

Тема: Компрессоры ГТД

Требования, предъявляемые к компрессорам

Конструктивные схемы компрессоров

Центробежные компрессоры

Осевые компрессоры ТРД

Осецентробежные компрессоры

Роторы компрессоров

Типы роторов

Соединение элементов

Лопатки компрессоров

Требования

Соединения с диском

Особенности крупногабитных лопаток вентиляторов

Корпусы компрессоров

Типы корпусов,

осн. элементы конструкции

Направляющие аппараты

Механизация компрессора

Защита от попадания

посторонних предметов

Материалы

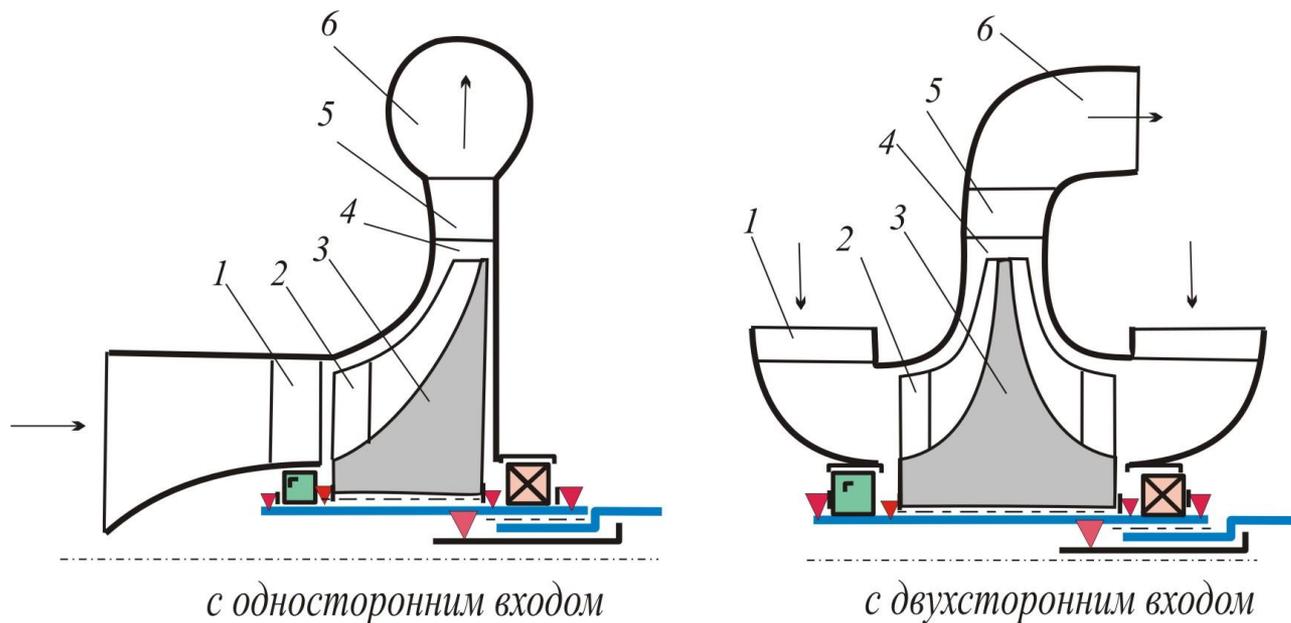
деталей компрессоров

Требования, предъявляемые к компрессорам

- обеспечение заданного секундного расхода воздуха $Gв$
 - обеспечение заданной степени повышения давления π_K^*
 - обеспечение заданного **кпд** (экономичность)
 - обеспечение **устойчивой** работы в заданном диапазоне n .
-
- надежность
 - живучесть
 - обеспечение заданного ресурса
 - контролепригодность
 - пожаробезопасность
-
- минимальная масса и габариты
 - технологичность производства
 - эксплуатационная технологичность
 - минимальная себестоимость производства
 - возможность развития
 - экологические ограничения (по шуму)

центробежные компрессоры

Конструктивные схемы одноступенчатых центробежных компрессоров



направление
движения воздуха
- радиальное

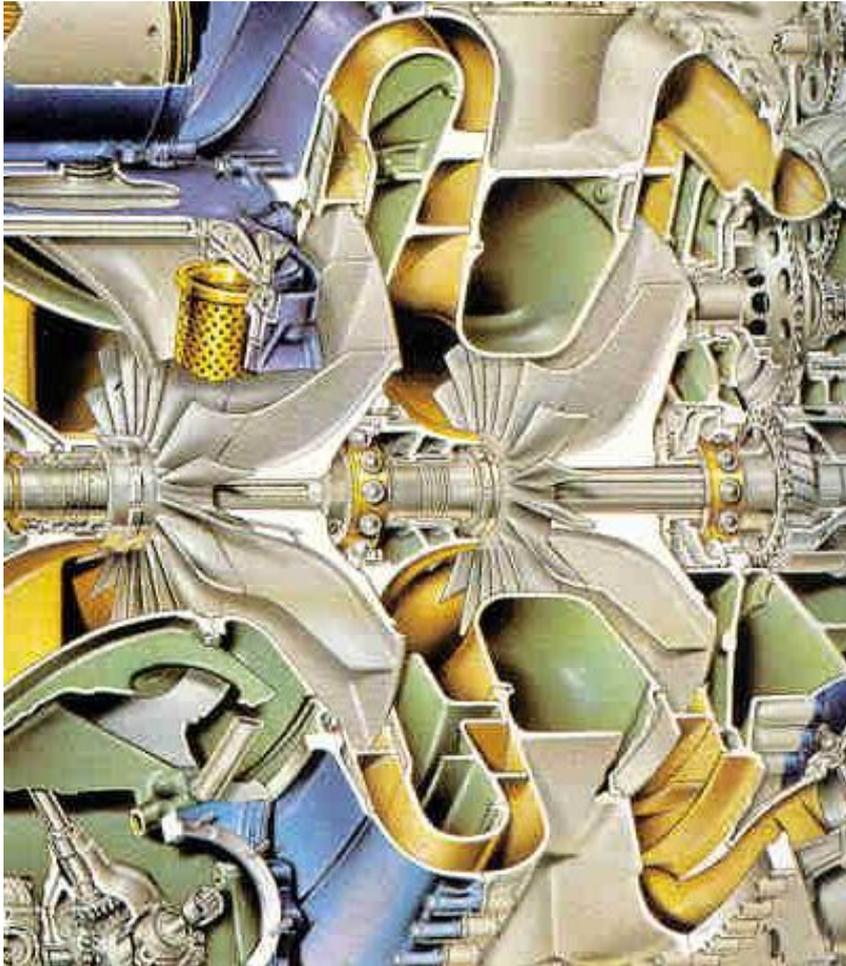
Классификация:

- с односторонним и двухстор. входом
- 1, 2-ступенчатые

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

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

центробежные компрессоры



Двухступенчатый центробежный компрессор Rolls-Royce Dart

Примеры:

ВК-1



Достоинства

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



Недостатки

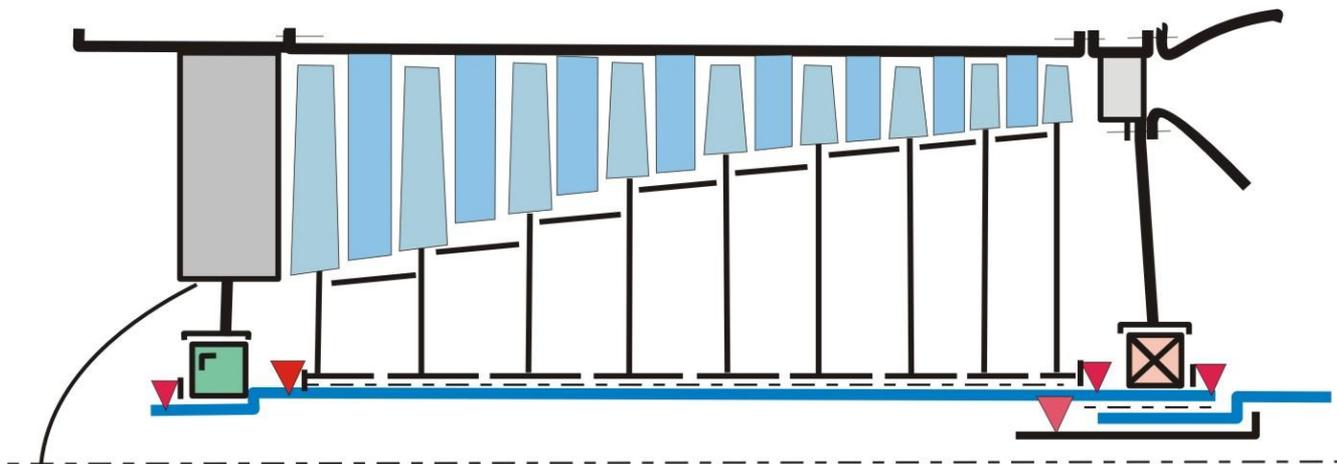
- не более двух ступеней - низкая суммарная степень сжатия
- высокие гидравлич.потери
- большой диаметр

Область применения:

малогабаритные ТВД, ТВад,

Осевые компрессоры

направление движения воздуха осевое
входное устройство+ несколько ступеней (ПК+НА)



Роликовый подшипник



Шариковый подшипник



Гайка



Шлицевое соединение

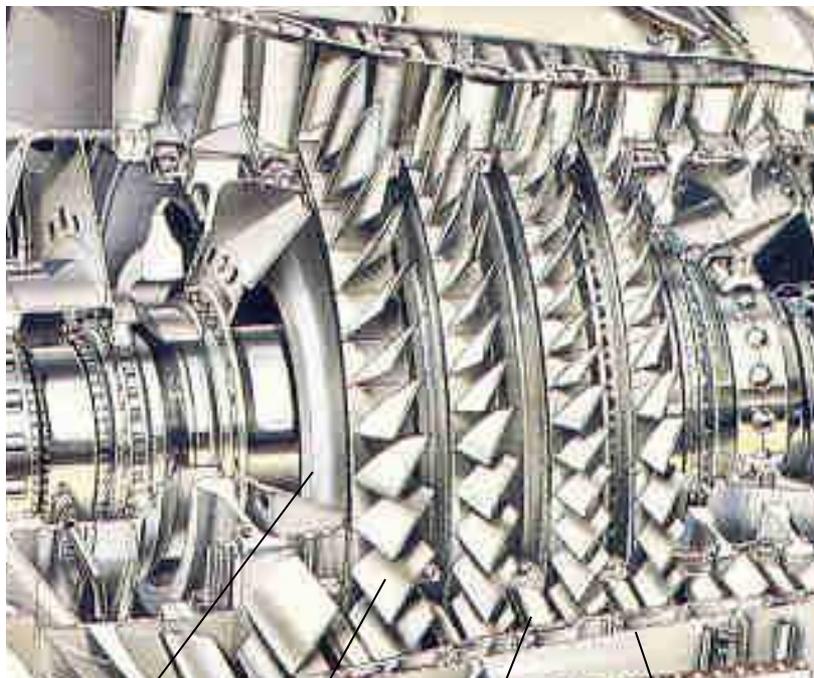


Фланцевое соединение



Вал

Осевые компрессоры



ротор рабочие направляющие корпус
лопатки лопатки лопатки

Осевой компрессор
двигателя Rolls-Royce RB211-524D4D



Достоинства:

- высокая степень сжатия
- малый диаметр

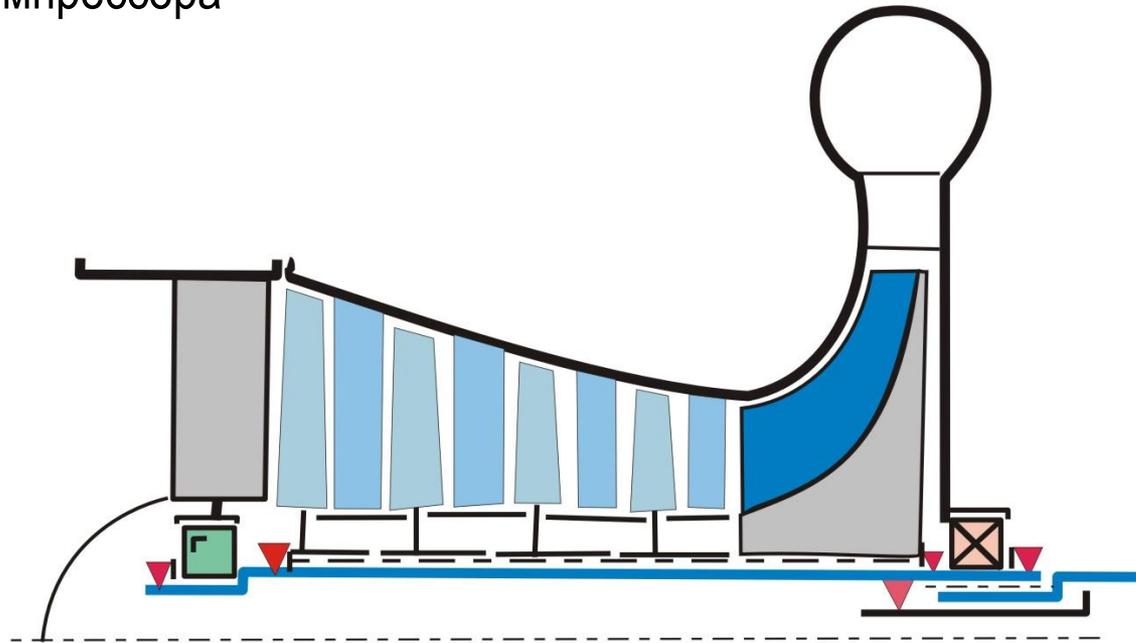


Недостатки:

- сложность
- неустойчивость (помпаж)
- мелкие лопатки и большие
отн. радиальные зазоры на
последних ступенях при
малой размерности -

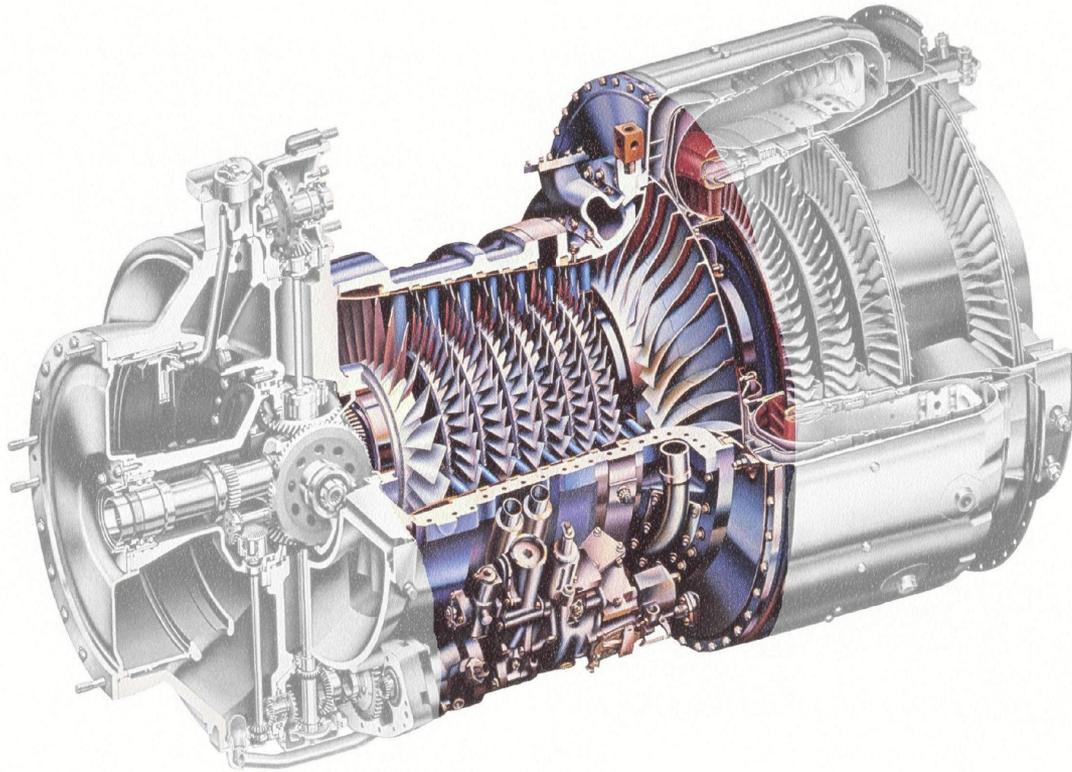
Осецентрированные компрессоры

Конструктивная схема
осецентрированного компрессора



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

Осесреднеобъемные компрессоры



Осесреднеобъемный компрессор
двигателя T53 Honeywell



Достоинства:

