

Тема: Компрессоры ГТД

1. Требования, предъявляемые к компрессорам

2. Конструктивные схемы компрессоров

Центробежные компрессоры
Осевые компрессоры
Осецентробежные компрессоры

3. Роторы компрессоров

Типы роторов
Соединение элементов

3. Лопатки компрессоров

Требования
Соединения с диском
Особенности крупногабитных лопаток вентиляторов

4. Корпусы компрессоров

Типы корпусов, основные элементы конструкции
Направляющие аппараты
Механизация компрессора
Защита от попадания посторонних предметов

5. Материалы деталей компрессоров

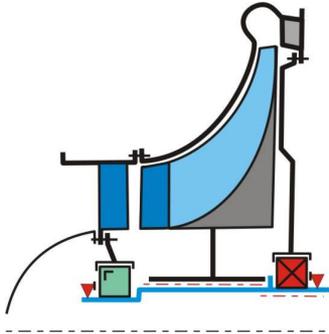
Требования, предъявляемые к компрессорам

- обеспечение заданного секундного расхода воздуха $Gв$
- обеспечение заданной степени повышения давления π_K^*
- обеспечение заданного КПД (экономичность)
- обеспечение устойчивой работы в заданном диапазоне n .

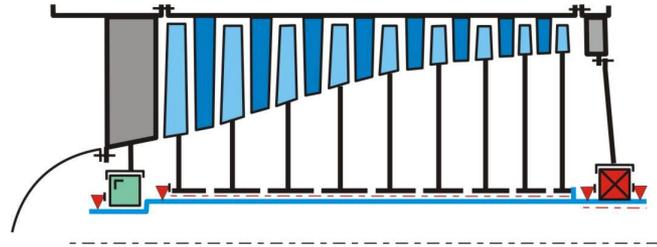
- надежность
- живучесть
- обеспечение заданного ресурса
- контролепригодность
- пожаробезопасность

- минимальная масса и габариты
- технологичность производства
- эксплуатационная технологичность
- минимальная себестоимость производства
- возможность развития
- экологические ограничения (по шуму)

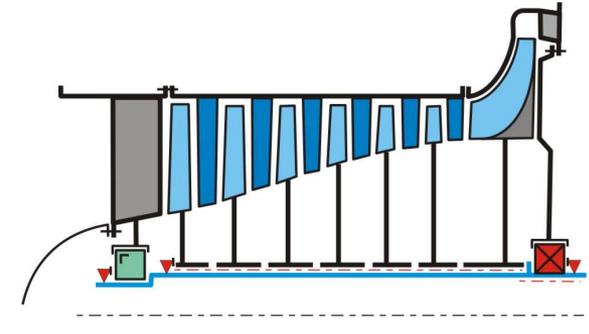
Центробежные компрессоры



Осевые компрессоры



Осецентрированные компрессоры



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

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

- + высокая степень сжатия
- малый диаметр

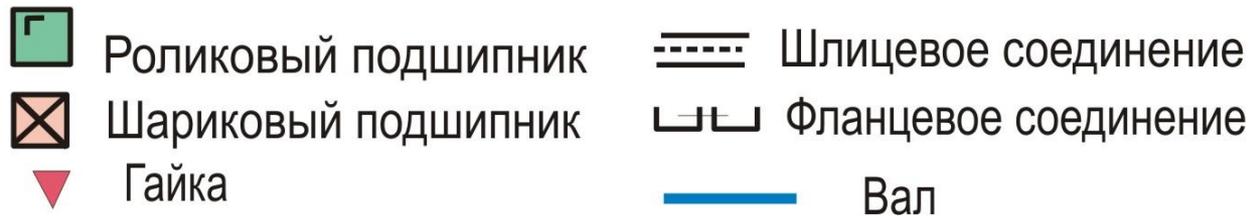
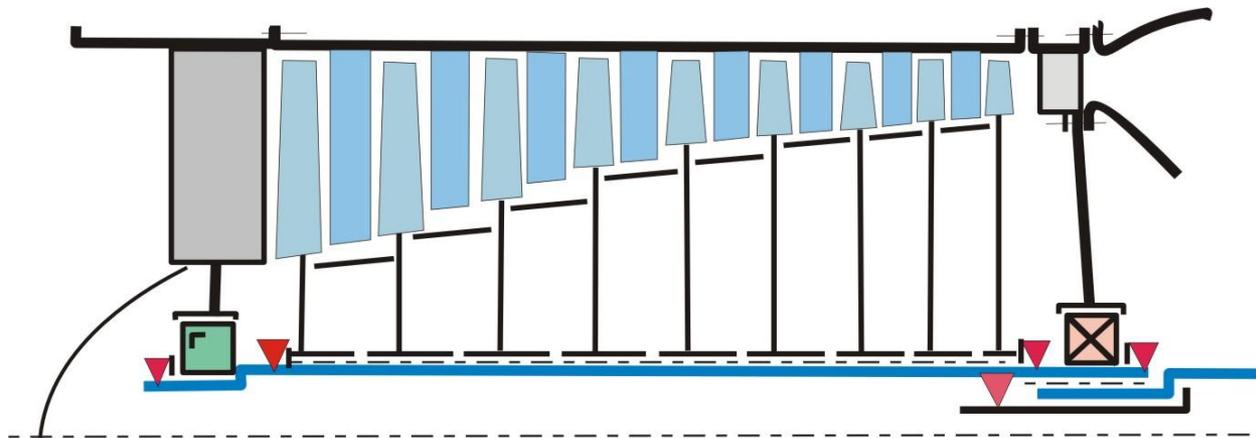
- сложность
- неустойчивость (помпаж)
- мелкие лопатки и большие отн.радиальные зазоры на последних ступенях при малой размерности -

