотнений.

Крепление лопаток статора к корпусу производится винтами.

15.5 Конструкция компрессора.

Рабочие лопатки крепятся к ротору с помощью специальных замков. В современных ГТД в основном используют два типа замка: «ласточкин хвост» и шарнирные замки.

15.5 Конструкция компрессора.



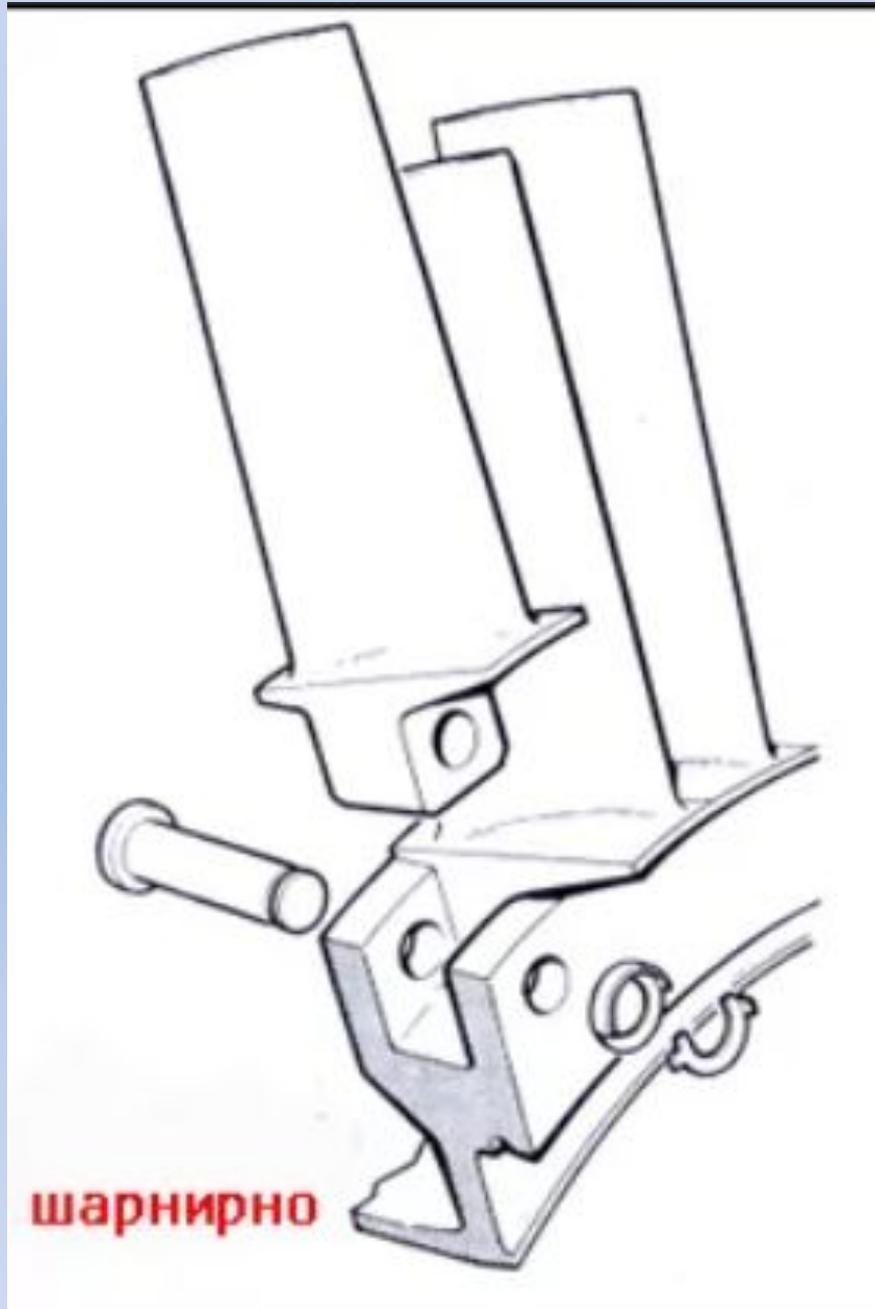
15.5 Конструкция компрессора.