- высокая степень сжатия
- простота
- нет мелких лопаток



Недостатки:

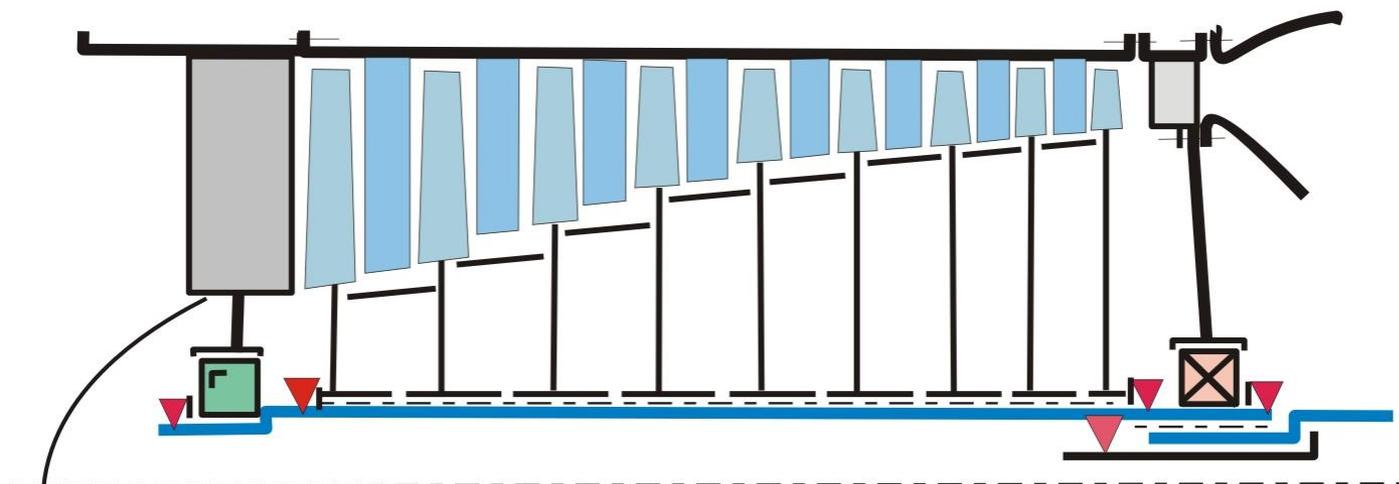
- высокие гидравлич. потери
- большой диаметр

Область применения:

малогабаритные ТВД, ТВад,

Осевые компрессоры

Конструктивная и силовая схема осевого компрессора ТРД



Роликовый подшипник



Шариковый подшипник



Гайка



Шлицевое соединение



Фланцевое соединение



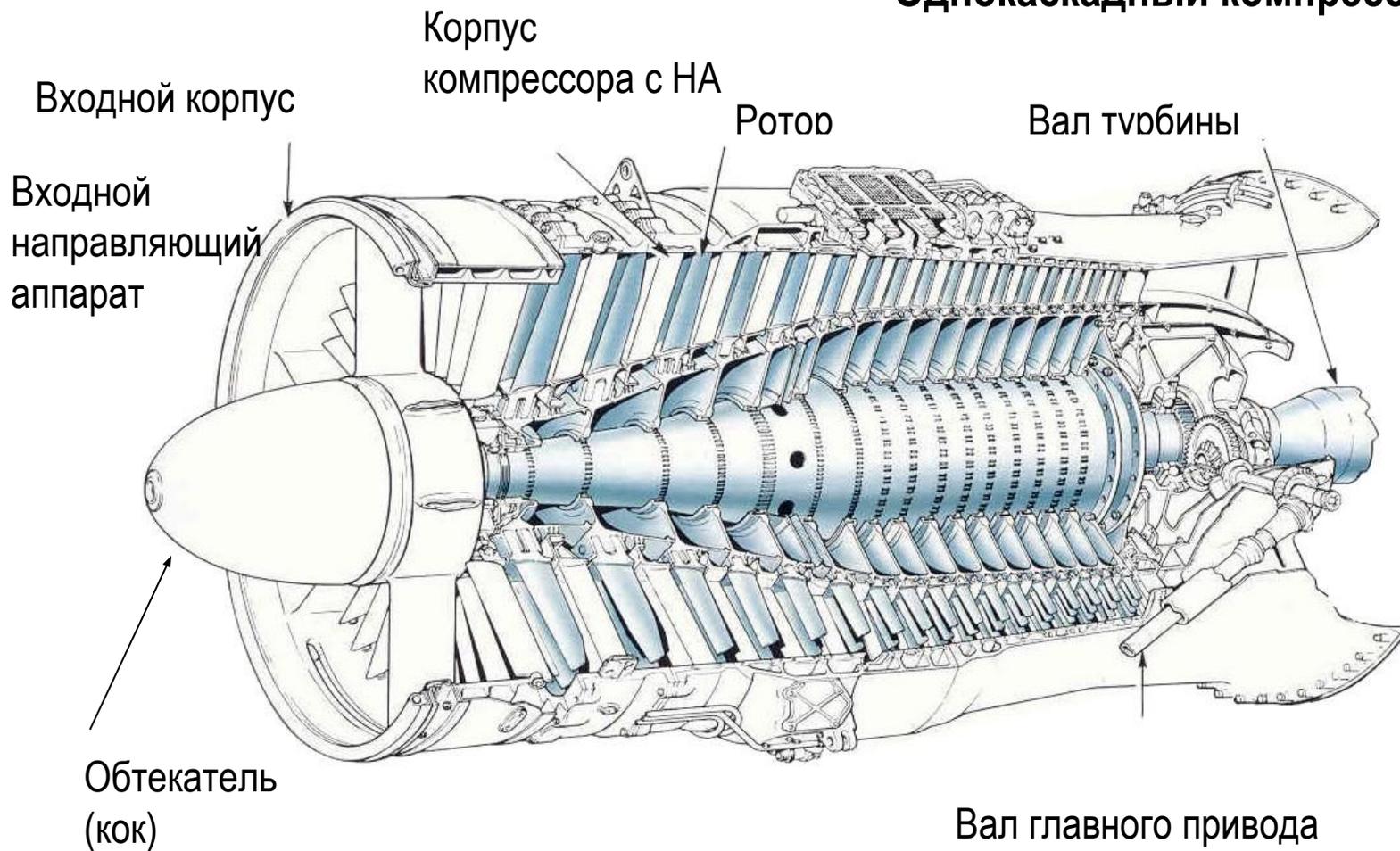
Вал

классификация

1- 2- 3-каскадные 1- 2- 3-вальные

Осевые компрессоры

Однокаскадный компрессор



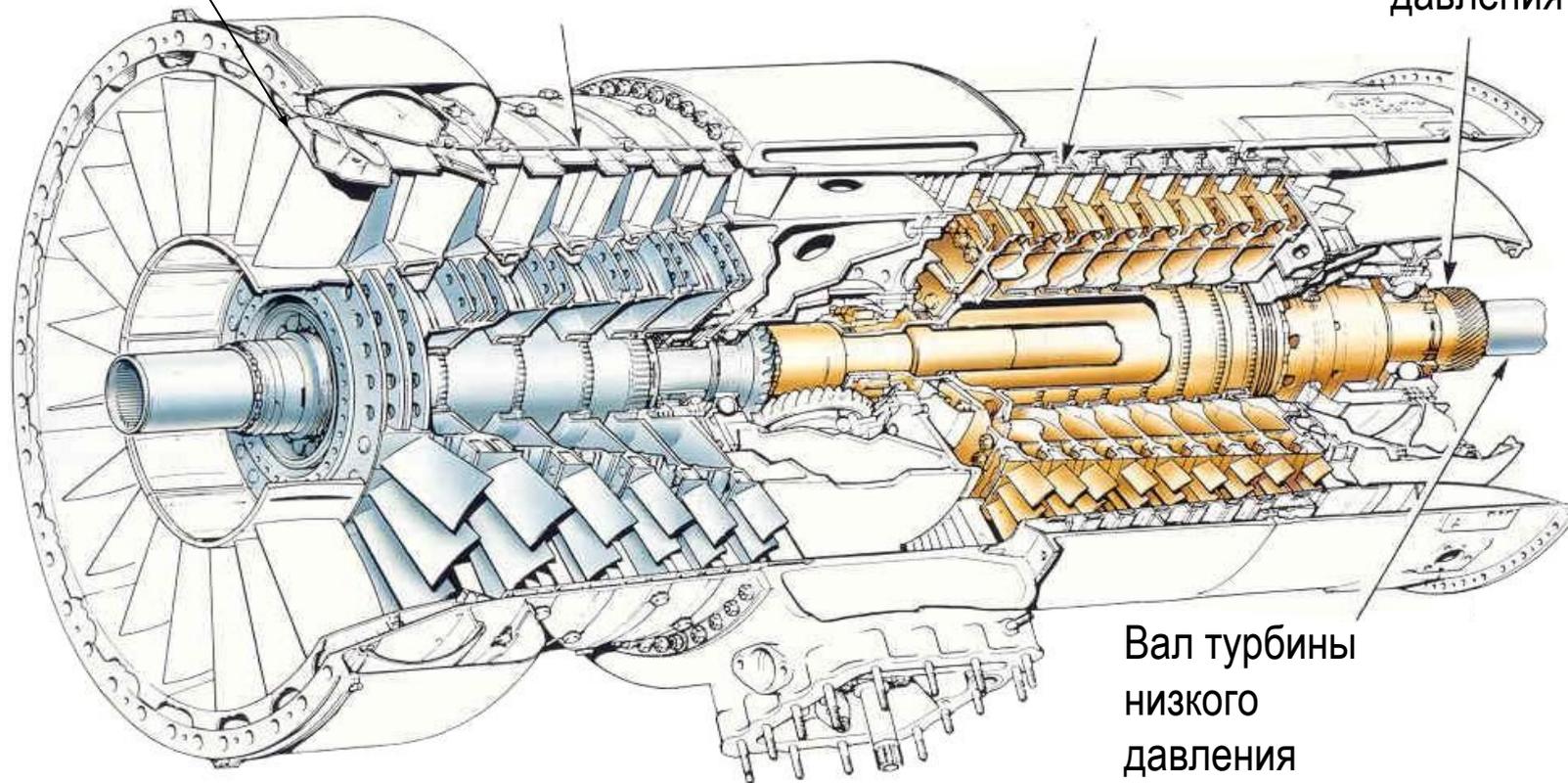
Двухкаскадный компрессор одноконтурного ТРД