- + высокая степень сжатия
- простота
- нет мелких лопаток

- высокие гидравлич.потери
- большой диаметр

Осевые компрессоры

Типичная конструктивная и силовая схема осевого компрессора ТРД

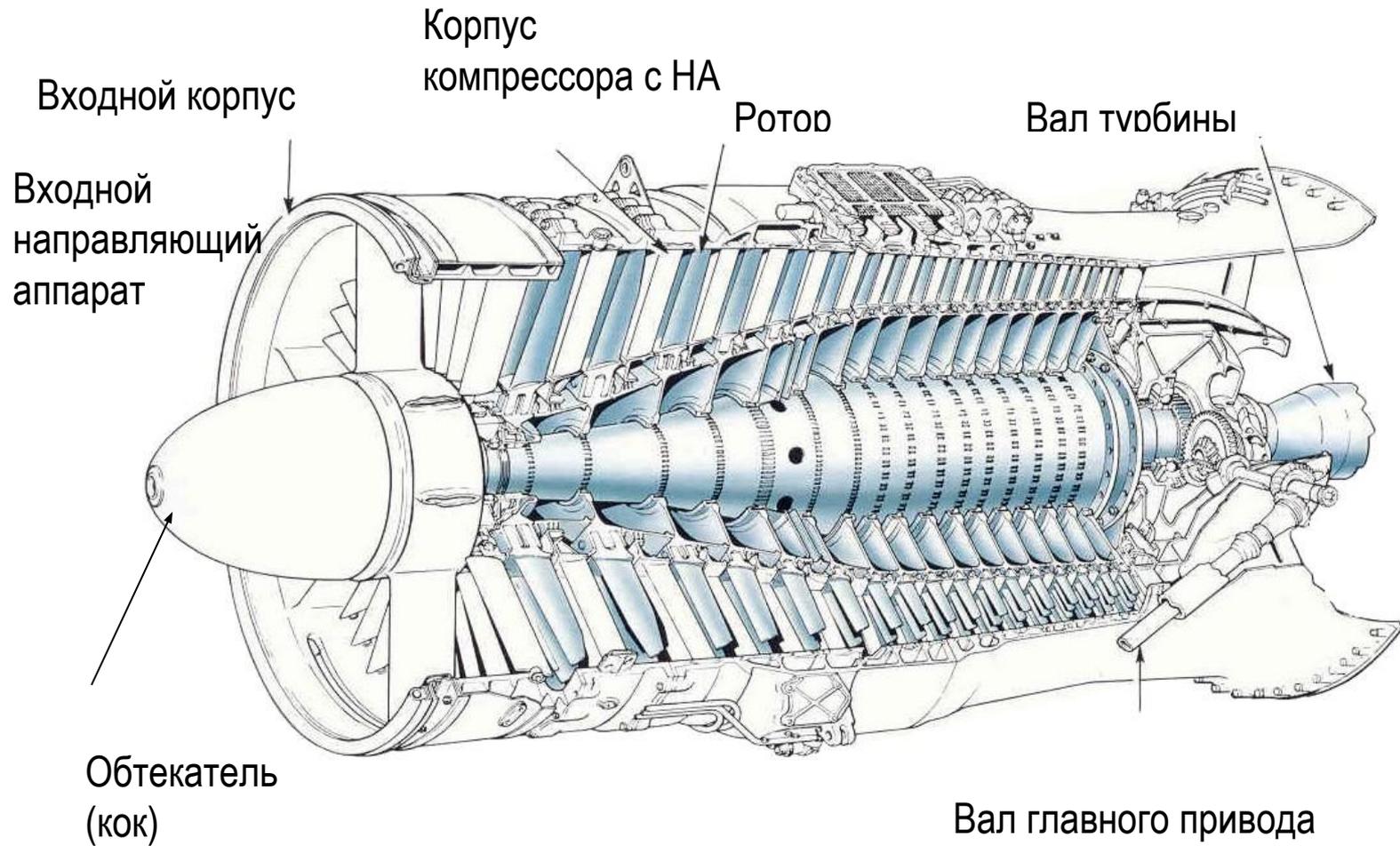


Классификация

1- 2- 3-каскадные

1- 2- 3-вальные

Однокаскадный компрессор ТРД



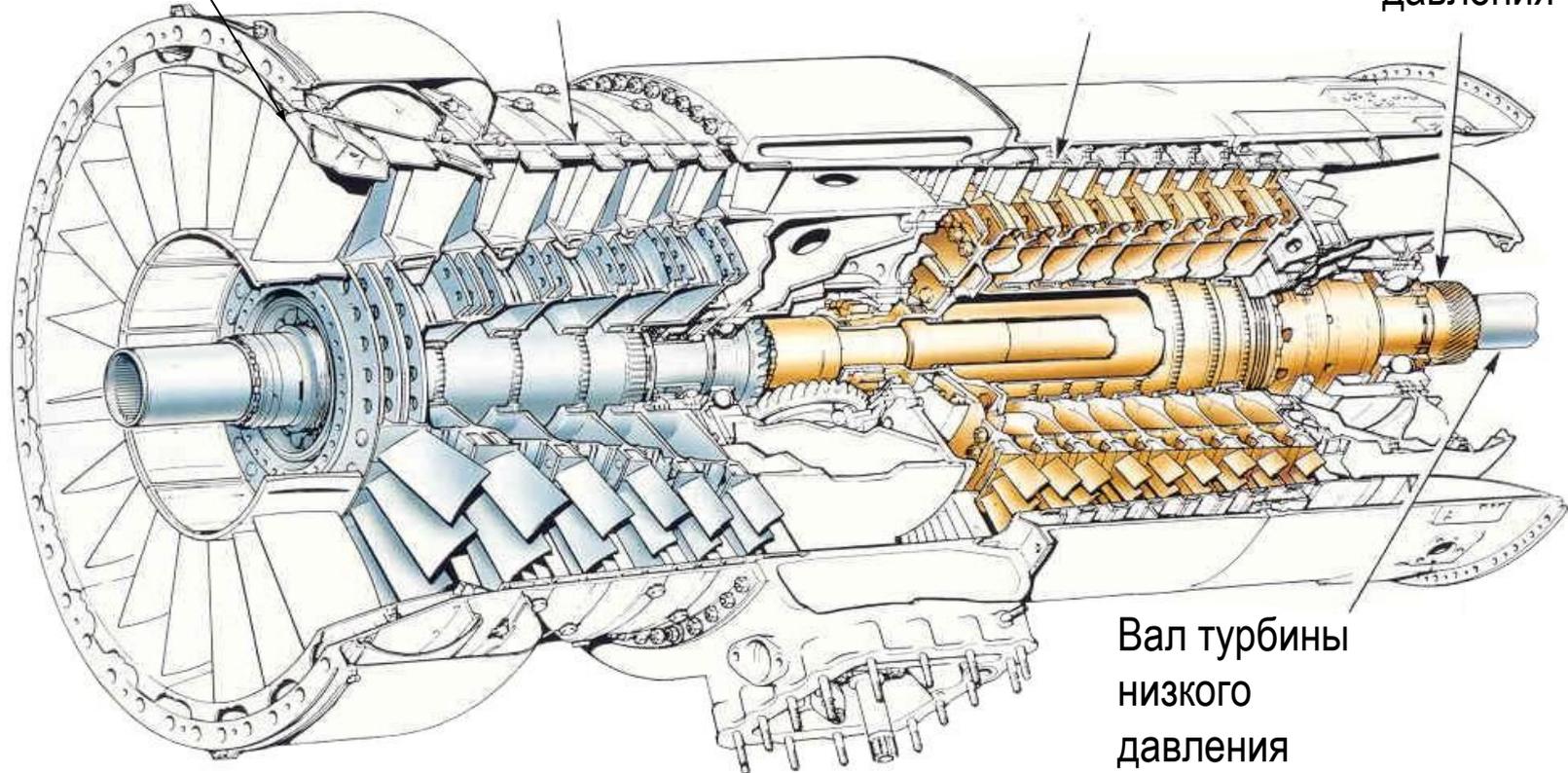
Двухкаскадный компрессор одноконтурного ТРД

Входной
направляющий
аппарат

КНД

КВД

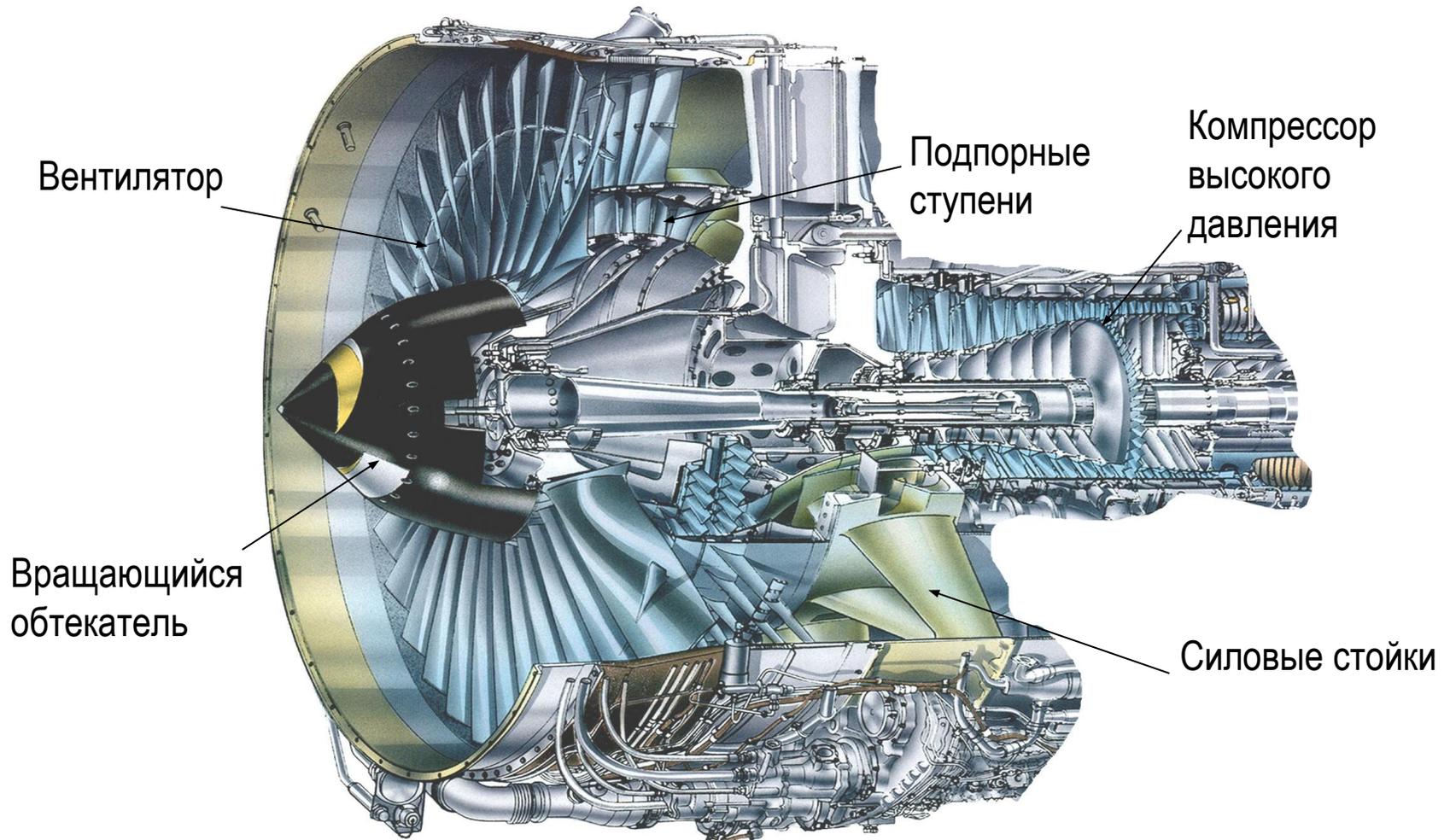
Вал турбины
высокого
давления



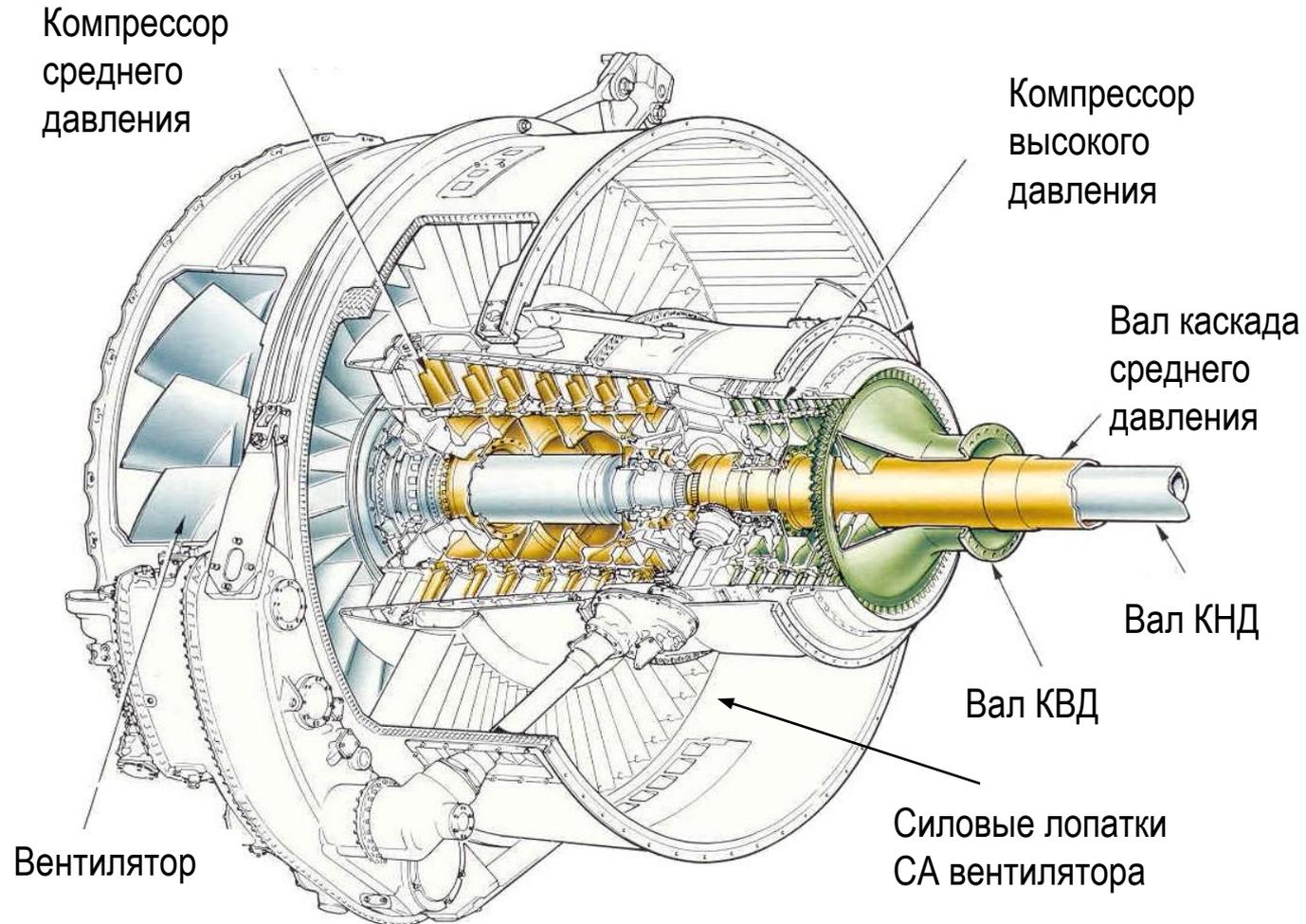
Вал турбины
низкого
давления

Конструктивные схемы компрессоров
Осевые компрессоры

Двухкаскадный компрессор ТРДД с большой степенью двухконтурности



Трёхкаскадный компрессор ТРДД с большой степенью двухконтурности



Роторы осевых компрессоров

Требования:

- передача крутящего момента;
- передача осевых усилий;
- обеспечение требуемой изгибной жесткости;
- обеспечение высокой крутильной жесткости;
- обеспечение соосности элементов на всех режимах работы;
- минимальная масса элементов ротора;
- минимальный статический и динамический дисбаланс

Классификация:

По расположению относительно опор:

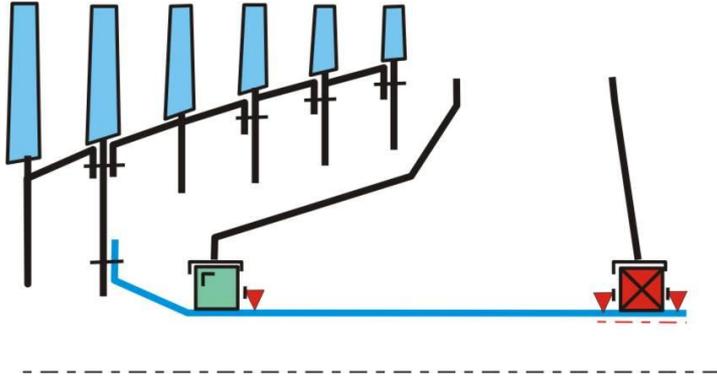
- межопорные;
- консольные;
- комбинированного расположения.