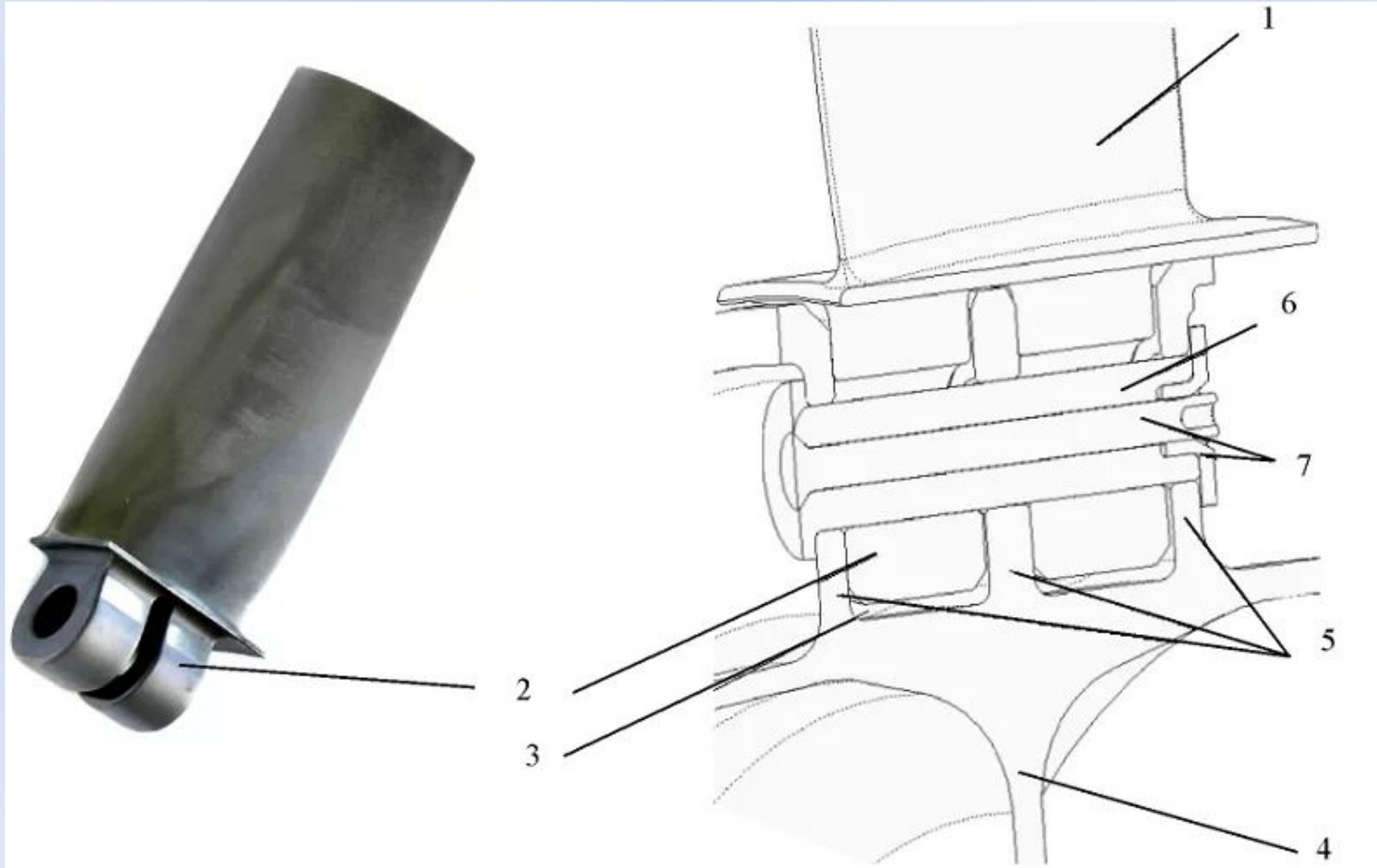
15.5 Конструкция компрессора.



15.5 Конструкция компрессора.



15.5 Конструкция компрессора.



Выводы по лекции

При рассмотрении лекционного материала были изучены:

1. Назначение, классификация и основные параметры входных устройств.
2. Конструкция и работа входного устройства.
3. Схема и принцип действия сверхзвукового входного устройства.
4. Назначение и классификация компрессоров.
5. Конструкция компрессора.

Вопросы для контроля

1. Назначение входных устройств ГТД.
2. Функции, осуществляемые воздухозаборником.
3. Типовой состав воздухозаборника.
4. Классификация входных устройств.
5. Основные требования к входным устройствам.
6. Основные параметры входных устройств.
7. Состав дозвукового воздухозаборника.
8. Классификация сверхзвуковых входных устройств.
9. Состав сверхзвукового входного устройства.
0. Назначение компрессора ГТД.
1. Классификация компрессоров.
2. Основные требования к компрессорам ГТД.
3. Основные параметры компрессоров.
4. Понятие ступени компрессора.
5. Состав статора компрессора ГТД.
6. Состав ротора компрессора ГТД.

Задание на самоподготовку:

1. Учебники:
 1. [4], стр 186..211.
2. Дополнительная литература:
 1. [12];
 2. [14].
3. Конспект лекций.