Входной
направляющий
аппарат

КНД

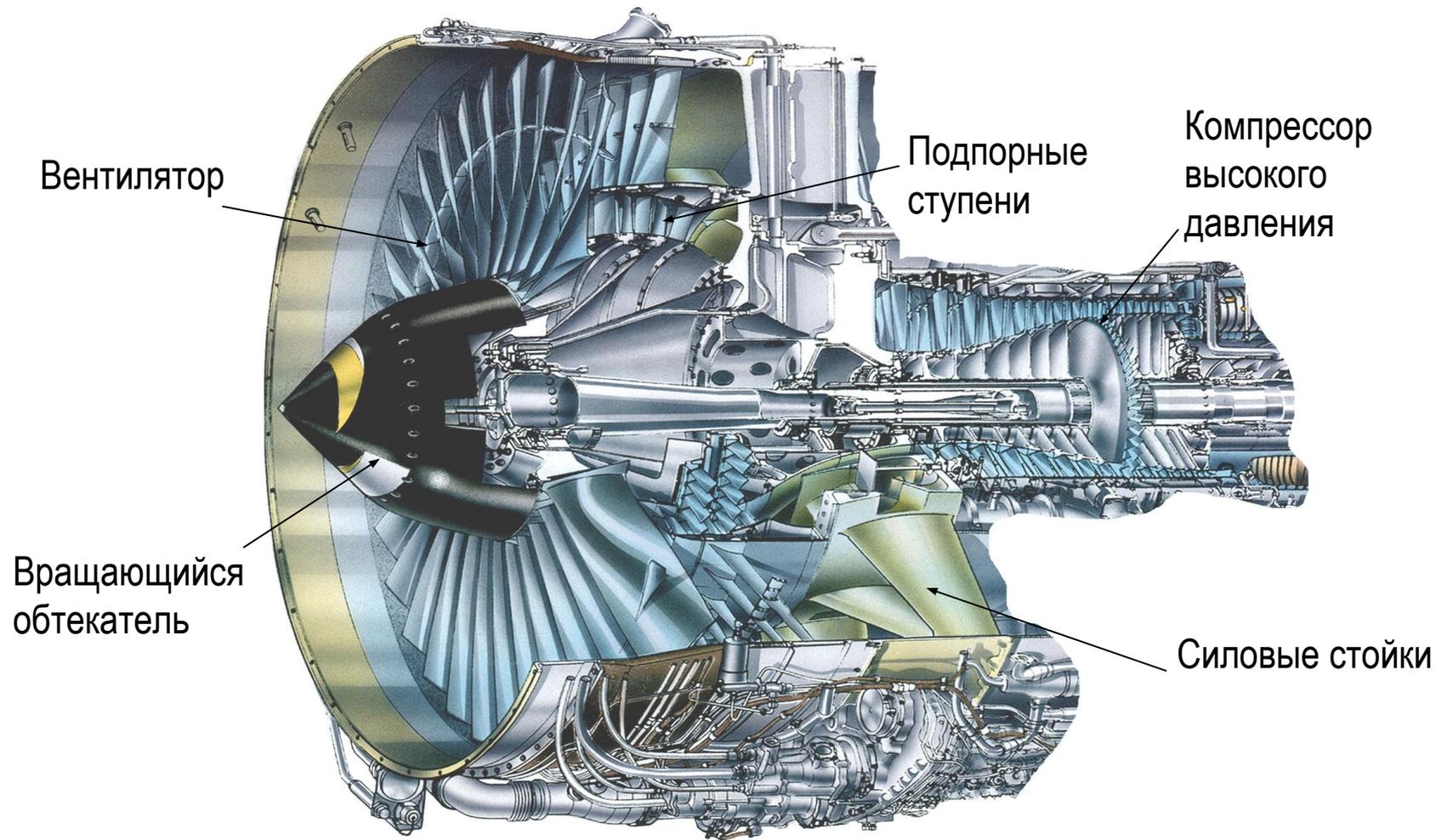
КВД

Вал турбины
высокого
давления

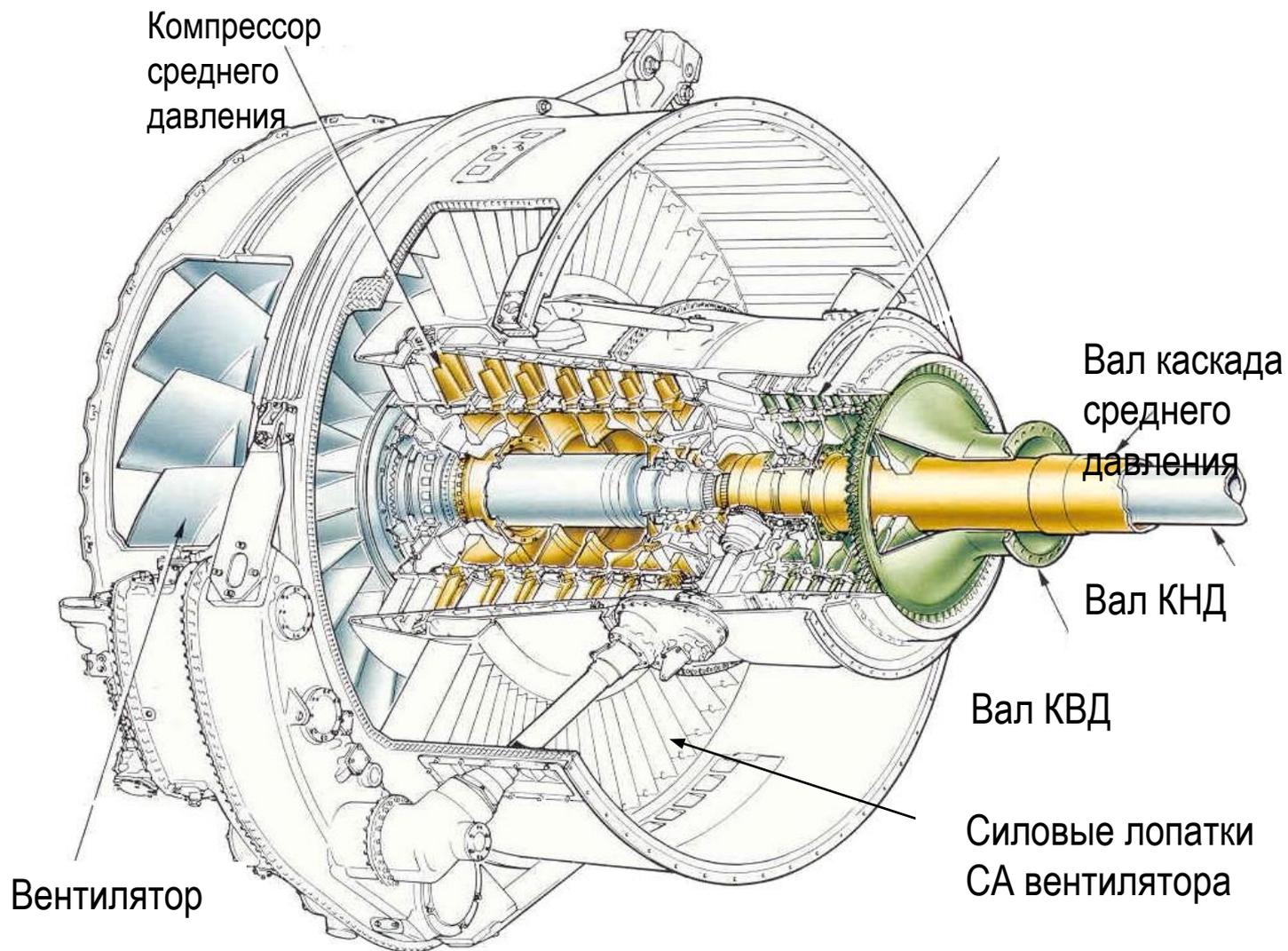


Вал турбины
низкого
давления

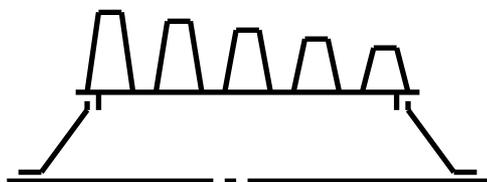
Двухкаскадный компрессор ТРДД с большой степенью двухконтурности



Трёхкаскадный компрессор ТРДД с большой степенью двухконтурности



Роторы осевых компрессоров



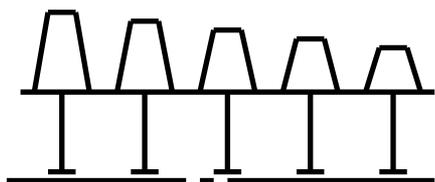
барабанный



- простота
- жесткость
- низкий вес



- низкая несущая способность
- низкий КИМ



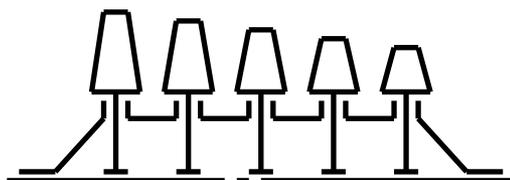
дисковый



- высокая несущая способность



- низкая жесткость
- вес



барабанно-дисковый



- жесткость
- высокая несущая способность



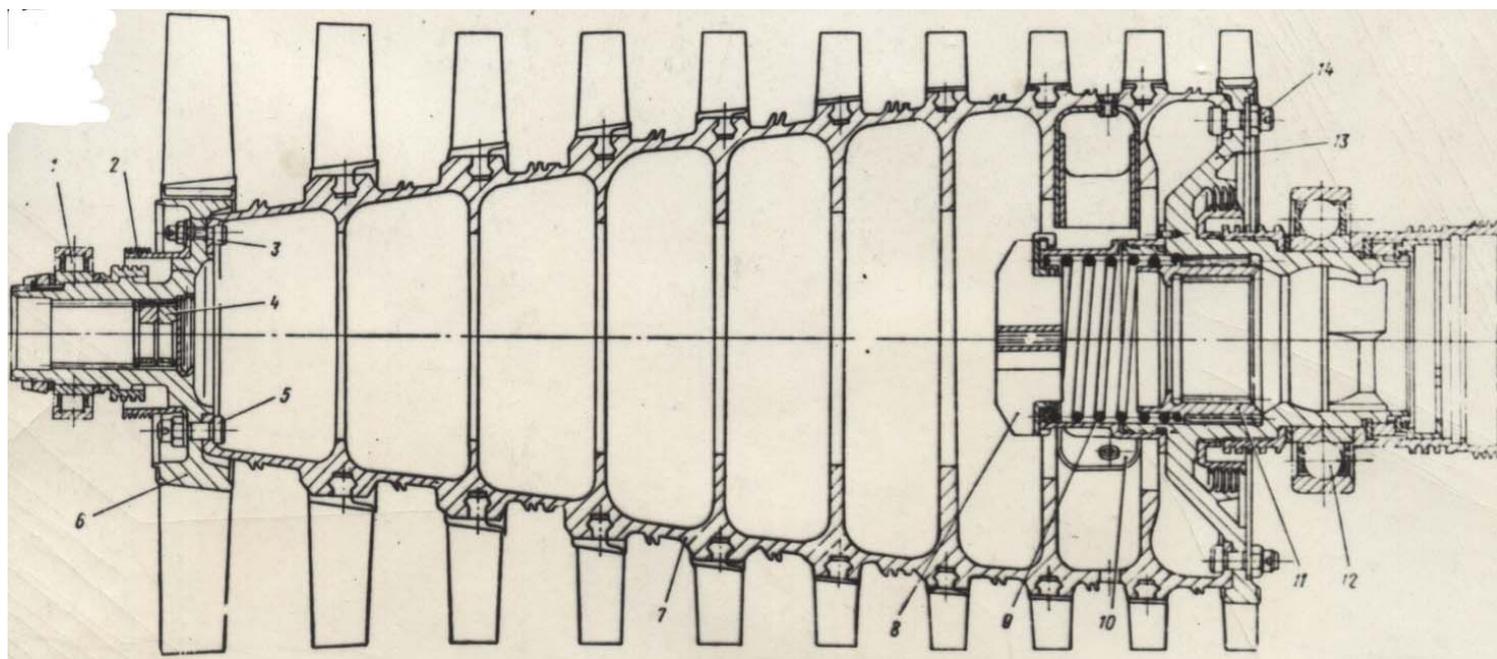
- сложность
- вес

Требования:

- передача крутящего момента;
- передача осевых усилий;
- центрирование элементов ротора.

Ротор барабанного типа

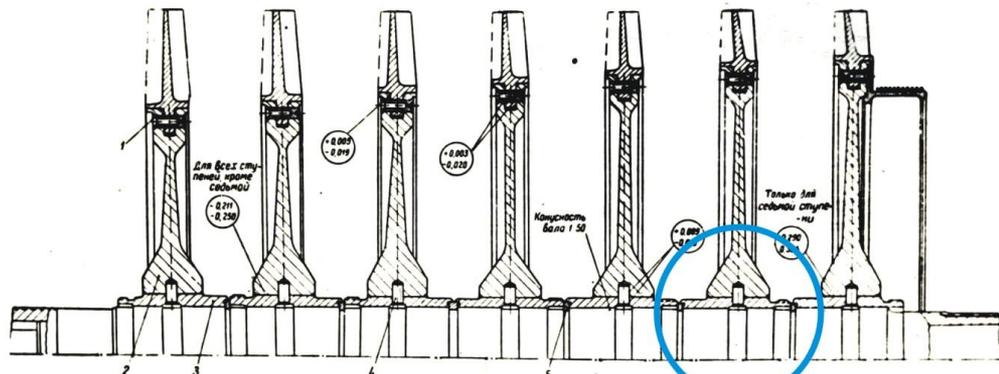
ТВ2-117



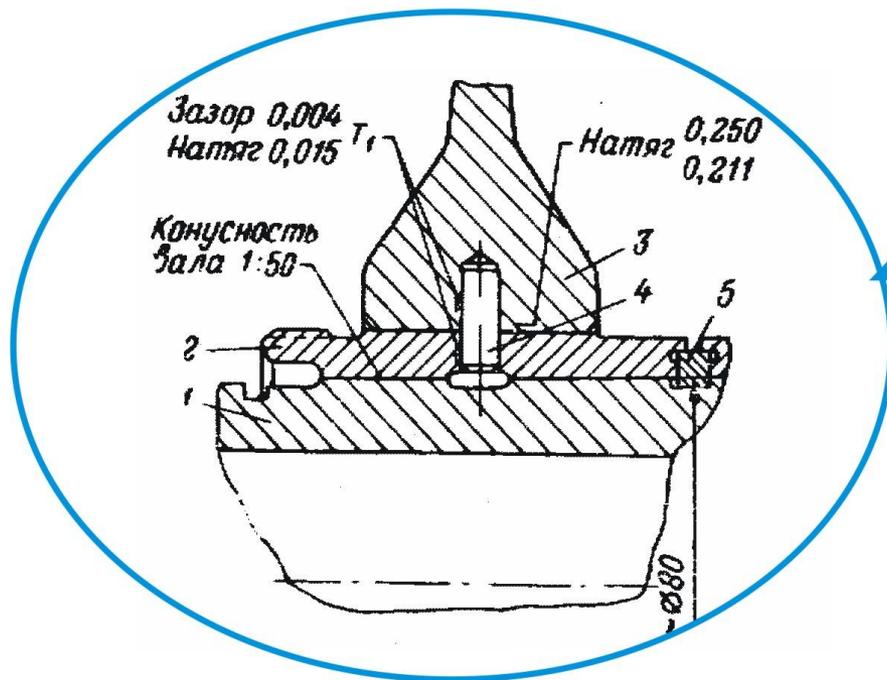
⊖ барабан – сложная деталь

Ротор дискового типа

Прессовая посадка
дисков на вал

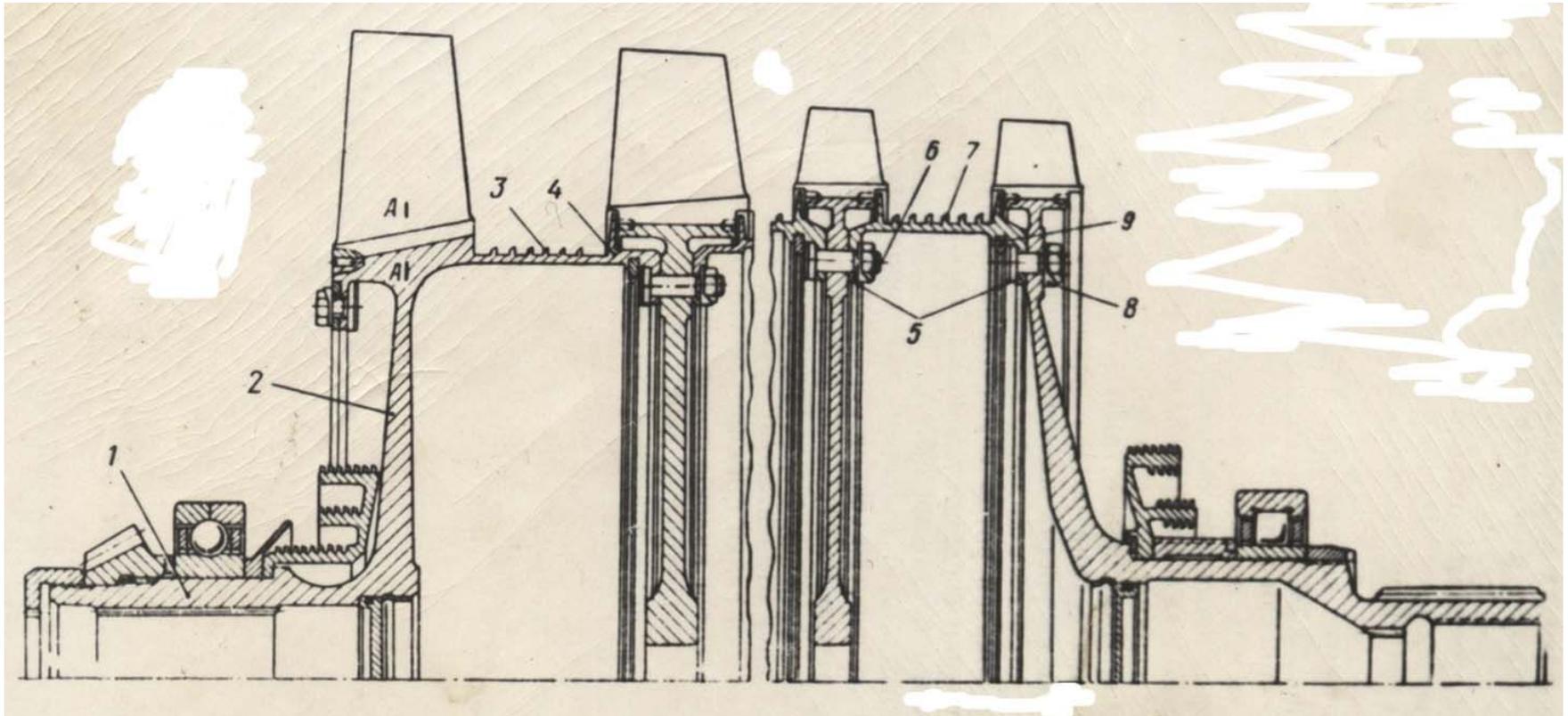


- дополнительное нагружение диска
- опасность распрессовки



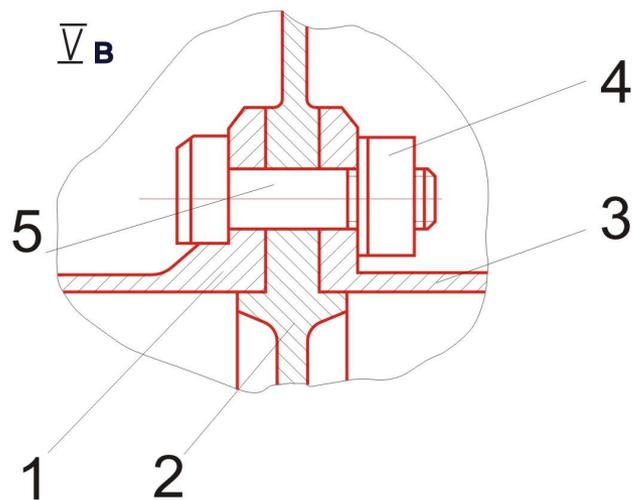
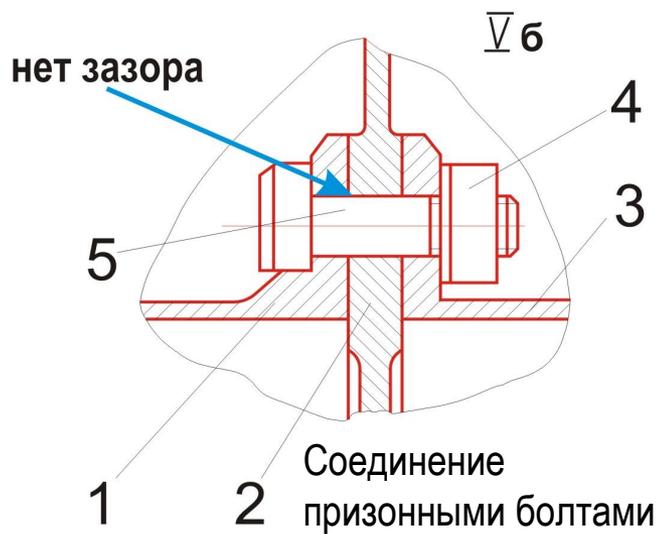
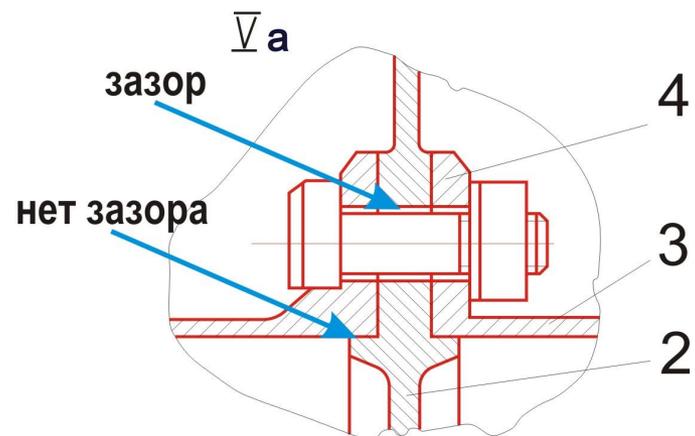
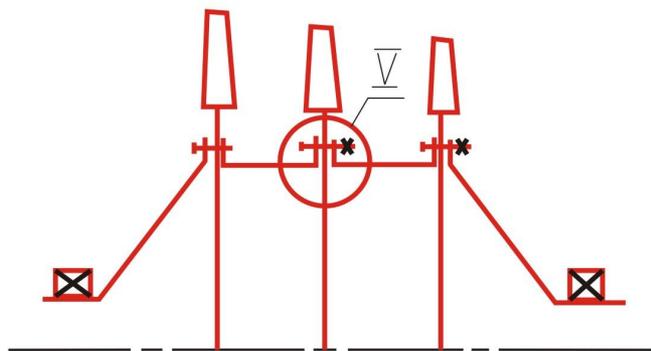
Ротор барабанно-дискового типа