По конструктивной схеме:

- барабанные;
- дисковые;
- барабанно-дисковые

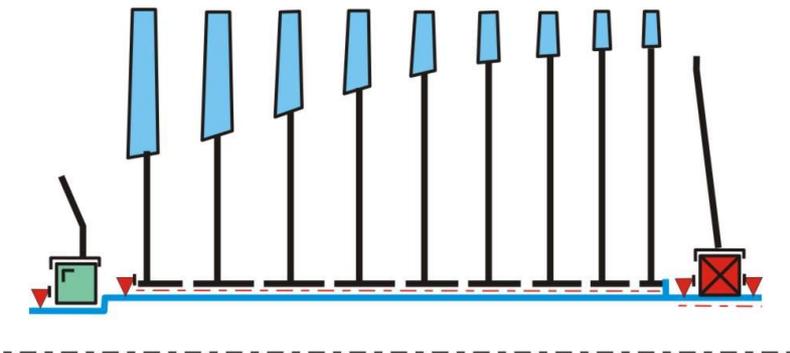
Роторы осевых компрессоров

Ротор с консольным расположением



- ⊕ - отсутствие силовых стоек на входе в компрессор
- минимальные осевые размеры компрессора
- возможна организация единой масляной полости обеих опор
- ⊖ - высокая радиальная нагрузка на переднюю опору
- не применим с роторами дискового типа
- малое число ступеней компрессора

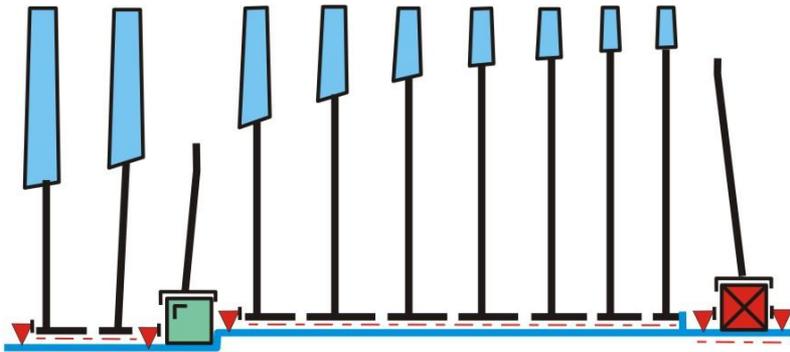
Ротор с межопорным расположением



- ⊕ - большое количество ступеней компрессора
- равномерная радиальная нагрузка на опоры
- применим для роторов всех типов
- ⊖ - наличие силовых стоек на входе в компрессор
- отдельные масляные полости опор

Роторы осевых компрессоров

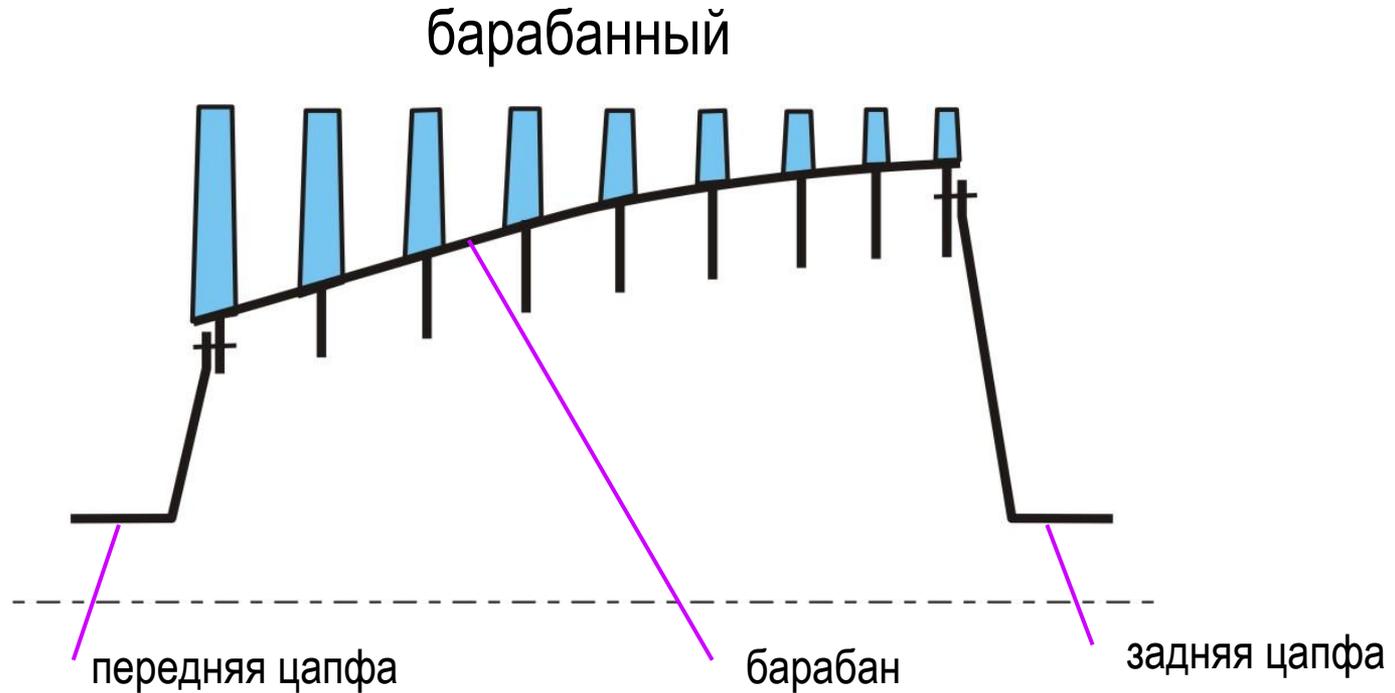
Ротор с комбинированным расположением относительно опор



- ⊕ - большое количество ступеней компрессора
- отсутствие силовых стоек на входе в компрессор

- ⊖ - высокая радиальная нагрузка на переднюю опору
- сложность сборки
- увеличенные осевые размеры
- сложность организации масляной полости передней опоры

Основные типы роторов осевых компрессоров

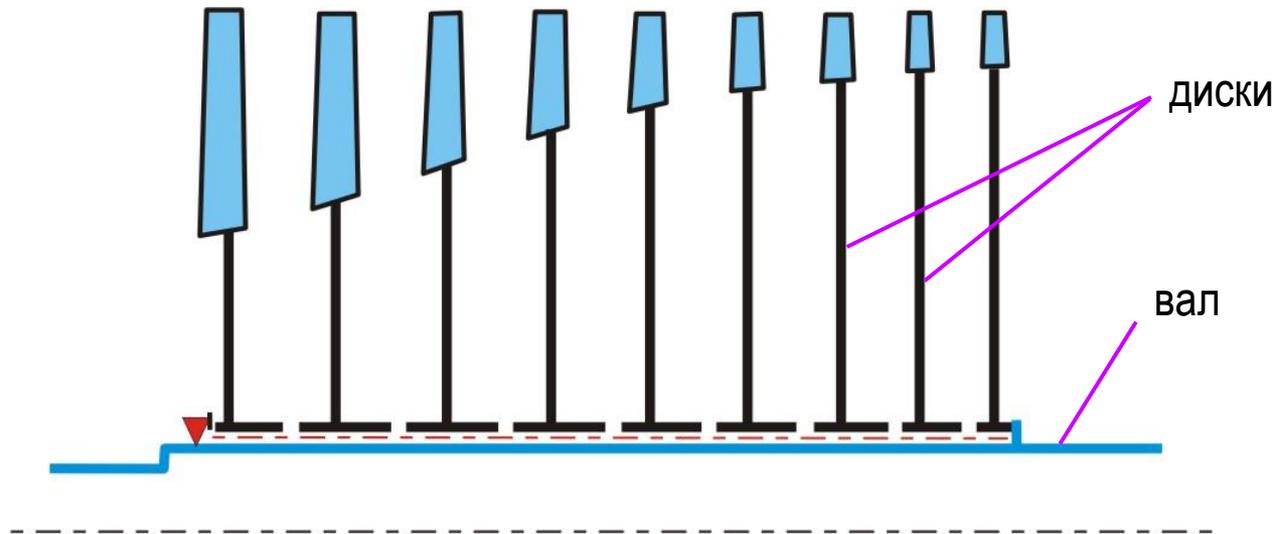


- ⊕ •Простота конструкции и сборки
- Высокая изгибная и крутильная жесткость
- Низкий вес

- ⊖ •Низкая несущая способность
- Низкий КИМ
- Сложность изготовления барабана

Основные типы роторов осевых компрессоров

ДИСКОВЫЙ

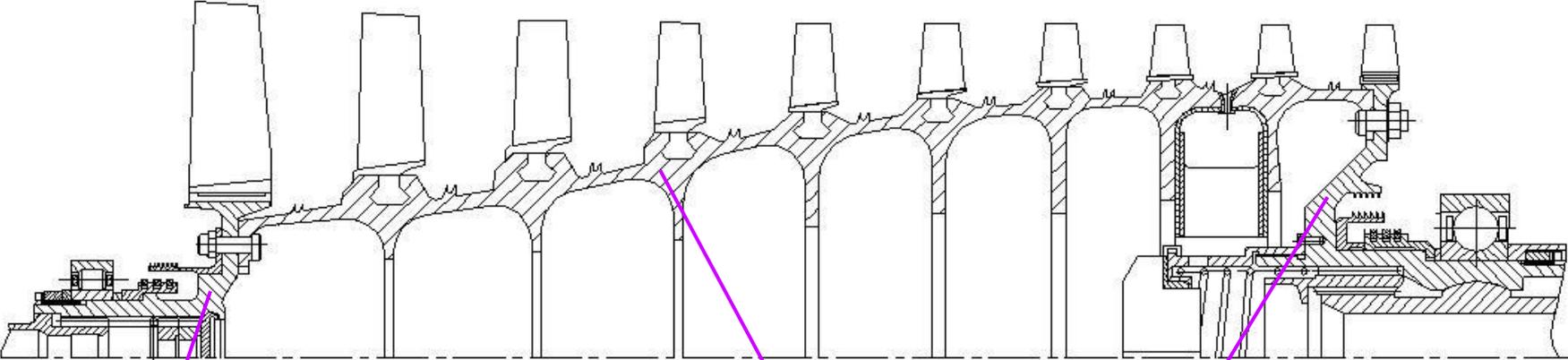


⊕ •Высокая несущая способность

⊖ •Низкая изгибная и крутильная жесткость
•Большой вес
•Сложность обеспечения соосности