Фланцевое соединение



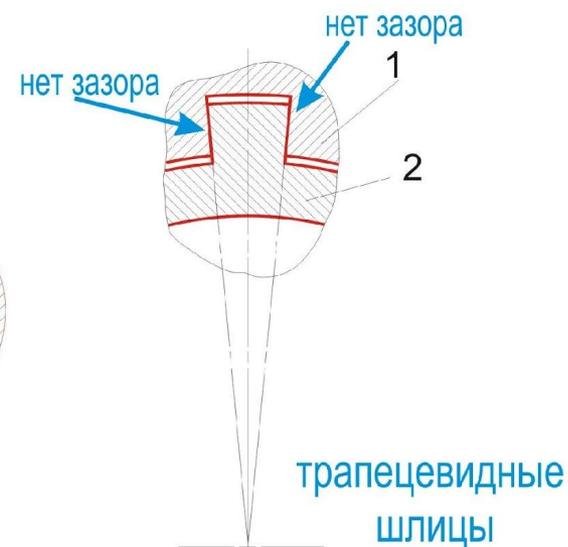
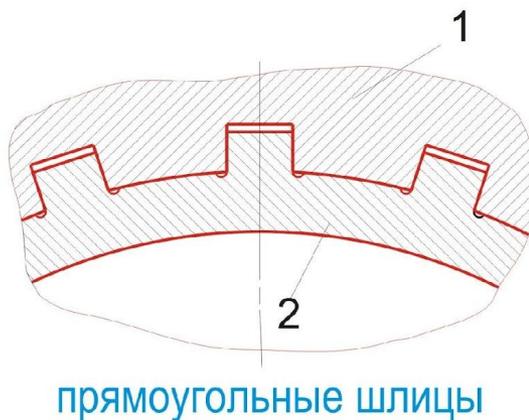
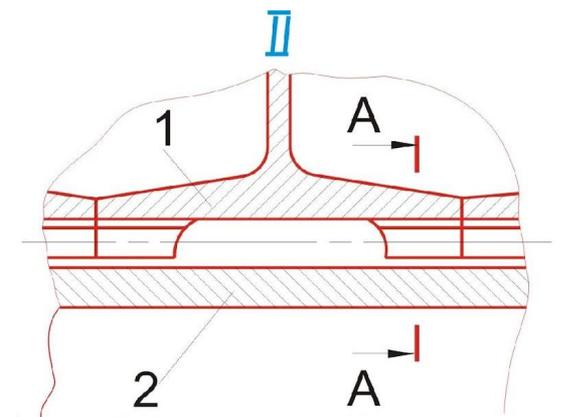
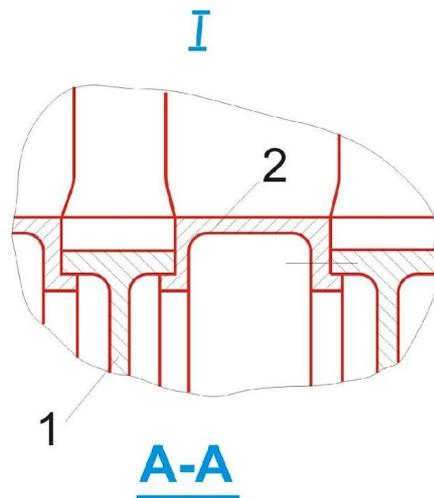
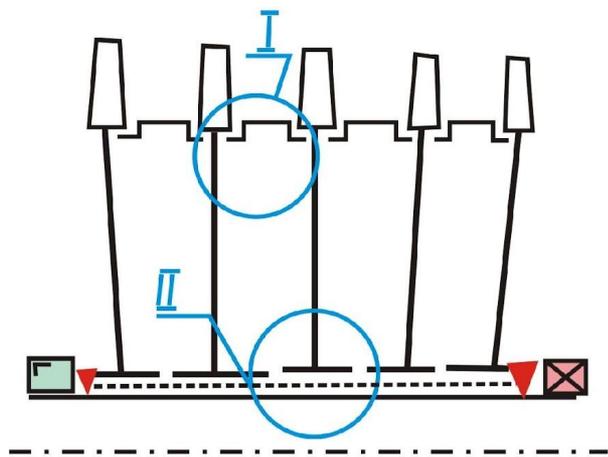
много крепежных деталей, сложная сборка

Фланцевое соединение



Ротор барабанно-дискового типа с шлицевым валом

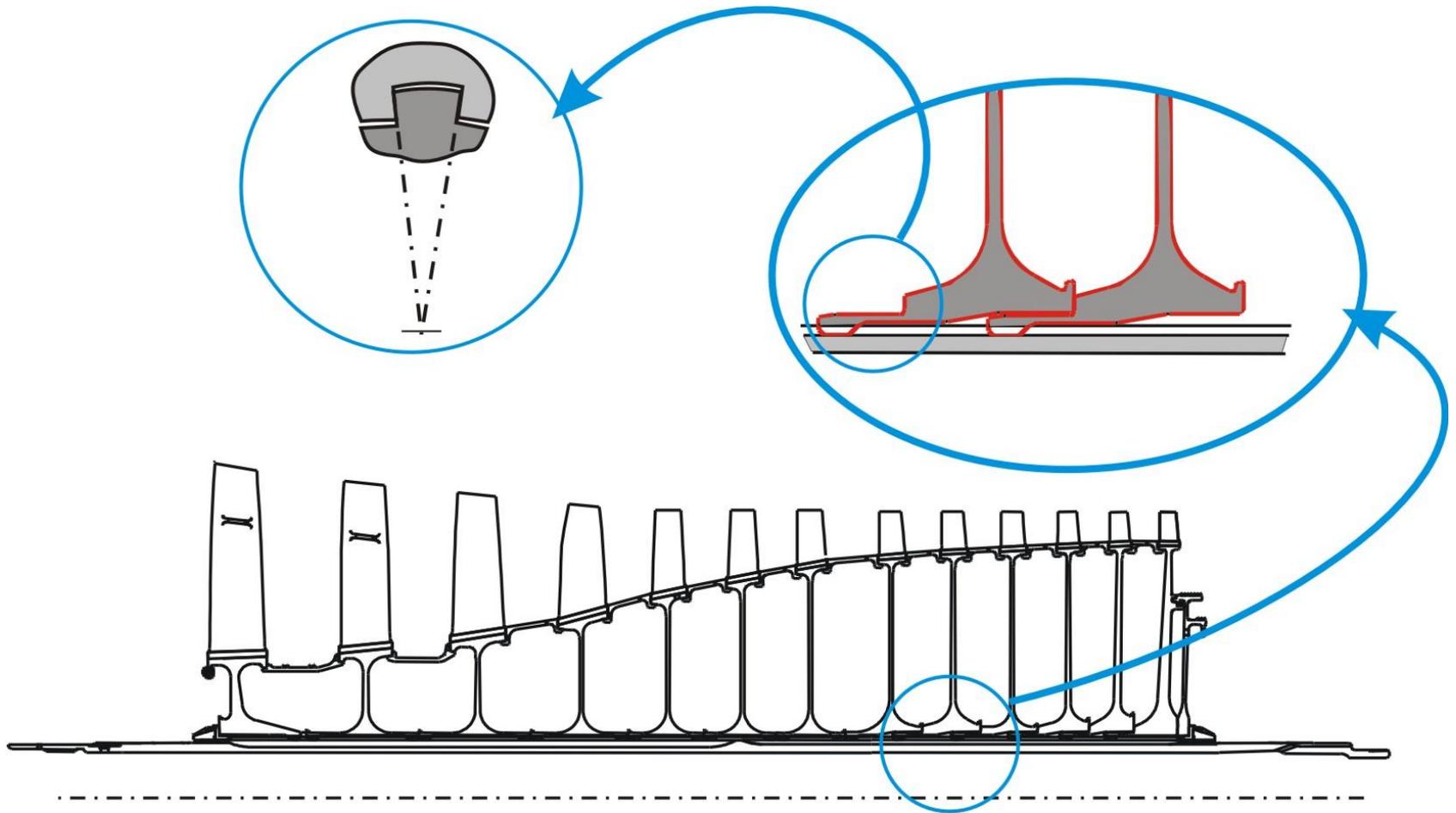
КВД Д-30



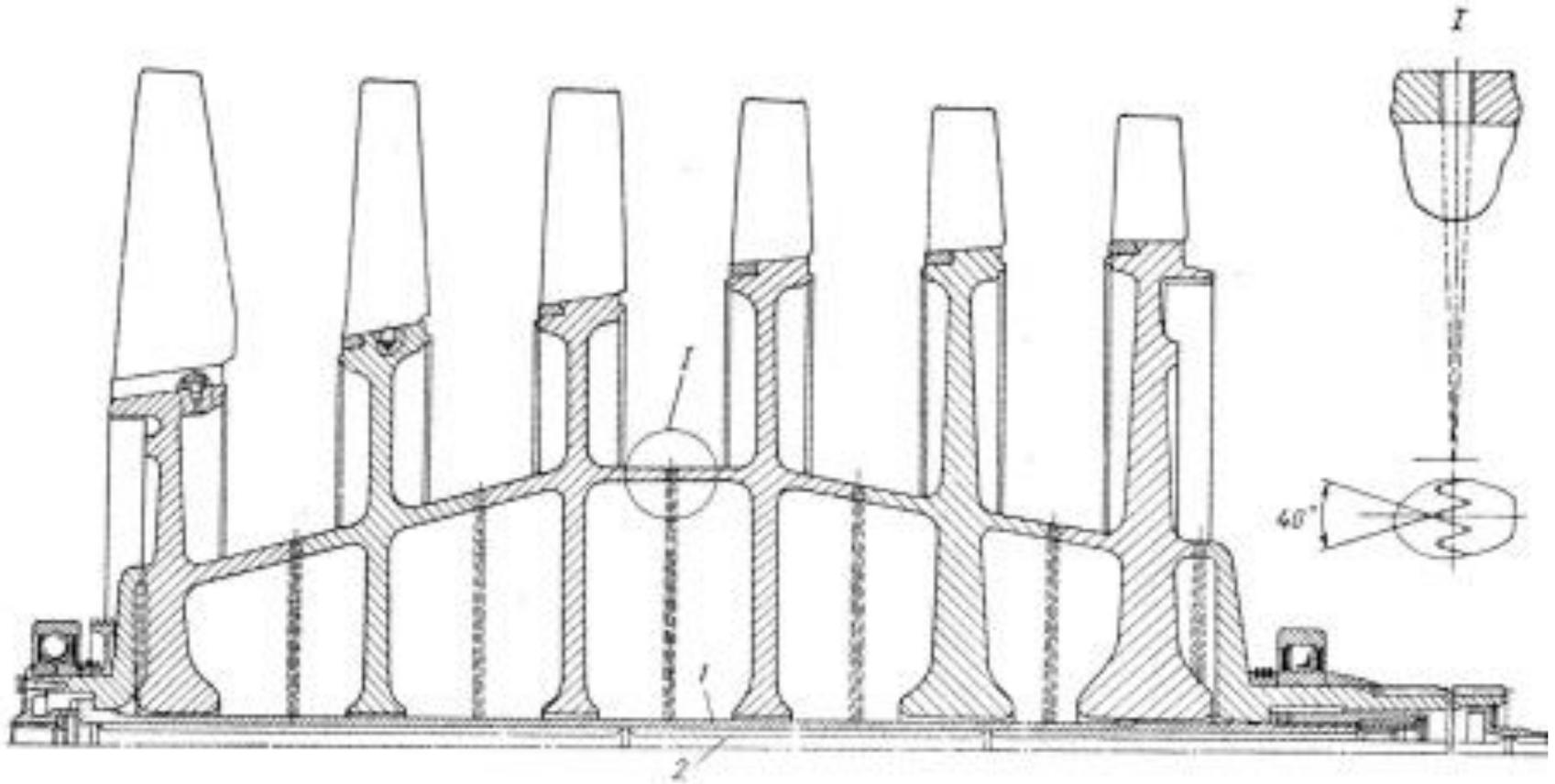
⊕ простота, надежность

Ротор барабанно-дискового типа с шлицевым валом
шлицы вынесены из зоны высоких напряжений

ПС-90А



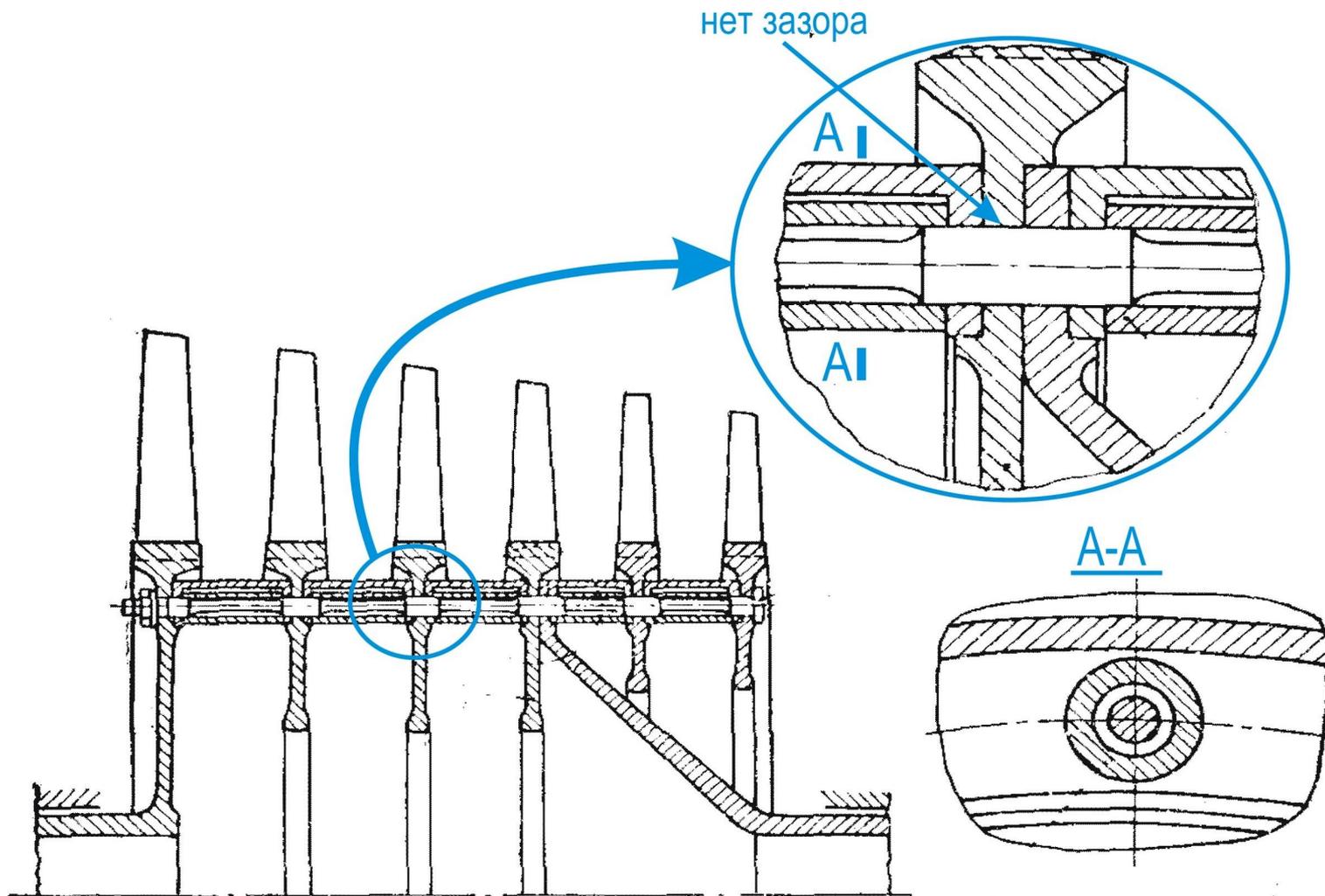
Ротор барабанно-дискового типа
соединение торцевыми шлицами



КНД Д-30

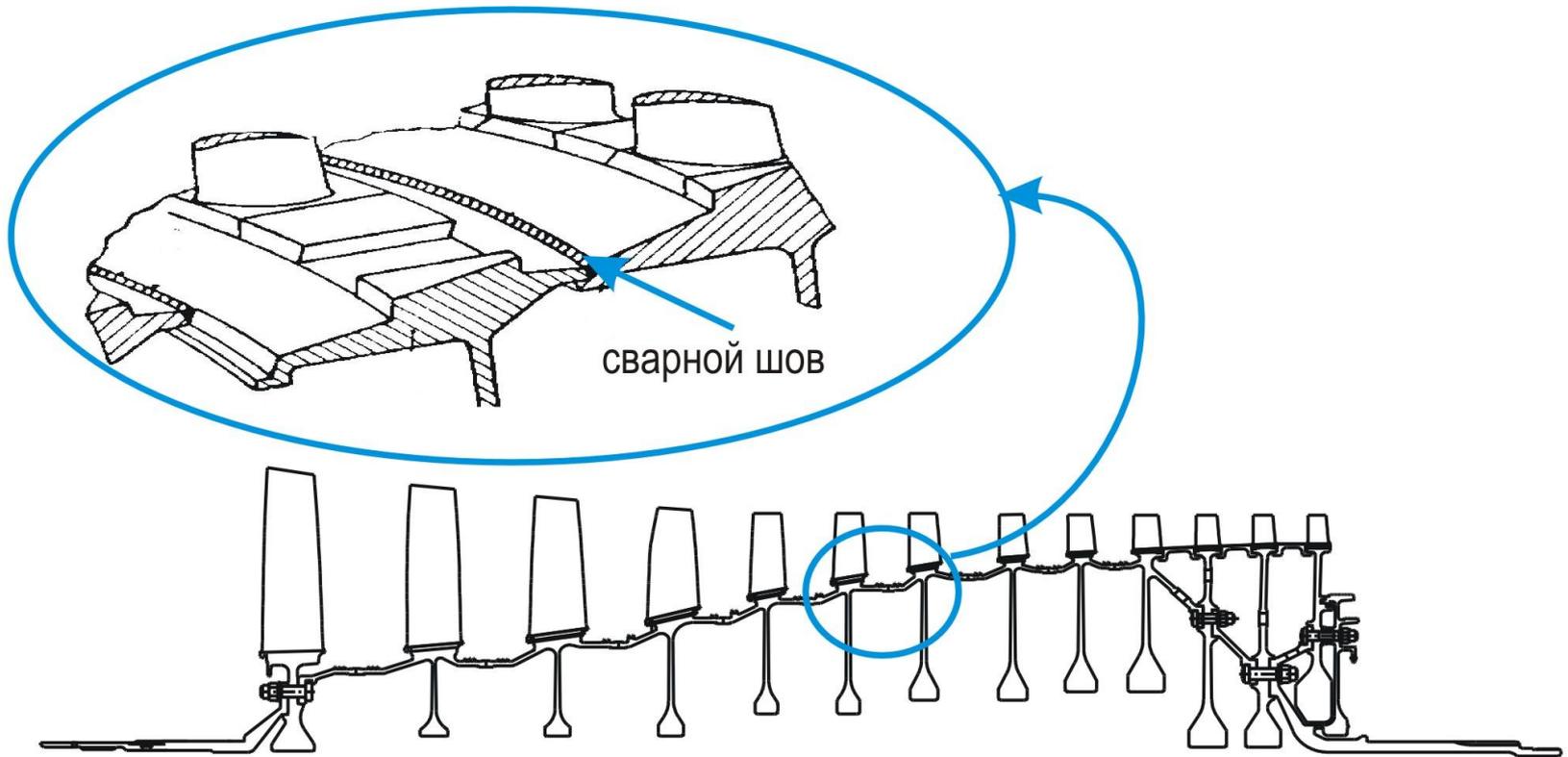
⊕ простота, надежность

Ротор барабанно-дискового типа
соединение призонными болтами



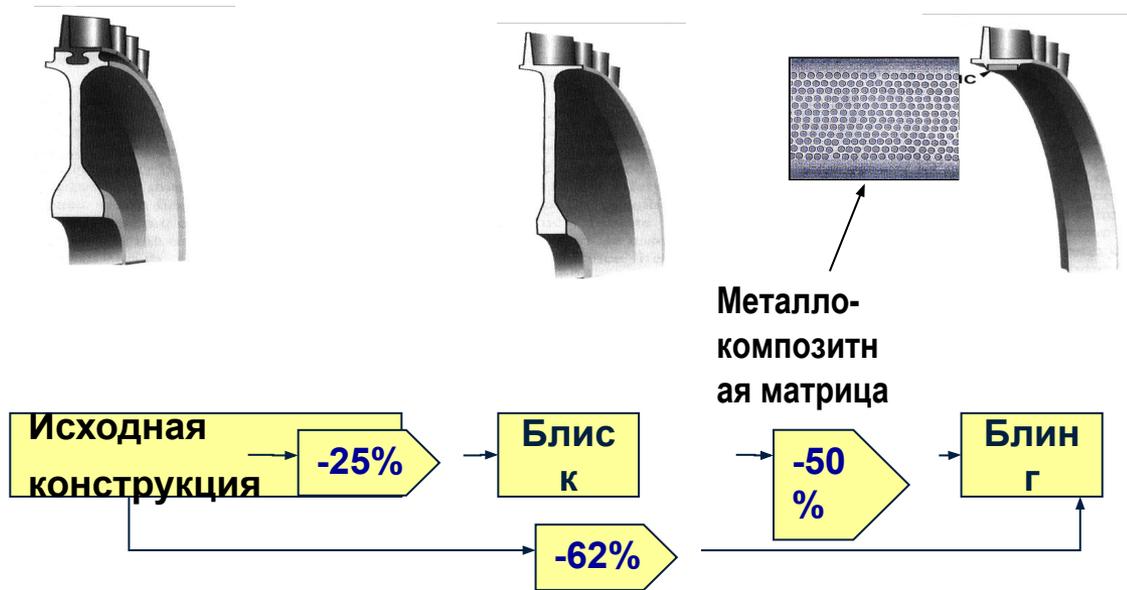
⊖ сложная сборка

Ротор барабанно-дискового типа
соединение дисков сваркой



Технология сварки ?

Снижение массы рабочих колес оптимизацией их конструкции

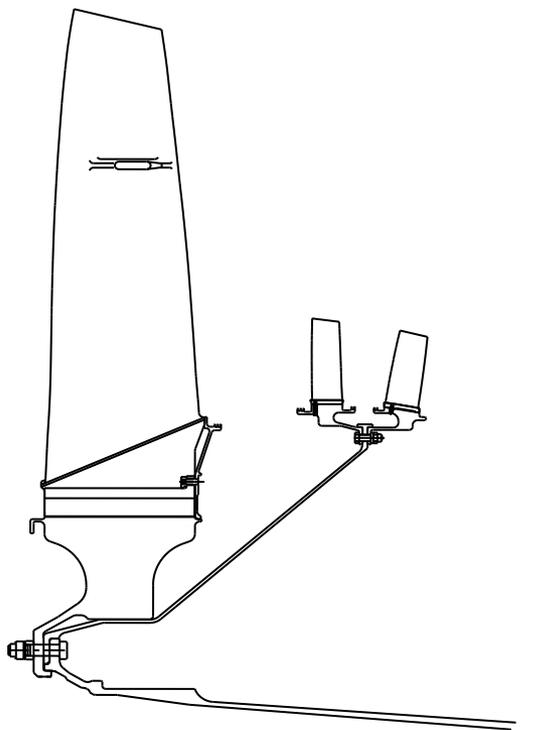


Моноколесо осевого компрессора

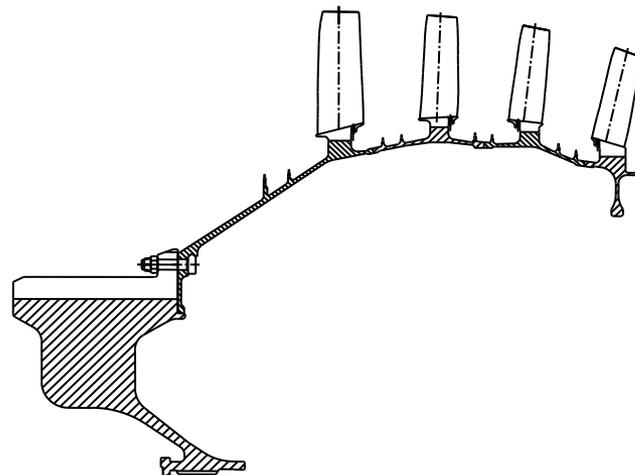


Технология ?

Роторы вентиляторов и подпорных ступеней

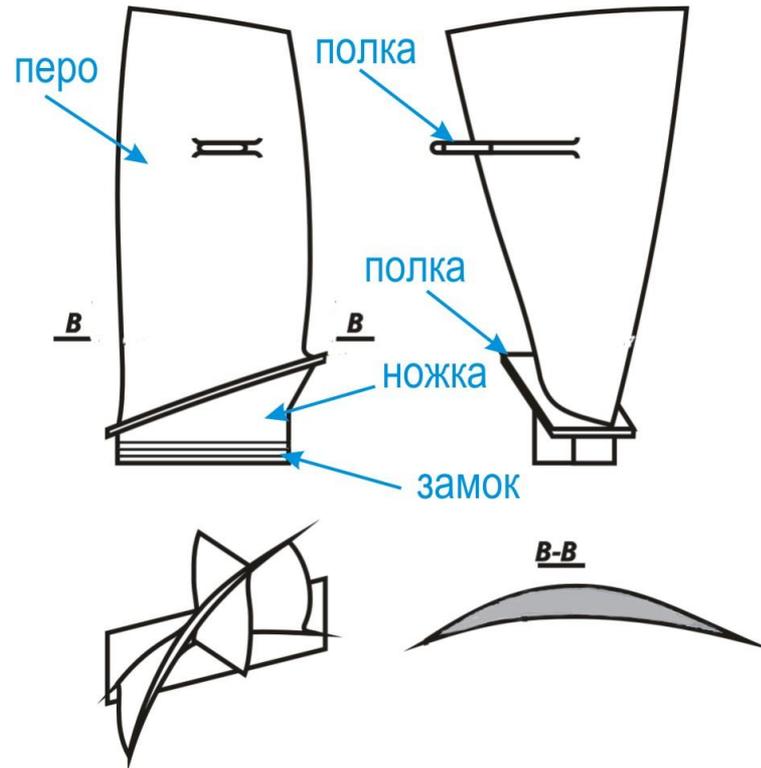
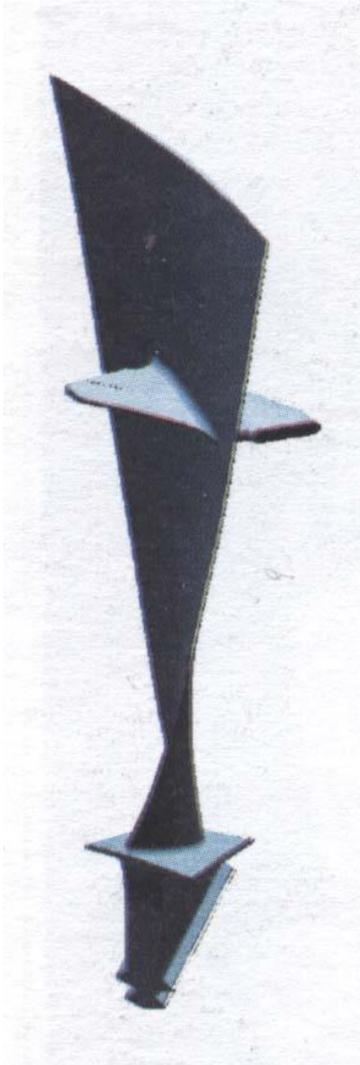


С диском привода ПС



С приводом от РК вентилятора

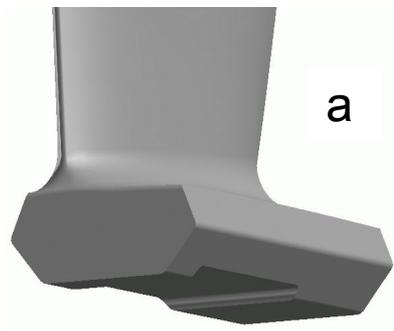
Лопатки компрессоров



Требования к лопаткам

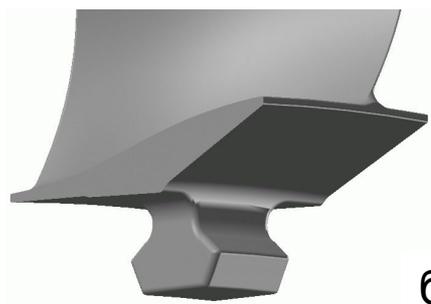
- высокая прочность и жесткость;
- простота установки в колесо;
- высокая точность линейных и угловых размеров;
- высокая чистота поверхности пера

Хвостовики типа «ласточкин хвост»



а

- а) с плоскими рабочими поверхностями
- б) с кольцевыми рабочими поверхностями
- в) с плоскими рабочими поверхностями на ножке