Ротор компрессора барабанного типа

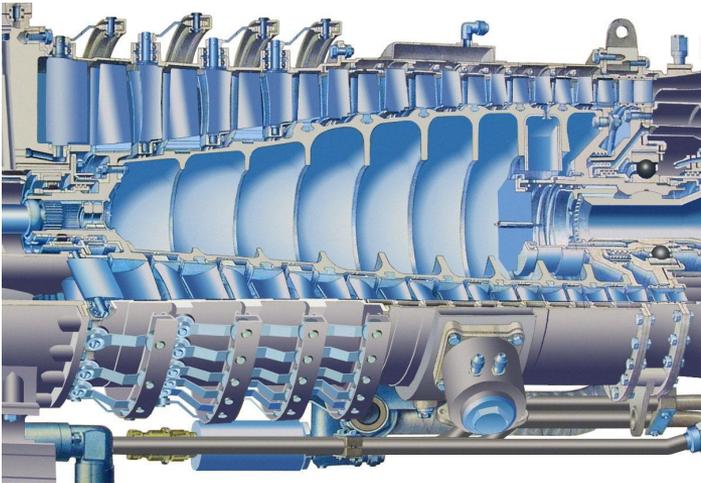
ТВ2-117



диск с передней цапфой

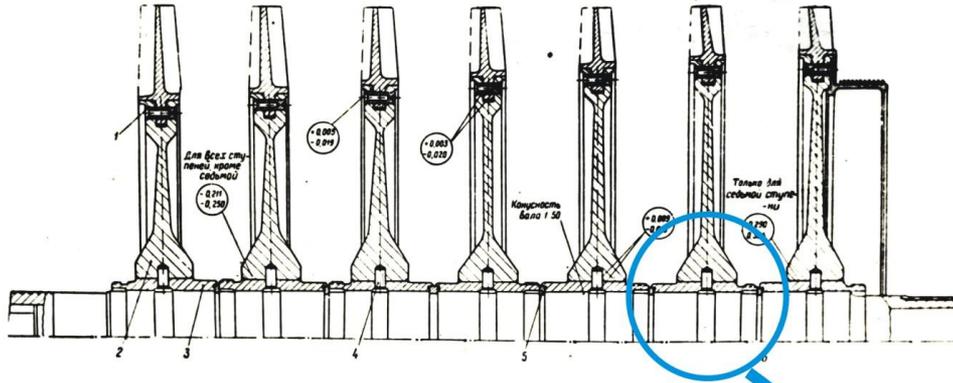
барабан

диск с задней цапфой

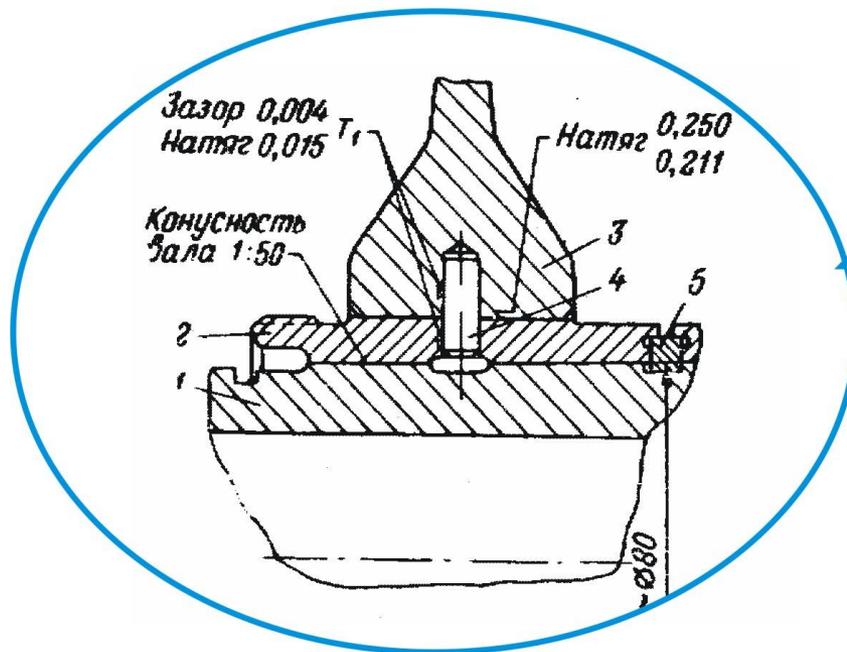


Ротор компрессора дискового типа

Посадка дисков на вал с натягом

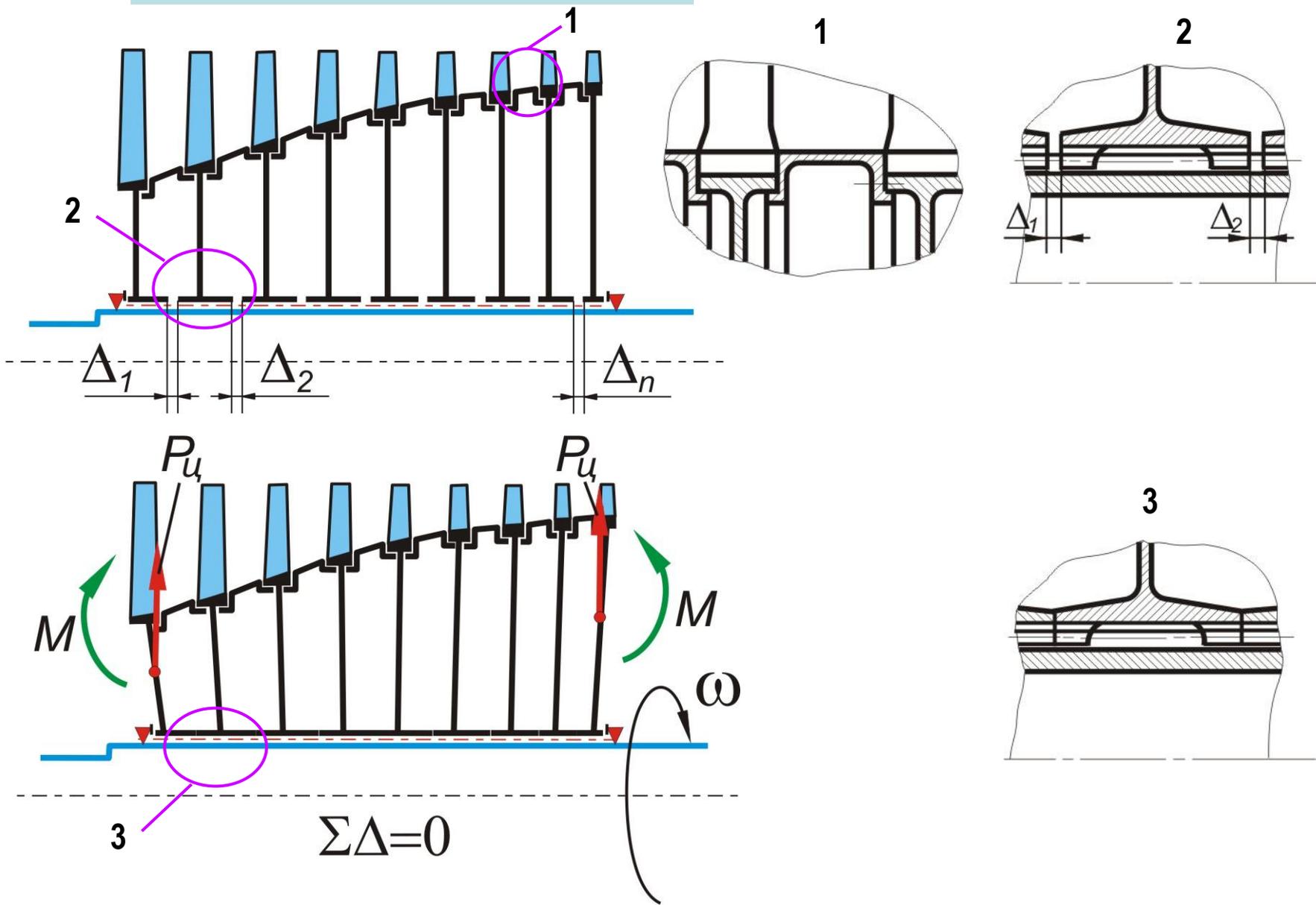


- дополнительное нагружение диска
- опасность распрессовки



Ротор компрессора дискового типа

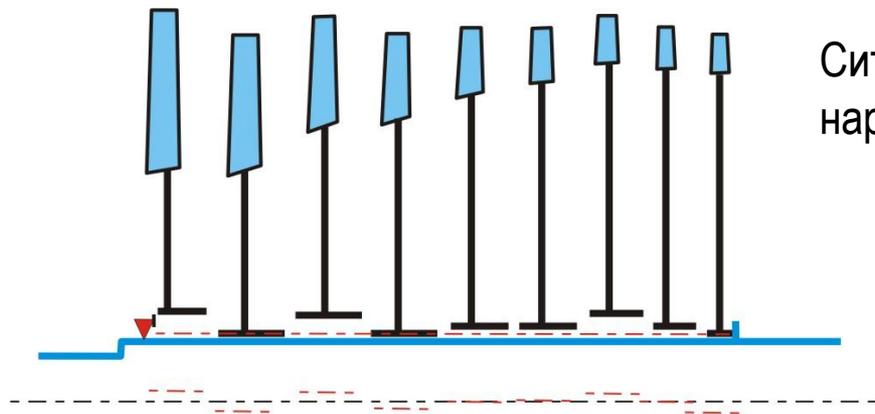
Шлицевое соединение дисков с валом



Ротор компрессора дискового типа

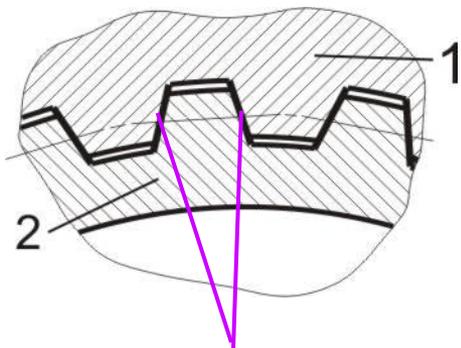
Шлицевое соединение дисков с валом

Центрирование дисков с валом по элементам шлицевого соединения



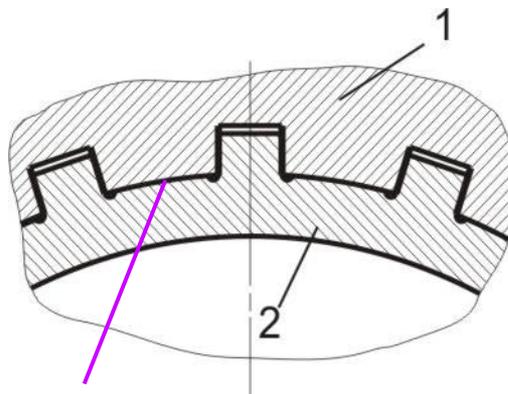
Ситуация, возможная при нарушении центрирования