б



в

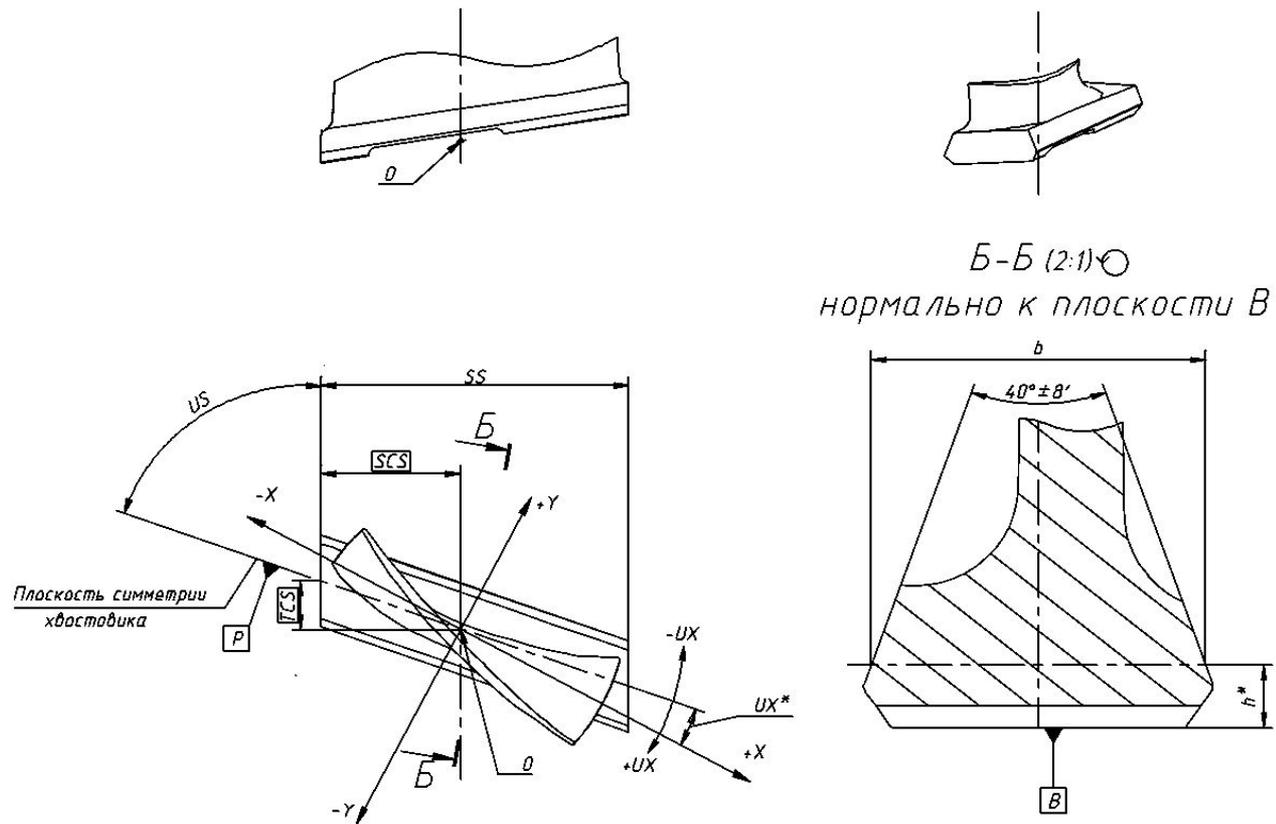
Хвостовик шарнирного типа



снижение вибраций
и напряжений изгиба

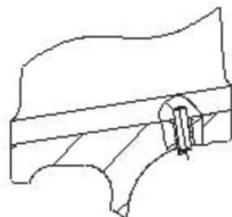


- низкая прочность замка
- габариты

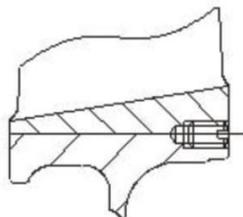


Хвостовик типа «ласточкин хвост» с плоскими рабочими поверхностями

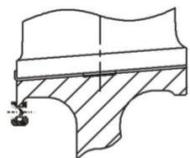
Фиксация лопаток от перемещений



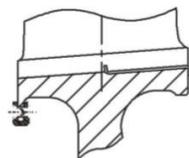
а



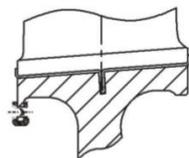
б



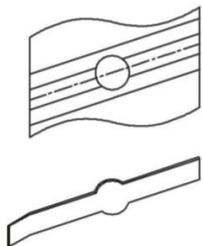
в



г

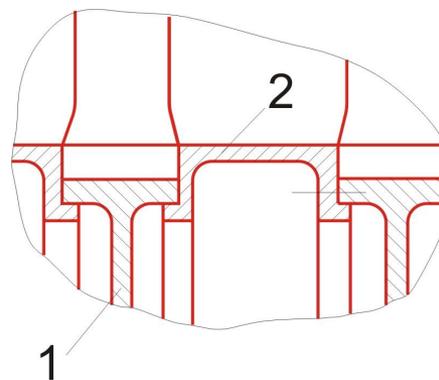


д



е

- а) радиальными штифтами
- б) осевыми резьбовыми штифтами
- в, г) контрольными пластинами
- д) проволокой
- е) соседними деталями

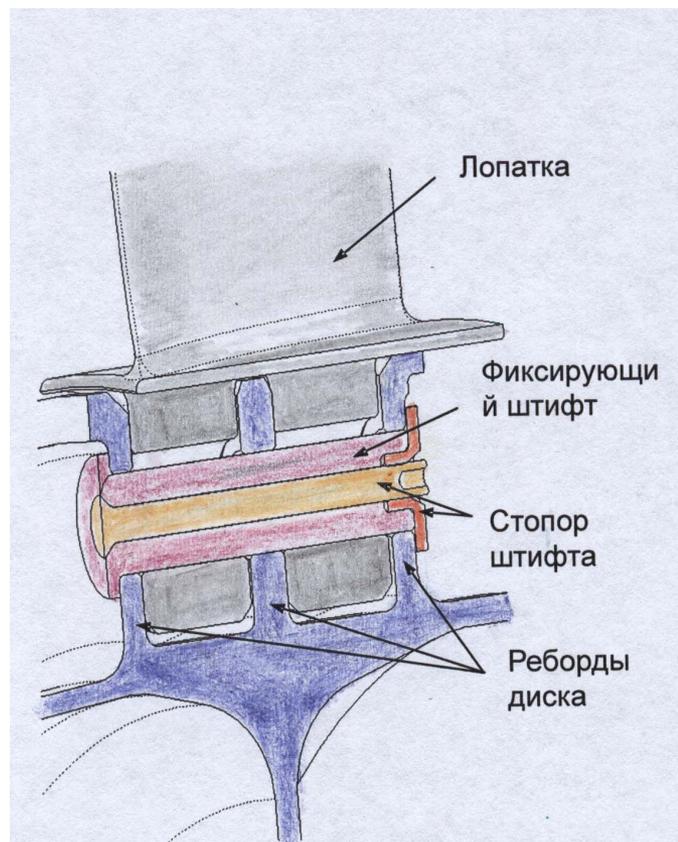


Много деталей

Фиксация лопаток от перемещений в кольцевых пазах

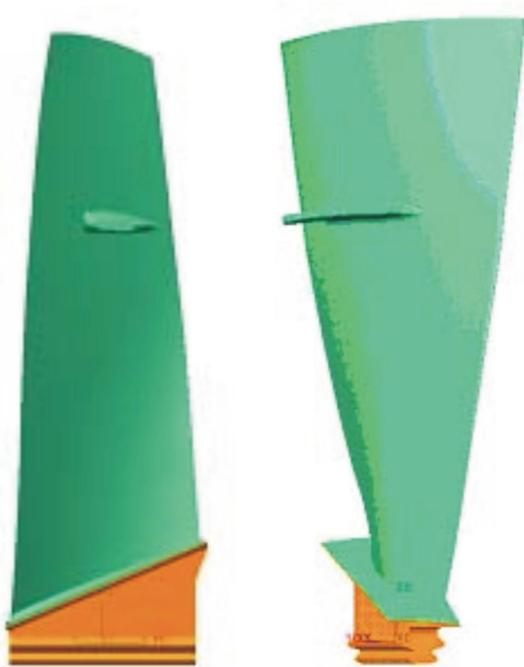


Схема шарнирного крепления лопатки к диску



Крупногабаритные рабочие лопасти вентилятора

Основная проблема - вибрации



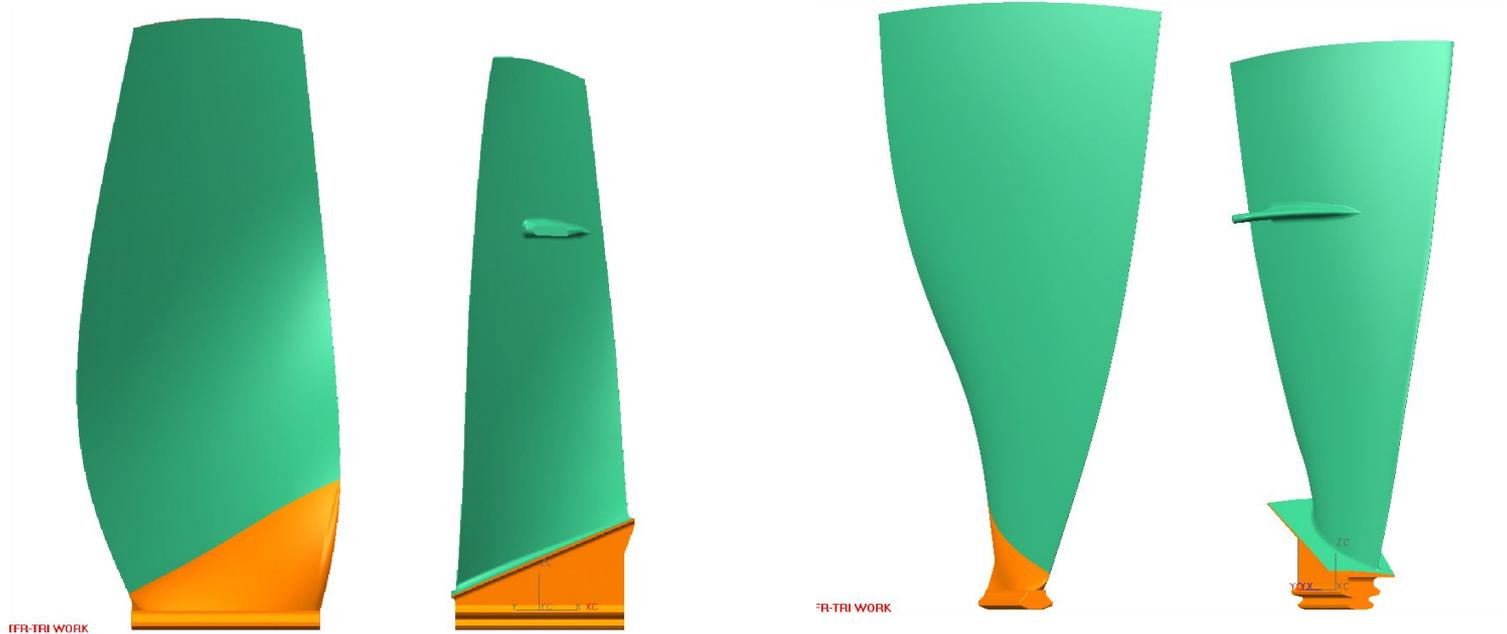
лопатка с антивибрационной полкой

⊖ низкий КПД вентилятора – потери



лопатки с антивибрационными полками на двух уровнях.

Широкохордные лопатки



широкохордная лопатка вентилятора в сравнении с полочной

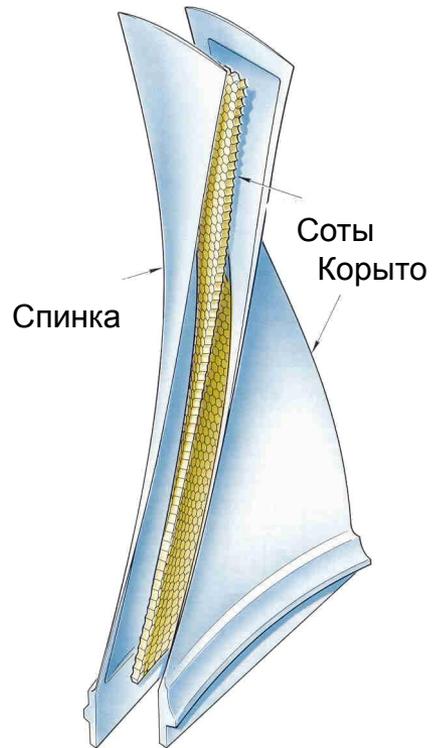


- снижение потерь
- уменьшение кол-ва лопаток
- уменьшение веса
- снижение повреждаемости



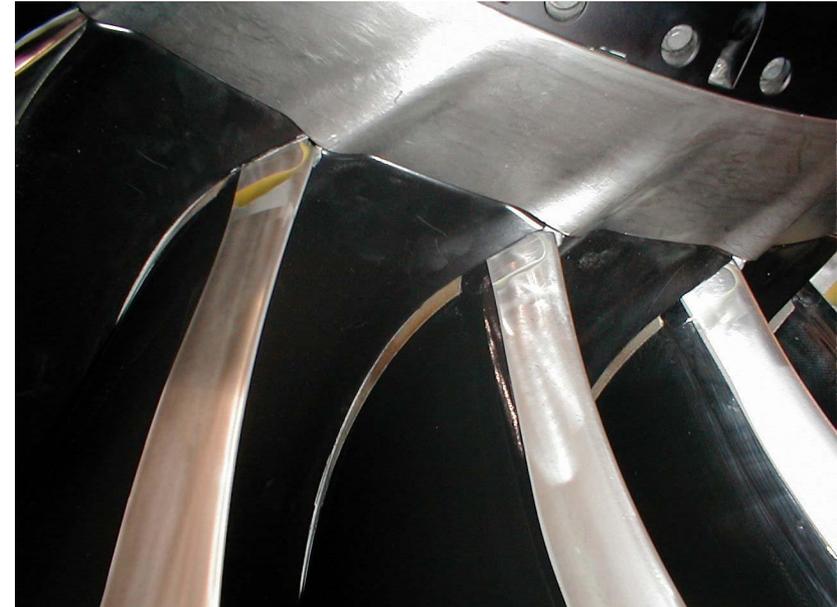
- вибрации ?
- технология ?

Широкохордные лопатки



Полая титановая лопатка
с сотовым наполнителем
RB-211

Широкохордные лопатки



лопатка из углепластика (JE-90)



- снижение веса
- демпфирование колебаний
- стойкость к повреждениям
- безопасность при обрыве



- вибропрочность ?
- технология ?

Корпусы осевых компрессоров

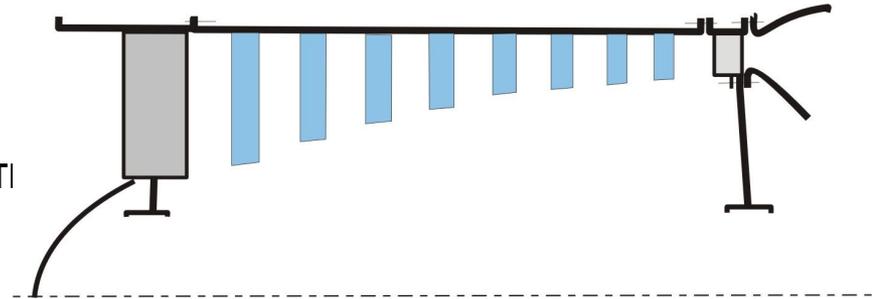
нагрузки:

- вес и силы инерции ротора
- внутреннее давление
- осевые силы, изг. крутящие моменты

нагрев

требования:

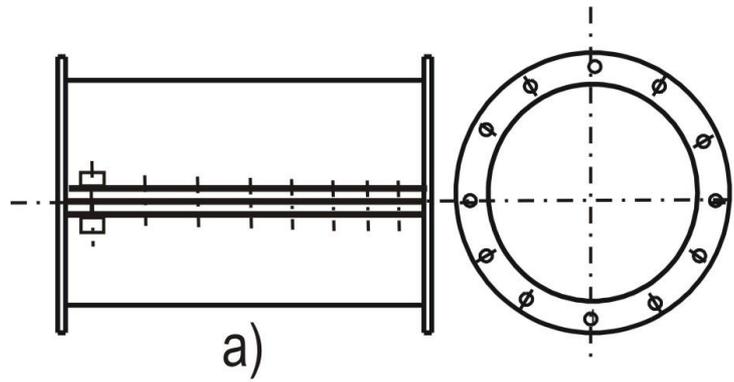
- герметичность;
- прочность и жесткость
- минимальный вес
- простота изготовления, монтажа НА
- эксплуатационная технологичность
- локализация возможного разрушения лопаток
- обеспечение минимальных радиальных зазоров



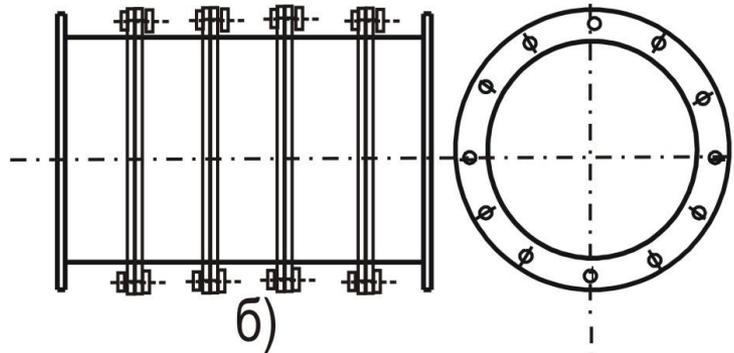
Корпус компрессора состоит из узлов:

- передний (входной) корпус
- средний корпус с неподвижными и поворотными НА;
- корпус отборов;
- корпус задней опоры.

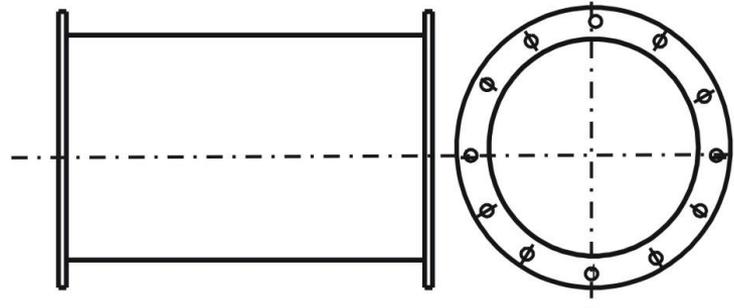
Типы корпусов



а)



б)



в)

С разъемами в меридиональной плоскости

⊕ удобство сборки

⊖ «овализация»

С поперечными разъемами

⊕ удобство сборки

⊖ • СЛОЖНОСТЬ
• ВЕС

Без разъемов

⊕ • мин. зазоры
• высокий КПД
• снижение веса

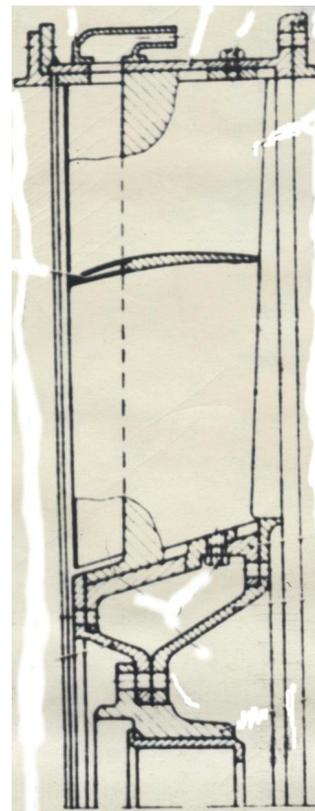
⊖ сложность сборки

Передний (входной) корпус

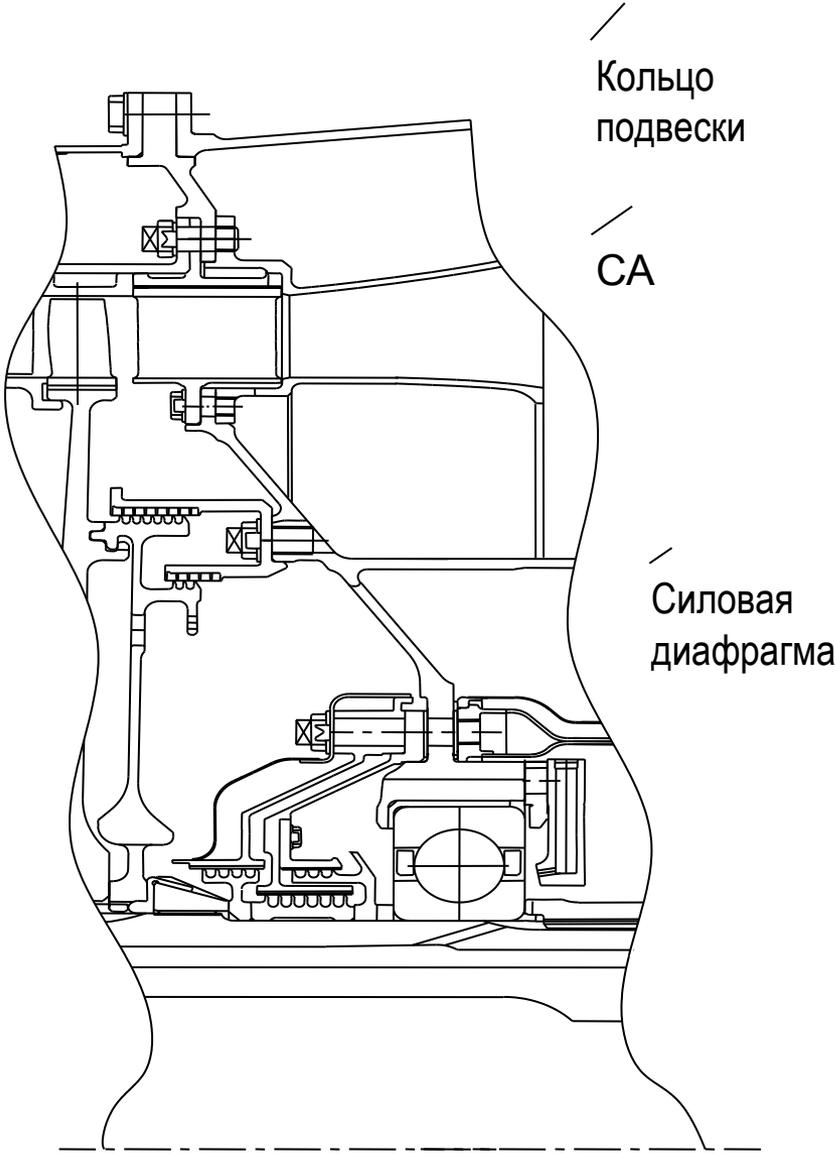
силовые
лопатки ВНА



регулируемая
выходная
кромка



Задний корпус



Корпус с неподвижными лопатками НА



жесткость



свобода
тепловых
расширений?