Эвольвентные шлицы



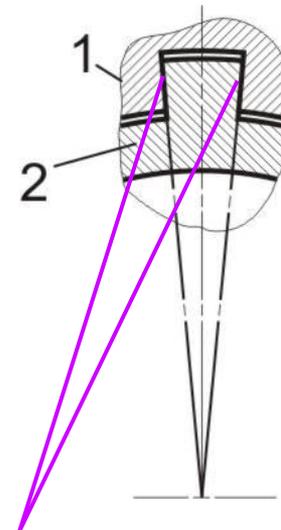
Центрирующая поверхность

Прямоугольные шлицы



Центрирующая поверхность

Трапецевидные шлицы

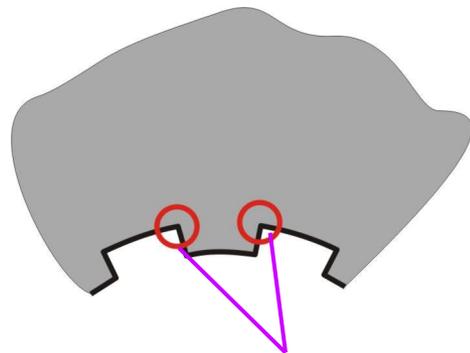
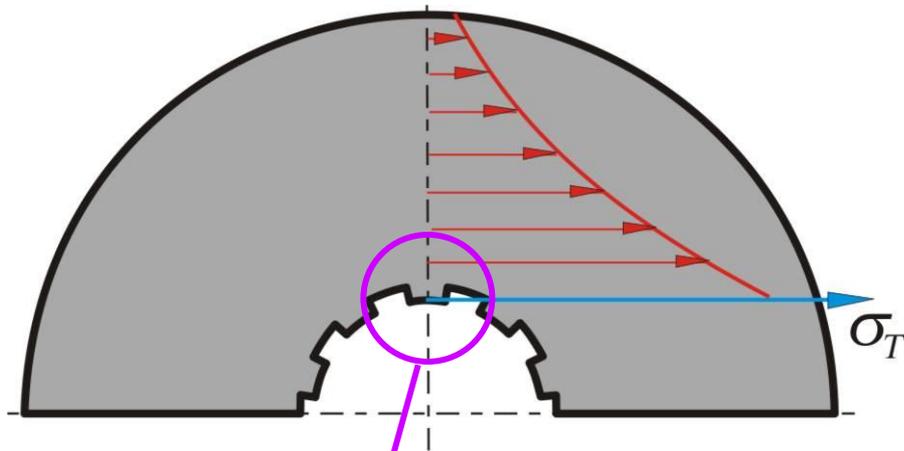


Центрирующая поверхность

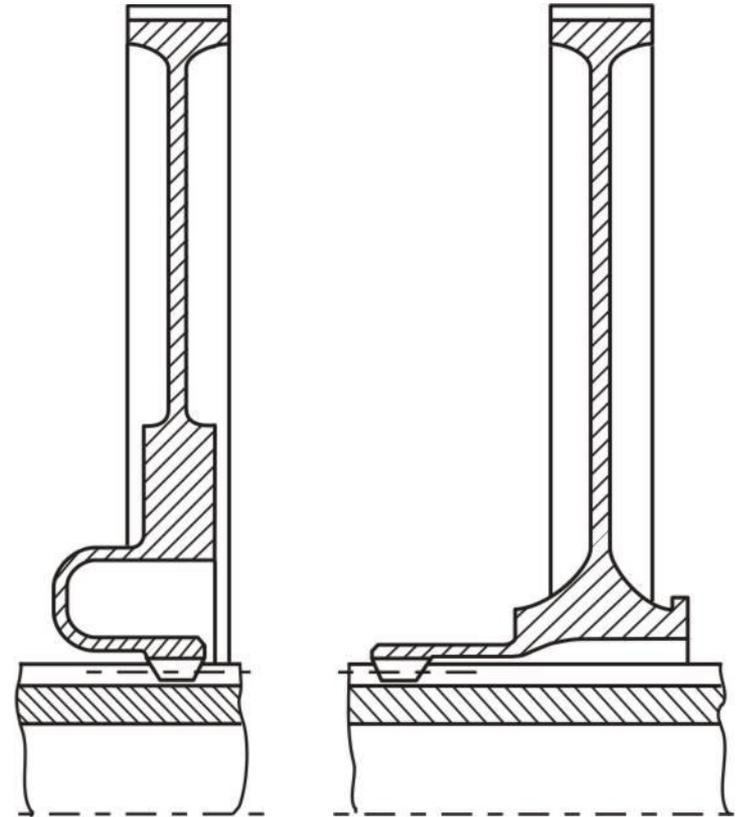
Ротор компрессора дискового типа

Шлицевое соединение дисков с валом

Выносные шлицевые венцы



Зоны концентрации напряжений

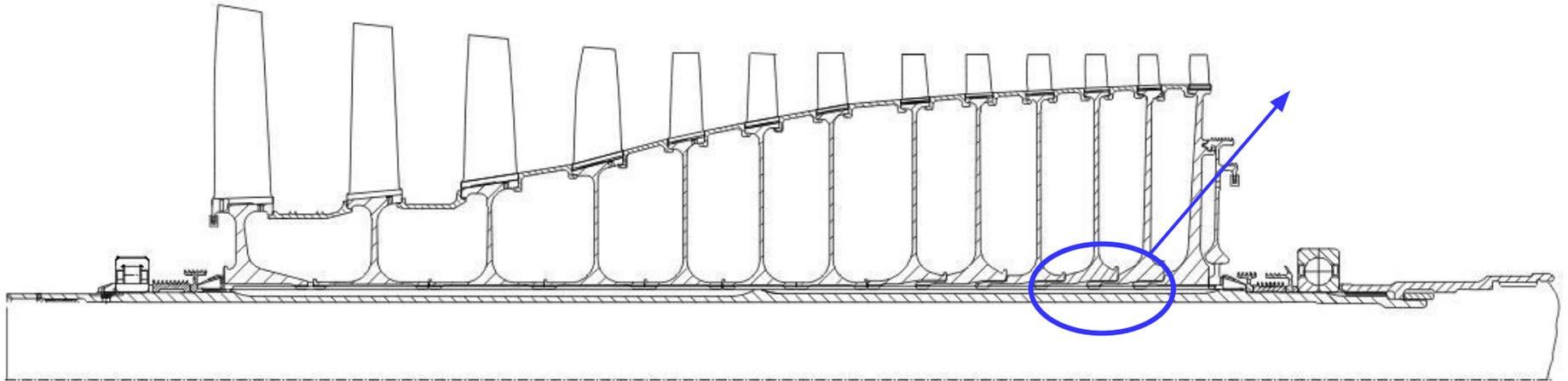
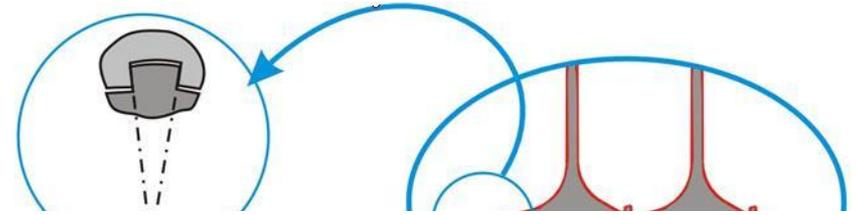