с секторами двухпорных лопаток



с консольными лопатками с кольцевым замком

Корпус

Секторы НА



с консольными лопатками с замком типа «ласточкин хвост» в секторном кольце

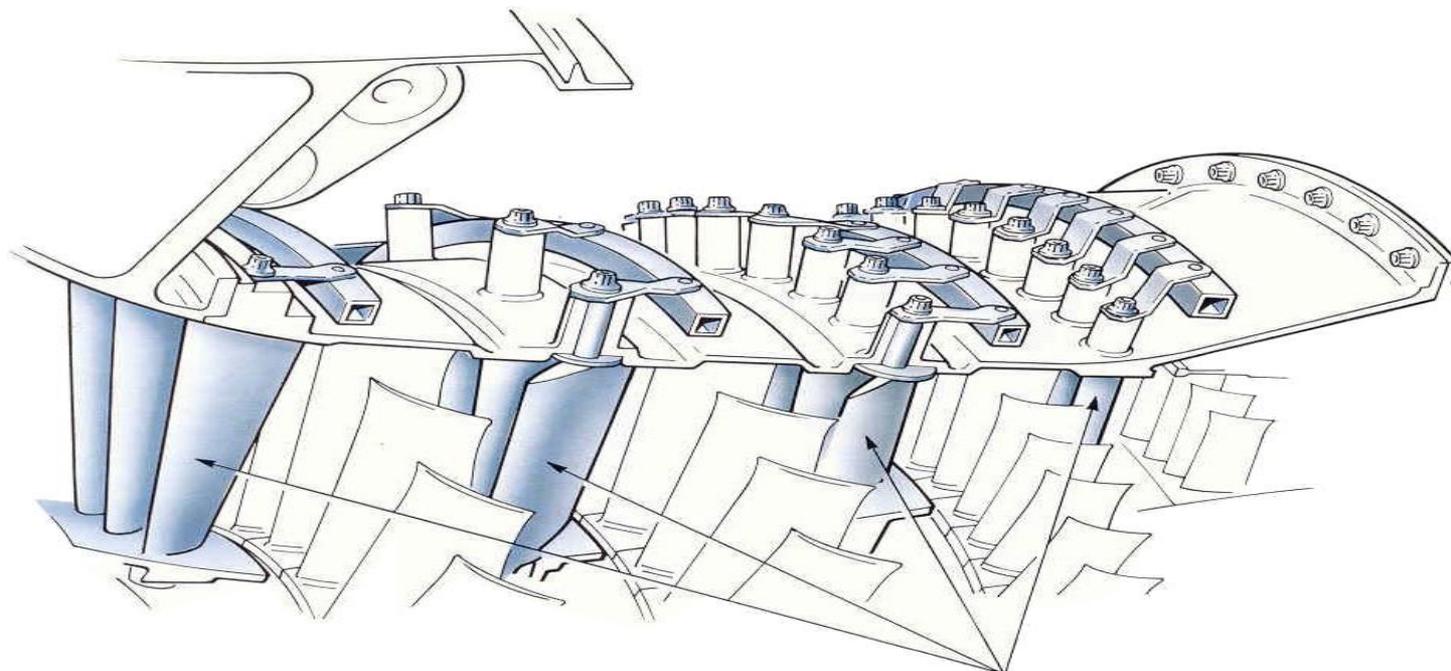


простота



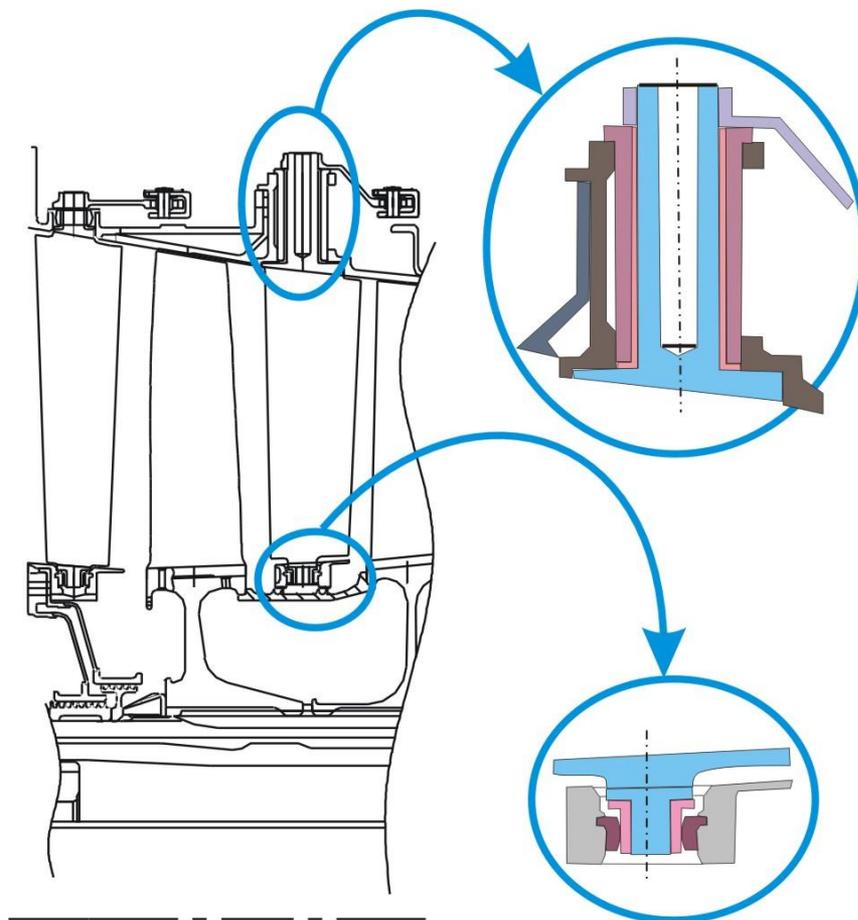
вибрации

Корпус с регулируемыми лопатками НА



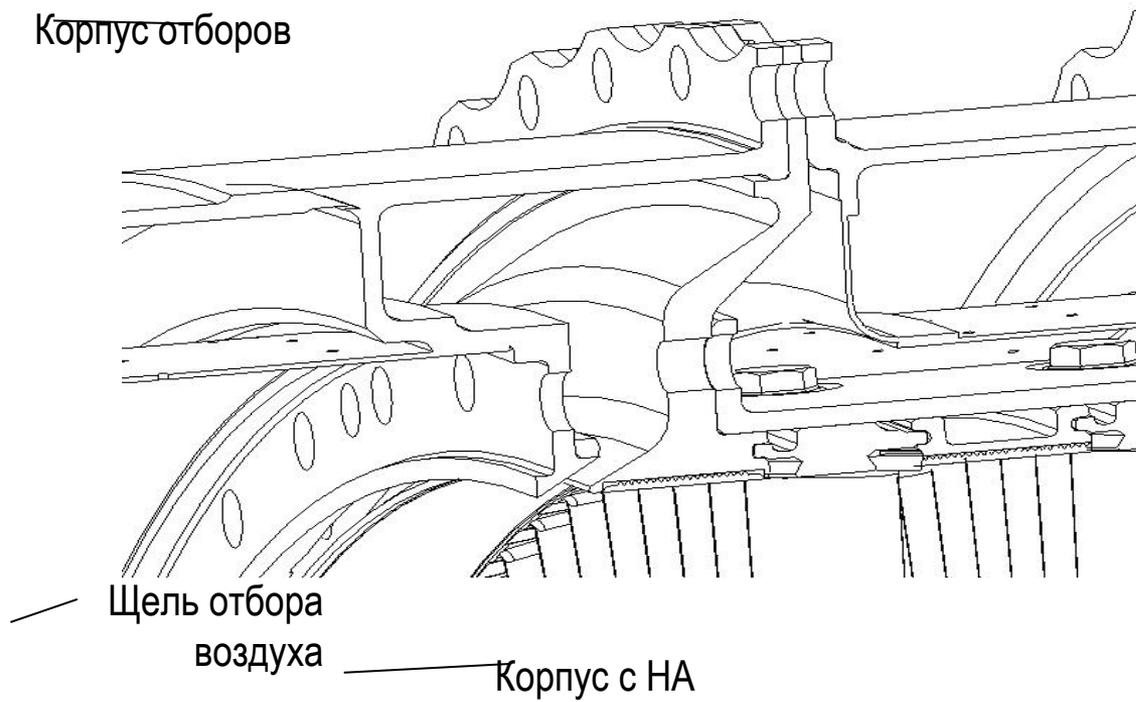
Регулируемые НА

Поворотный направляющий аппарат



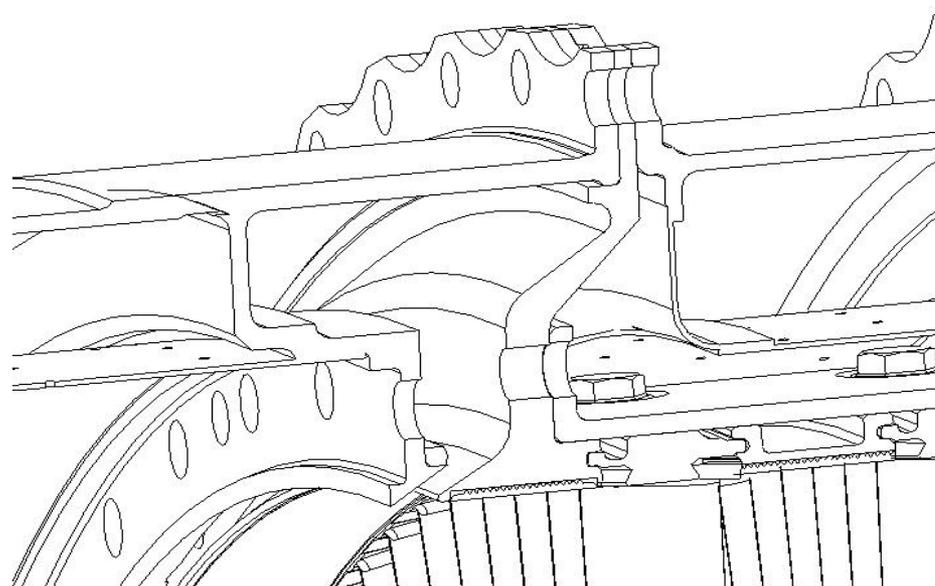
Корпус отборов

Корпус отборов



Корпус отборов

Корпус
отборов



Щель отбора
воздуха

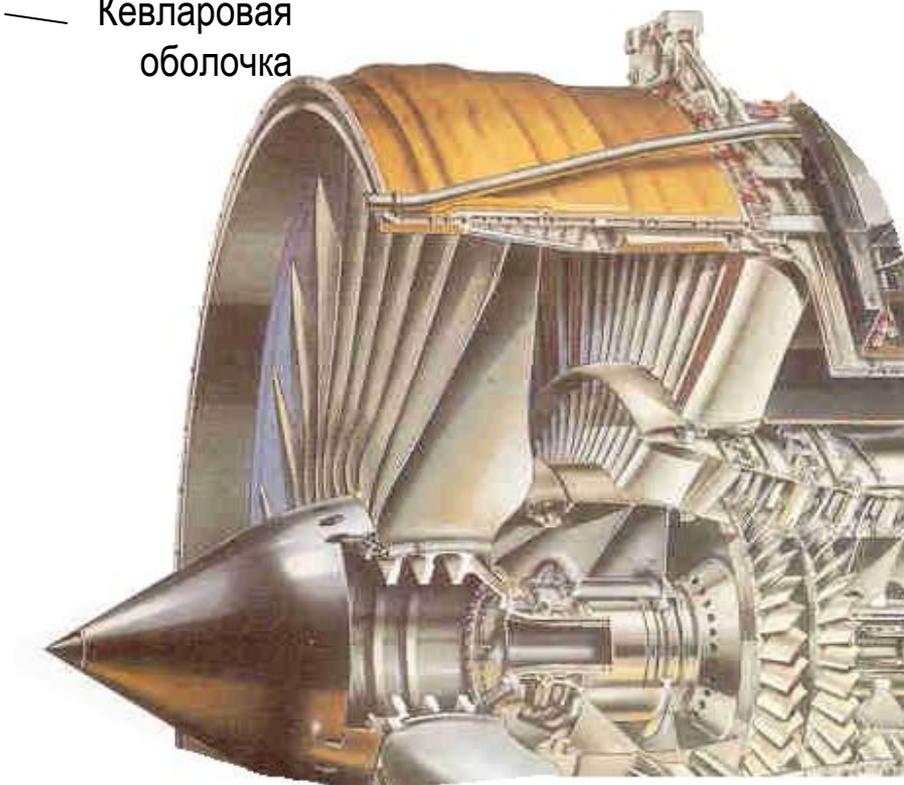
Корпус с НА

Корпус вентилятора

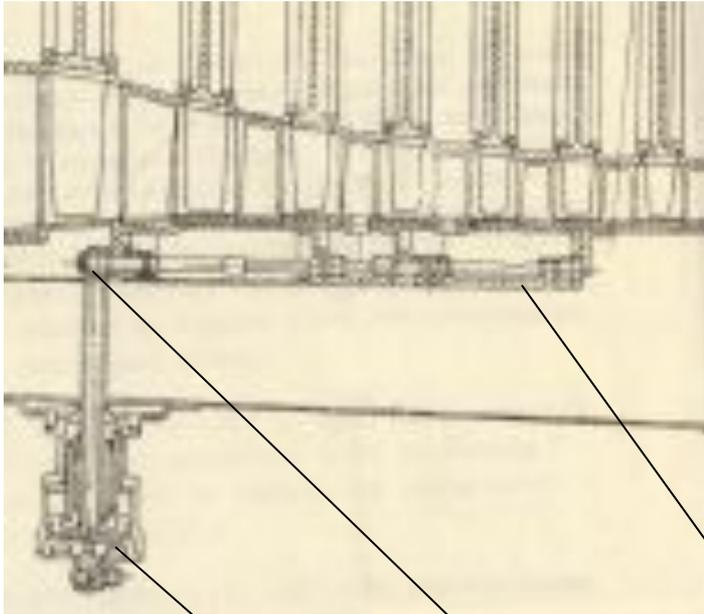
Trent 800

Алюминиевый корпус-матрица

Кевларовая оболочка

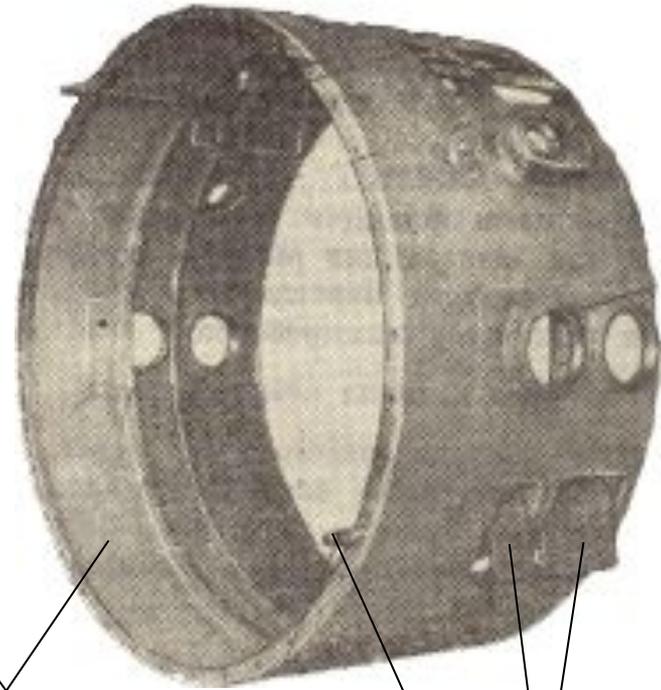


Перепуск воздуха



Гидроцилиндр

Рычаг

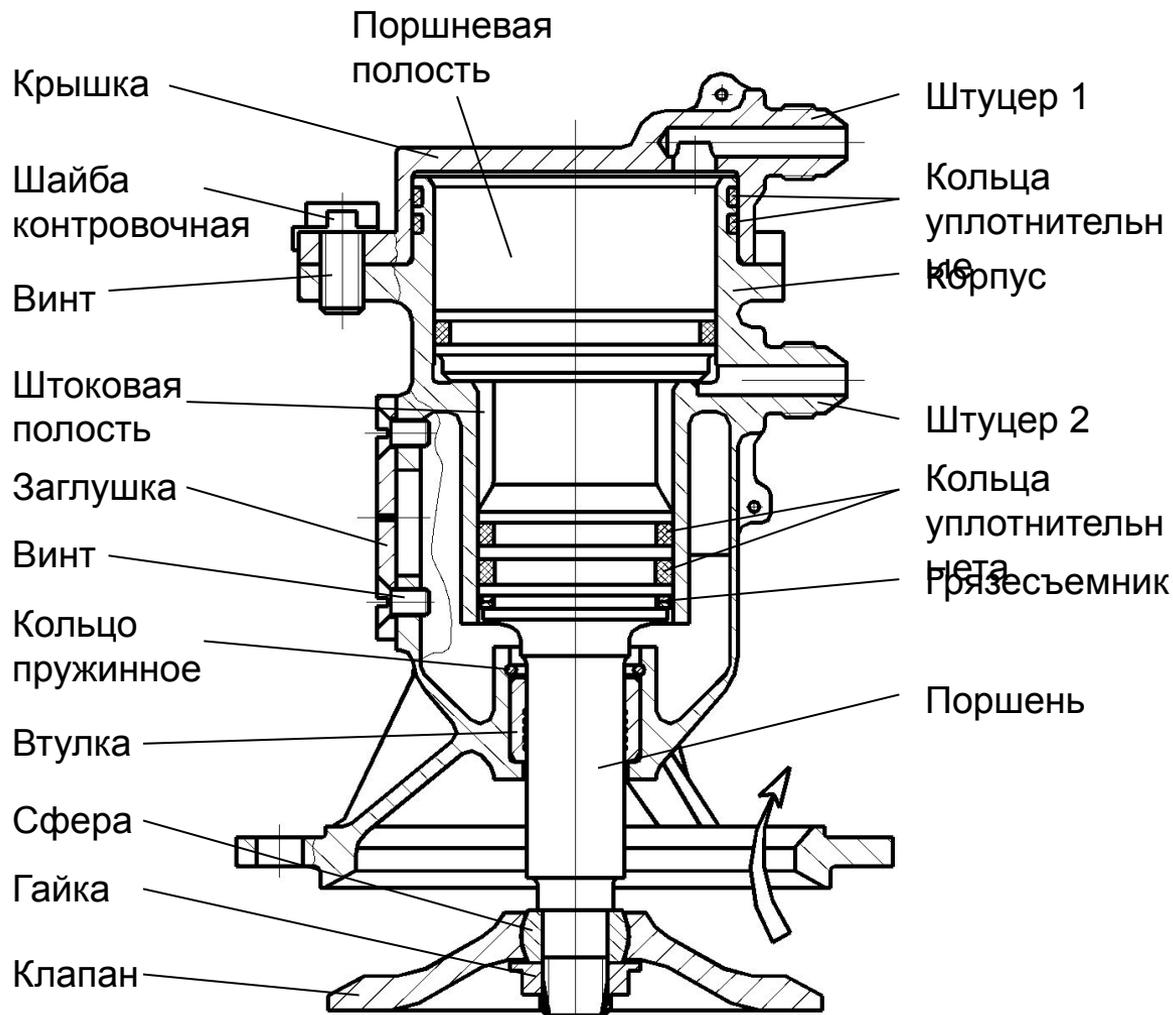


Корпус перепуска
воздуха

Ось

Дроссельные
заслонки

Клапан перепуска воздуха.



Противообледенительная система

Обогреваемый
воздухозаборник

Обогреваемые лопатки ВНА

NOSE CONE

Регулятор
давления

Обогреваемый
кок

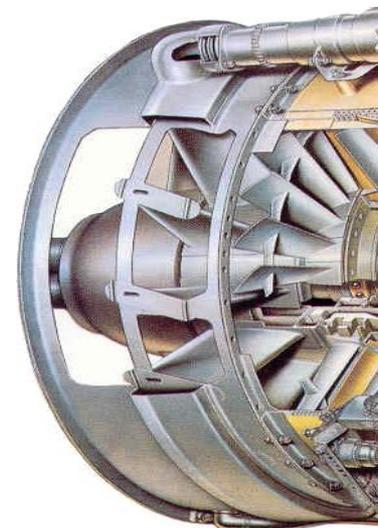
AIR INTAKE MANIFOLD

Воздушный
коллектор

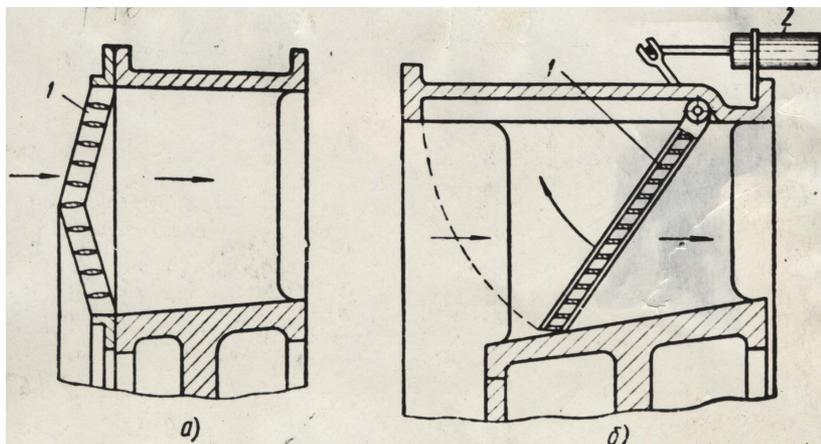
Трубопровод подвода
воздуха

Подвод
воздуха на
обогрев

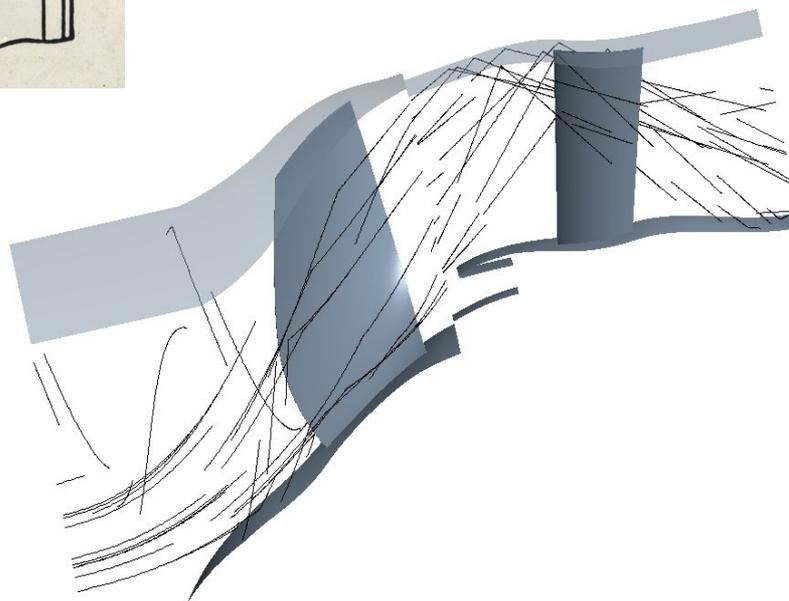
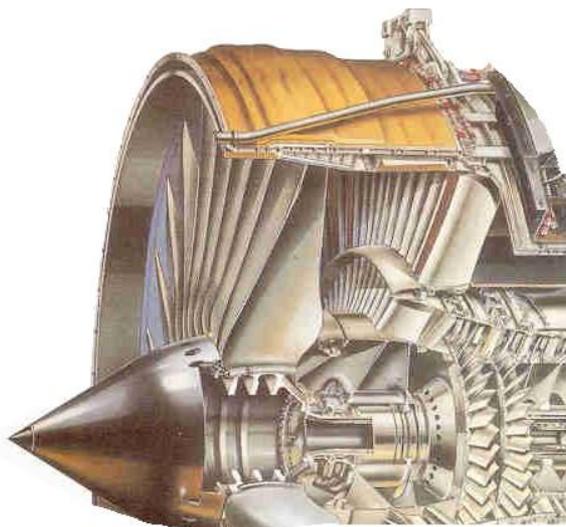
Канал
обогрева
входной
кромки



Защита от попадания посторонних предметов



- гидравлические потери
- лед на сетке



расчетные траектории движения посторонних предметов в потоке воздуха перед воздухозаборником и в его канале

Материалы деталей компрессора

Критерии выбора:

- Механические характеристики при рабочей температуре
- Стойкость к коррозии и эрозии
- Минимальный вес детали
- Технологичность
- Стоимость

Лопатки ротора и статора

До 250°C (лопатки вентилятора, КНД кроме 1-й ст)
алюминиевые сплавы (АК4-1, ВД-17)

ПКМ (углепластики)

До 500°C (лопатки КВД, кроме последних ступеней)
жаропрочные титановые сплавы (ВТ3-1, ВТ-8)

До 700°C (лопатки последних ступеней КВД)
жаропрочные хромоникелевые стали (ЭИ-787)

Механические характеристики

- Предел прочности σ_B
- Предел текучести σ_T
- Предел длит.прочности $\sigma_{дл}$
- Предел выносливости σ_{-1}

Диски

Титановые сплавы (ВТ3-1, В Т18)

Жаропрочные хромоникелевые стали (ЭИ-787)

Корпусные детали

титановые сплавы (ВТ20) и лег.стали (ЭП-718)

Валы

предел выносливости - стали (40ХНМА, ЭП-517)