Ротор компрессора дискового типа

Роторы осевых компрессоров

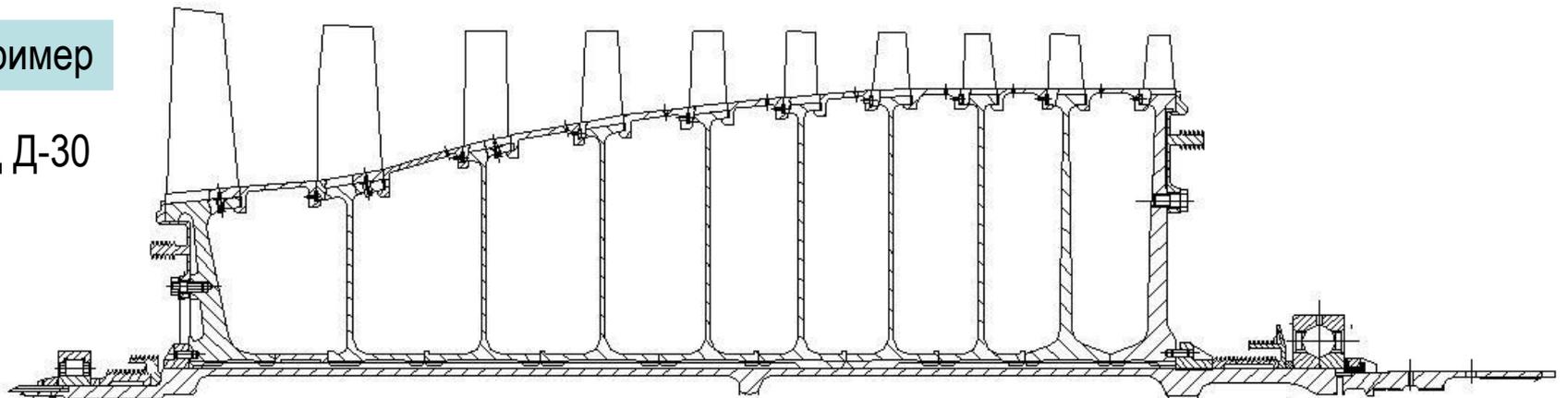
Пример

КВД ПС-90А



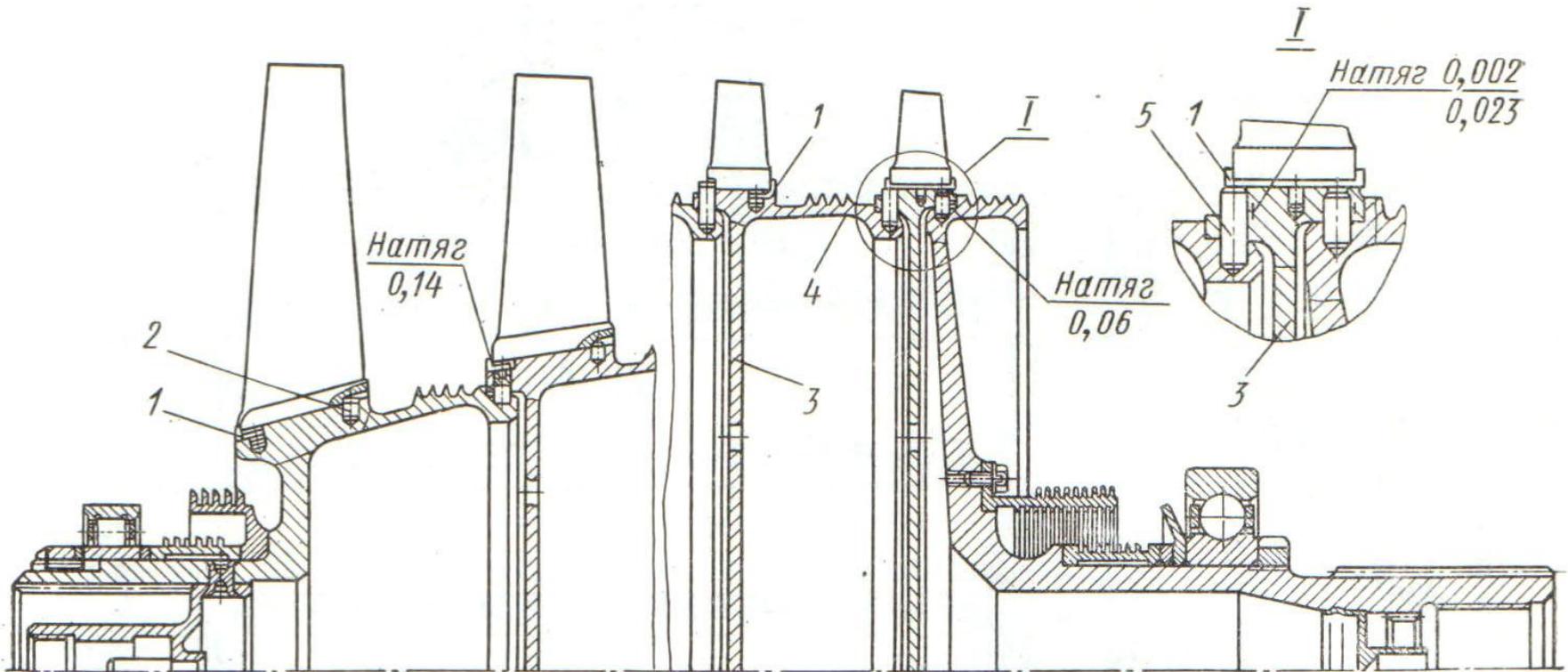
Пример

КВД Д-30



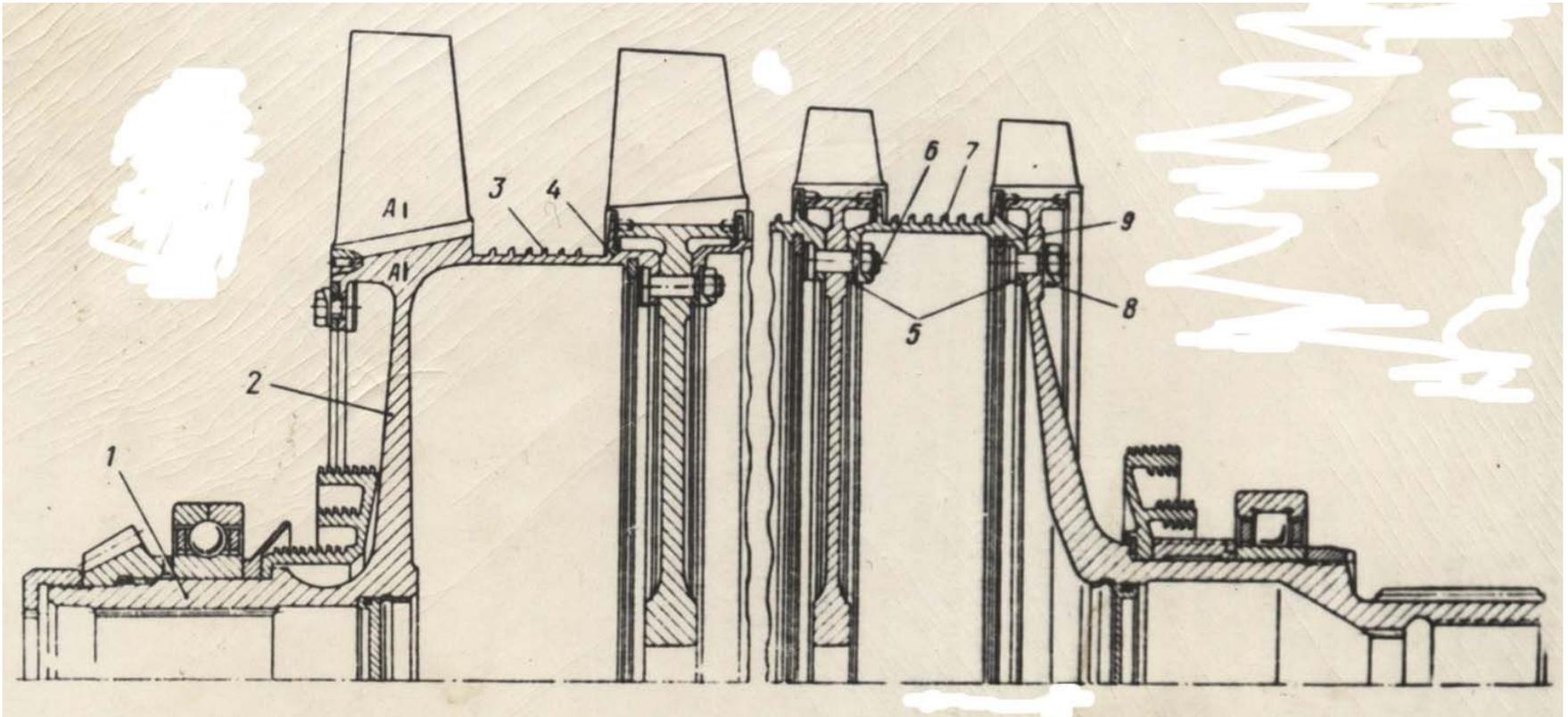
Ротор компрессора барабанно-дискового типа

Соединение секций с натягом и фиксацией радиальными штифтами



Ротор компрессора барабанно-дискового типа

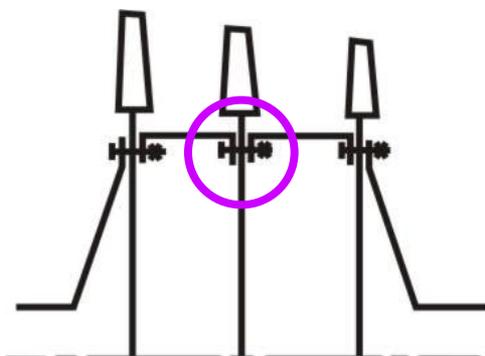
Фланцевое соединение секций



много крепежных деталей, сложная сборка

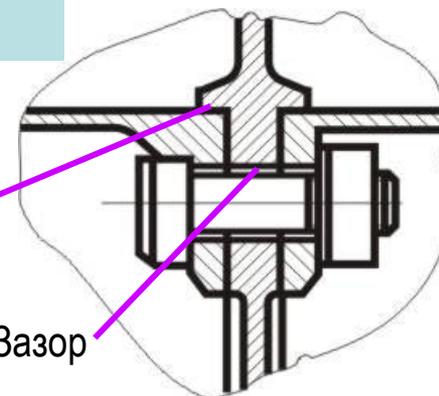
Ротор компрессора барабанно-дискового типа

Центрирование элементов ротора при фланцевом соединении секций



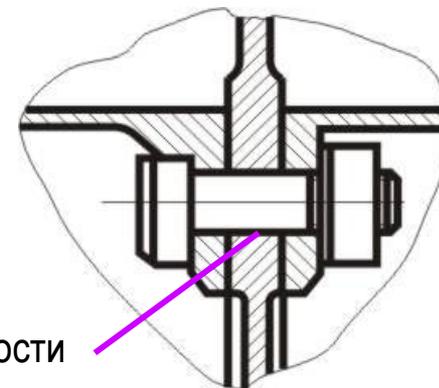
Центрирование по цилиндрическим поверхностям

Точно выполненные цилиндрические поверхности обеих деталей



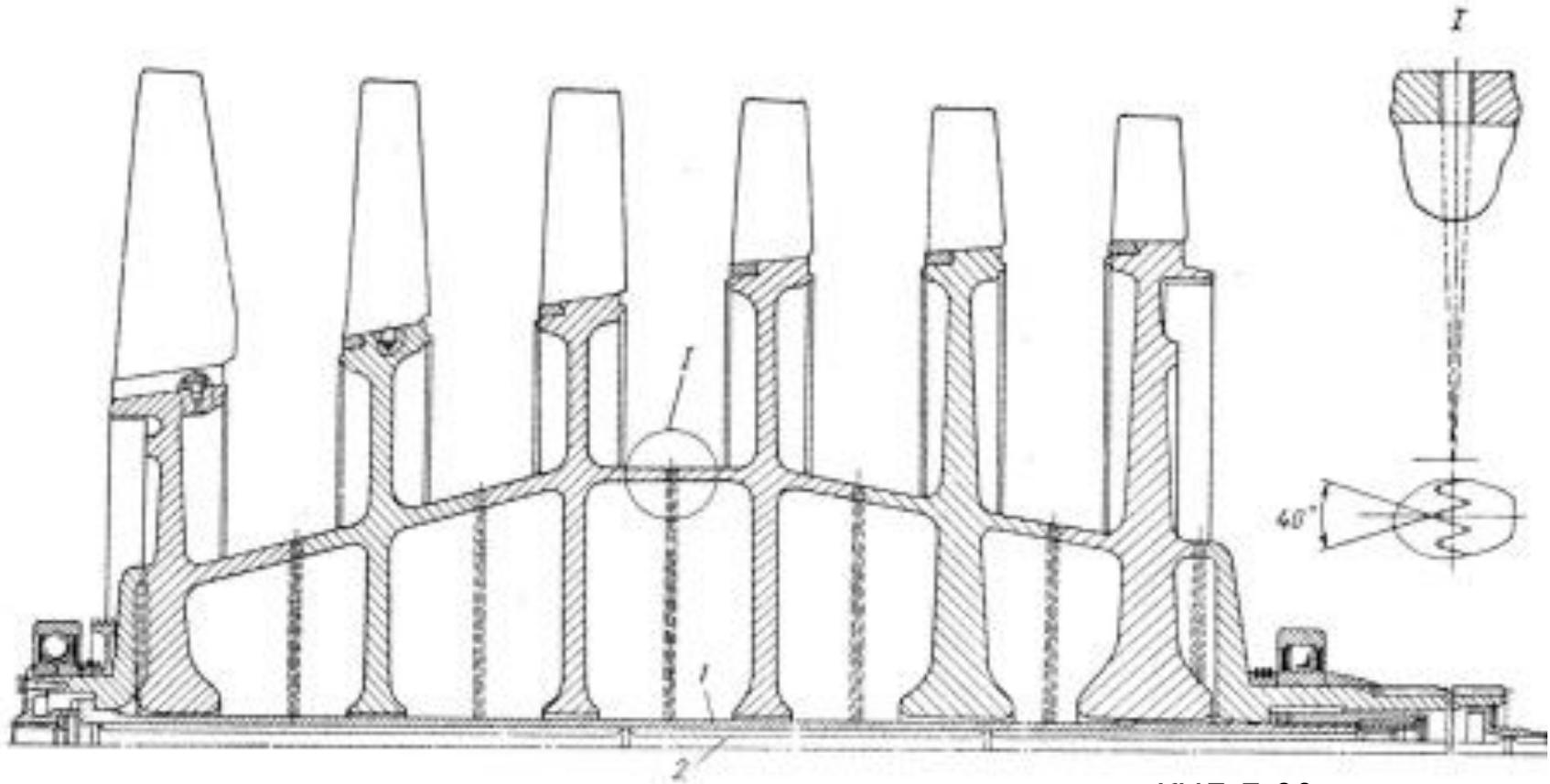
Центрирование по призонным болтам или штифтам

Точно выполненные цилиндрические поверхности всех деталей



Ротор компрессора барабанно-дискового типа

Соединение дисков при помощи торцевых шлиц с центральным стяжным болтом

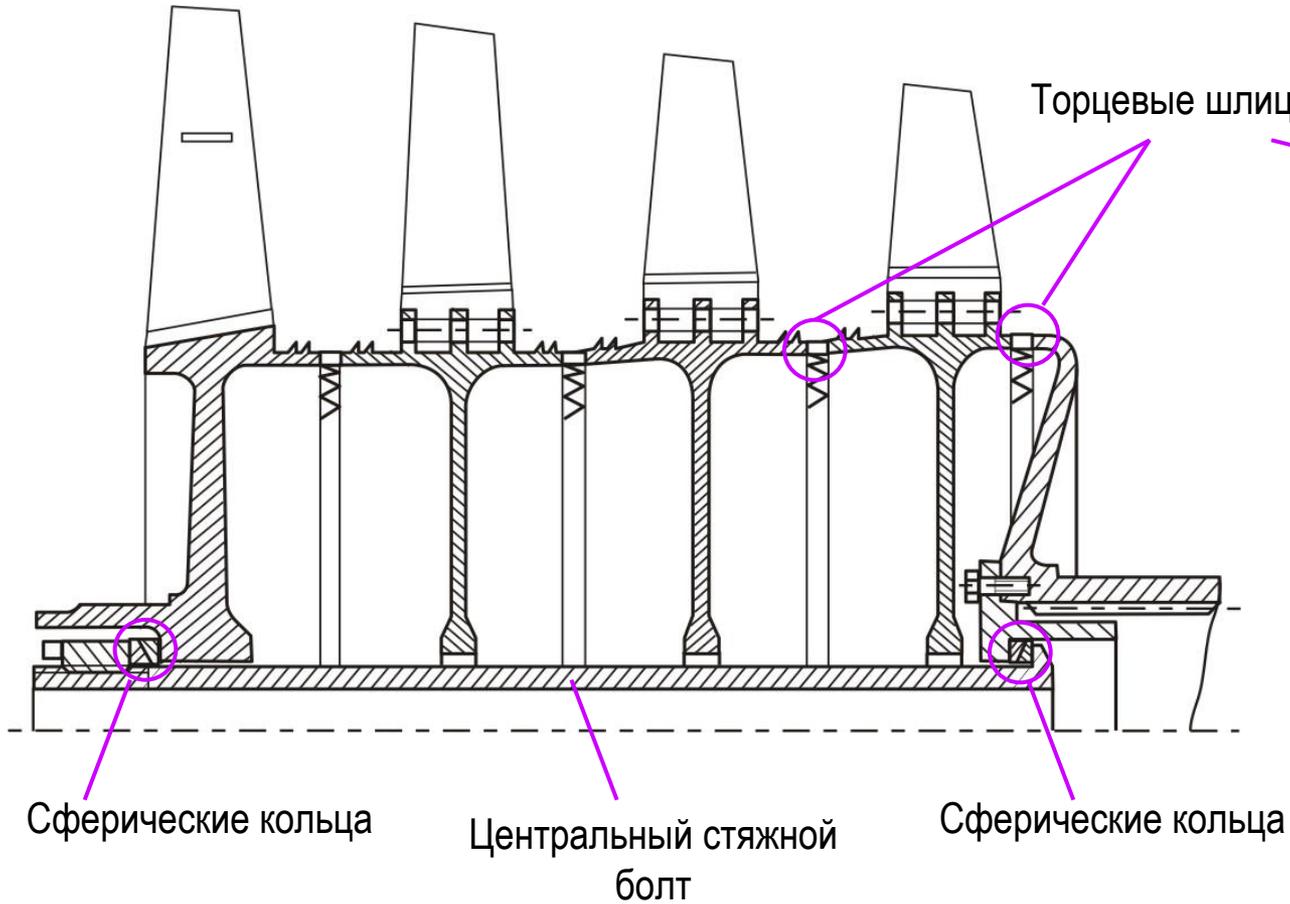


⊕ простота, надежность

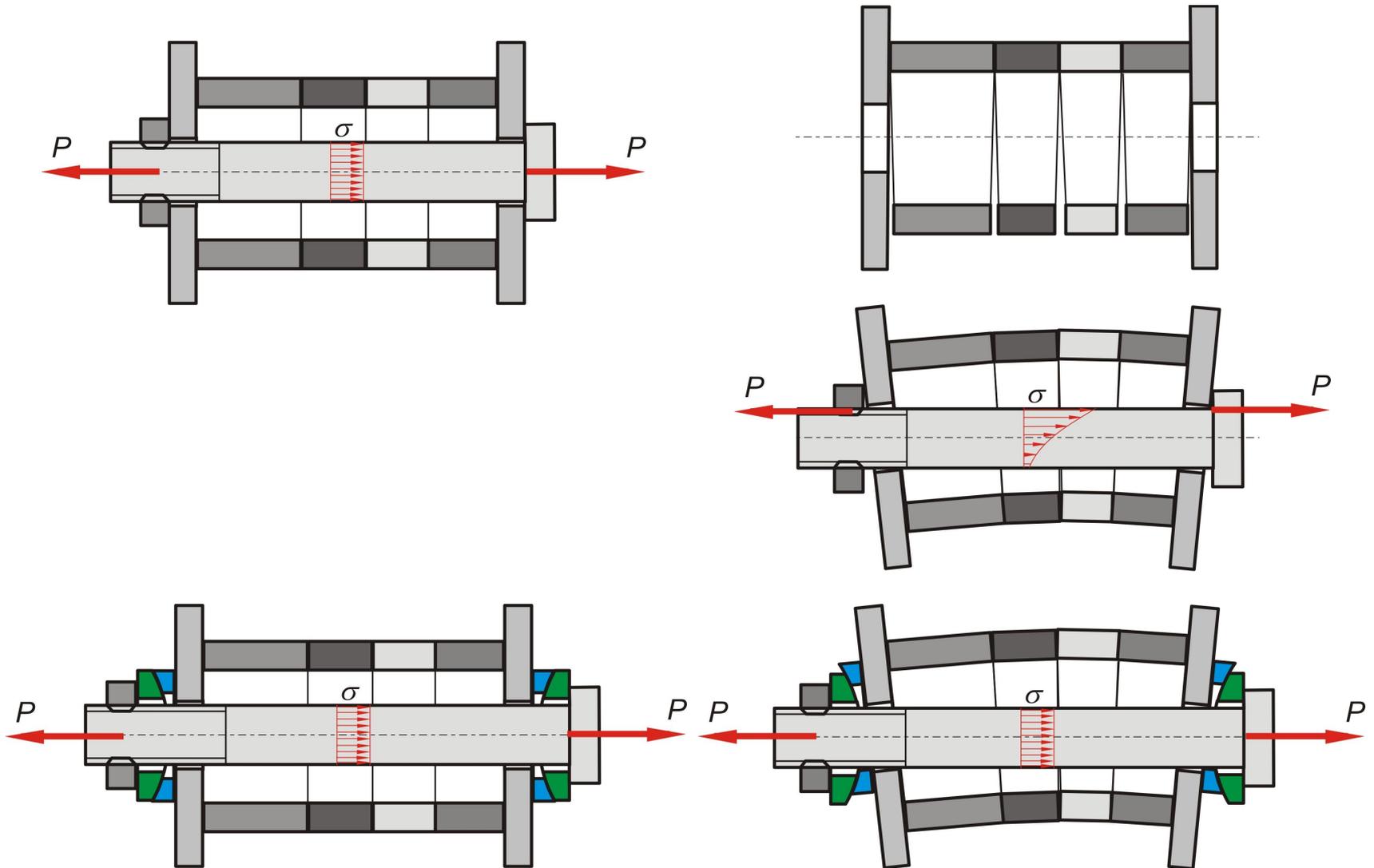
КНД Д-30

Ротор компрессора барабанно-дискового типа

Соединение дисков при помощи торцевых шлиц с центральным стяжным болтом

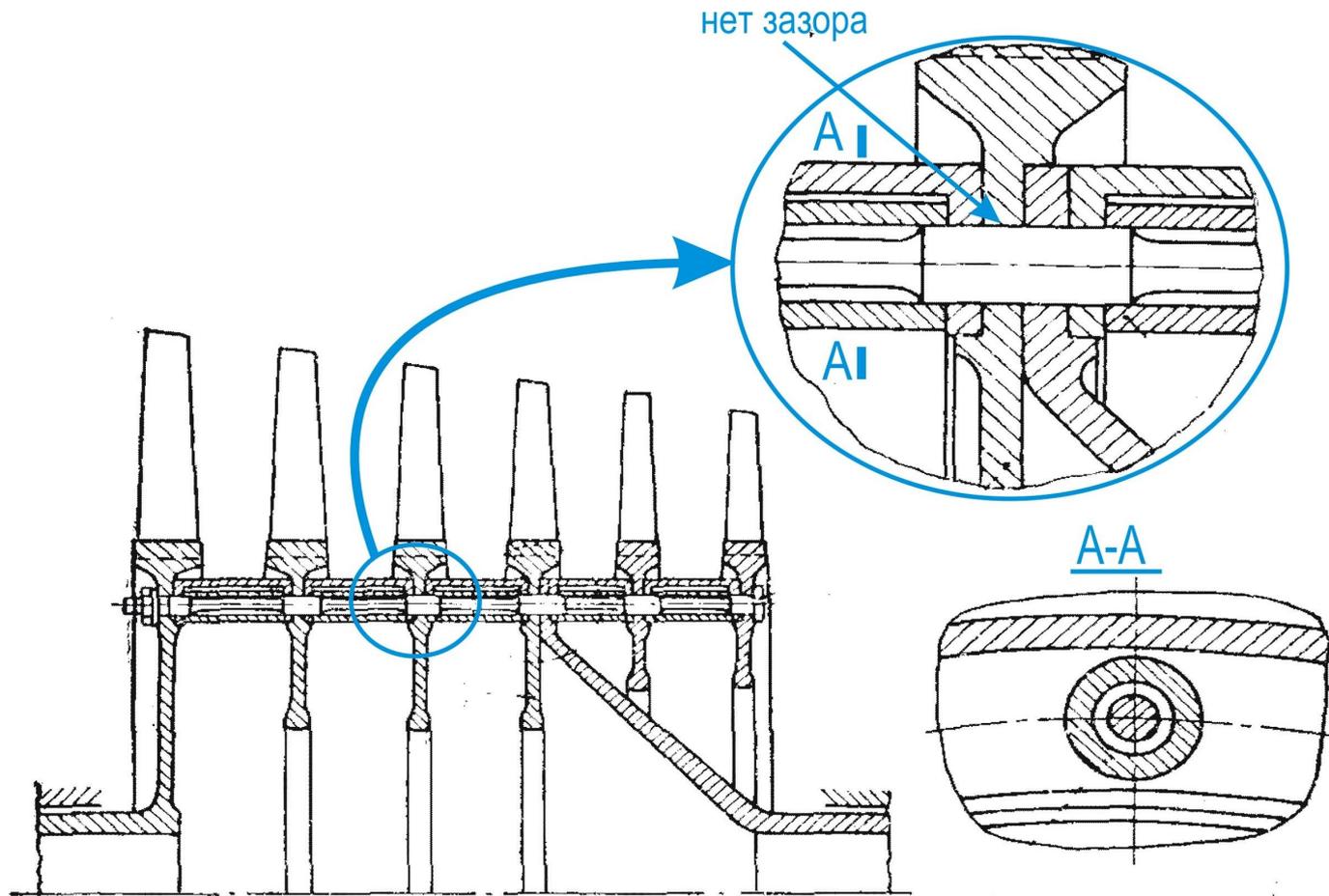


Внецентренное растяжение стяжного болта и его устранение



Ротор компрессора барабанно-дискового типа

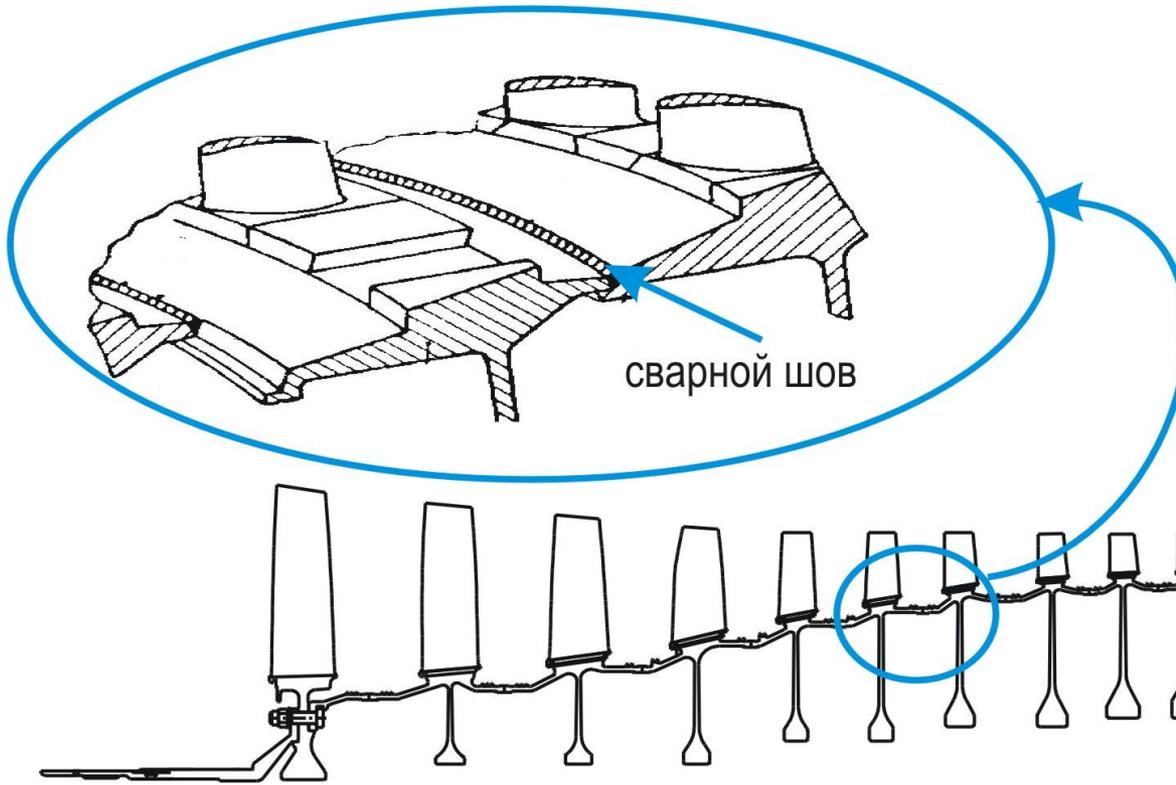
Соединение дисков периферийными стяжными болтами



⊖ сложная сборка

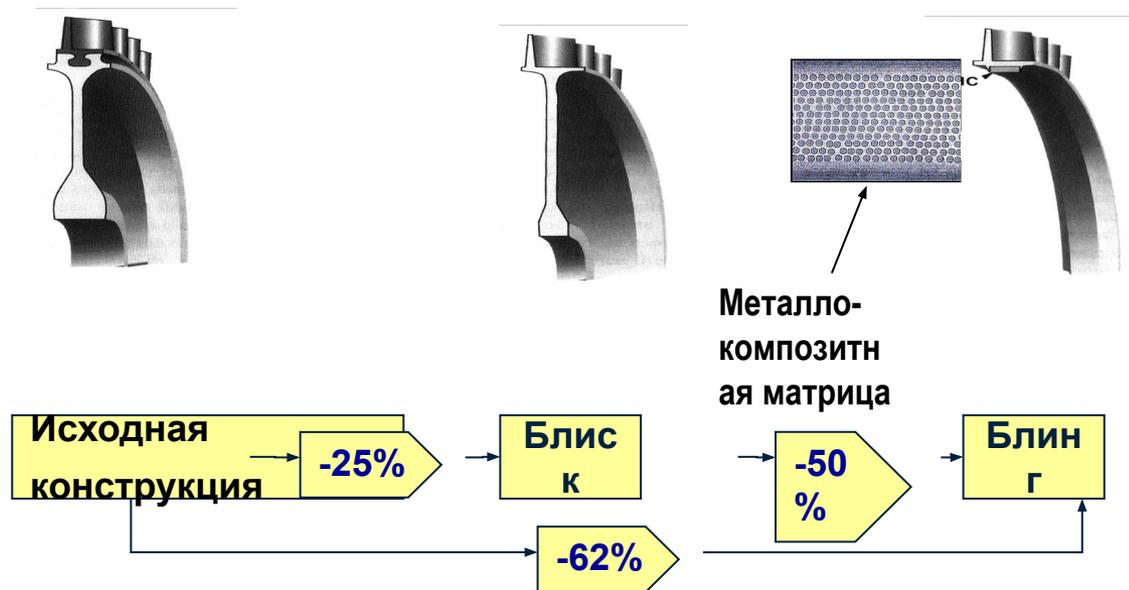
Ротор компрессора барабанно-дискового типа

Сварное соединение дисков



Технология сварки ?

Перспективные конструкции рабочих колес осевых компрессоров



Моноколесо осевого компрессора



- Снижение массы
- Отсутствие замкового соединения

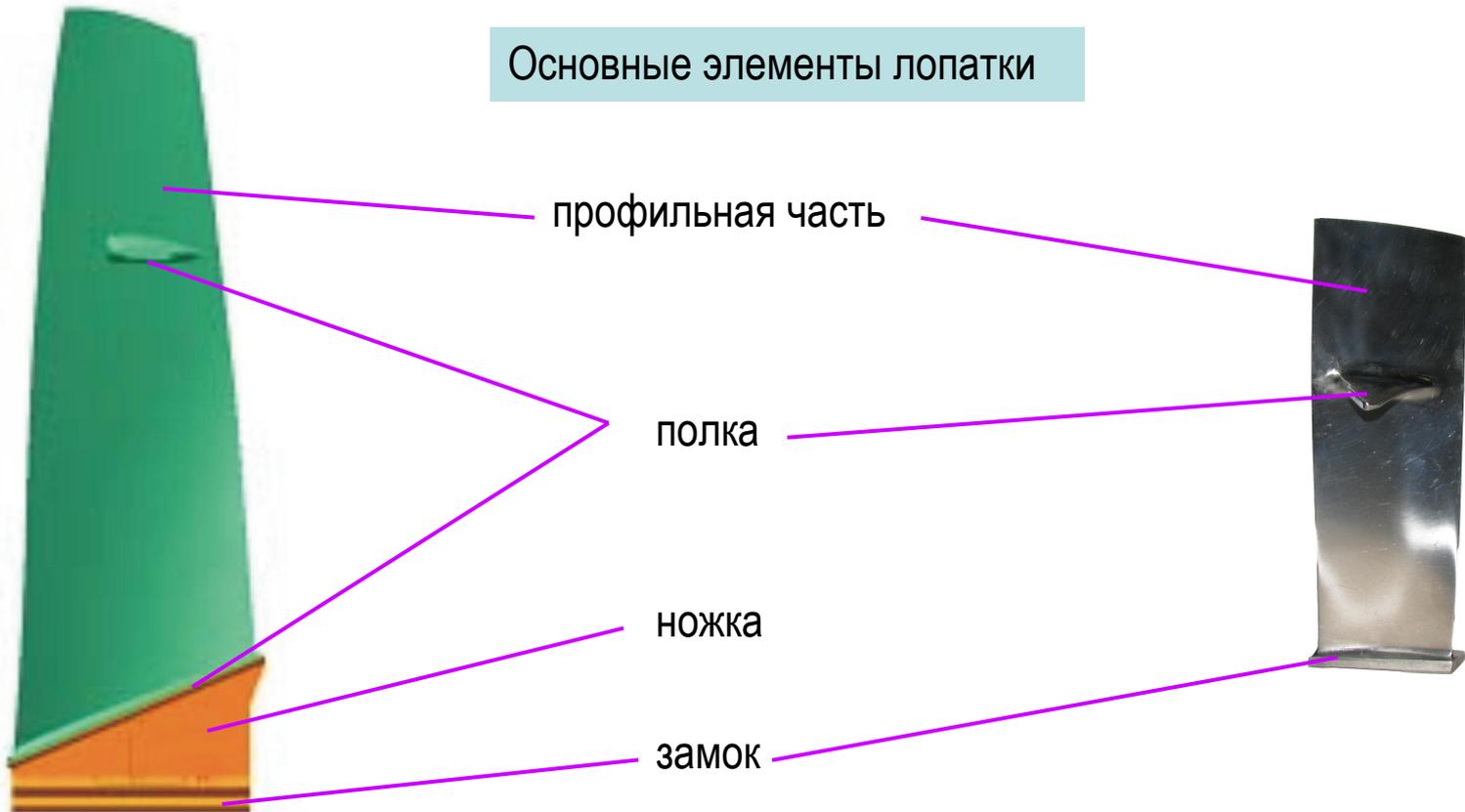


- Технология изготовления
- Технология ремонта

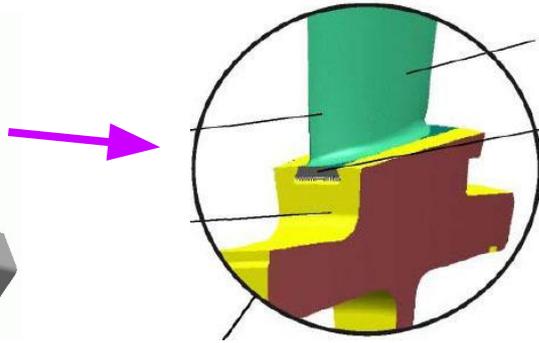
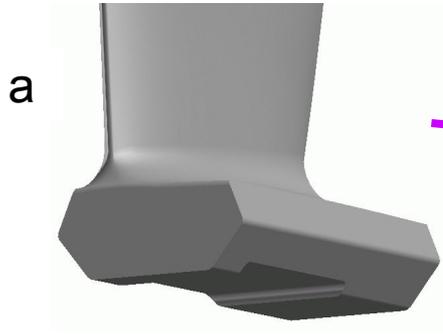
Требования к лопаткам

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

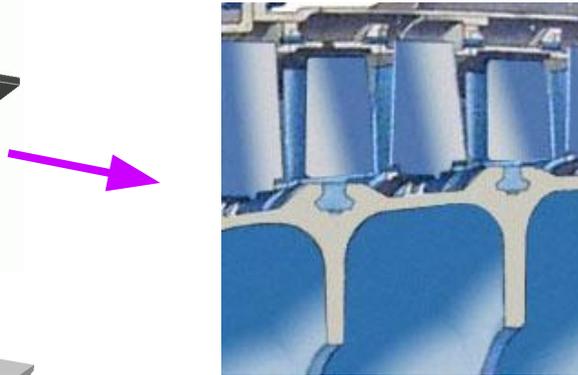
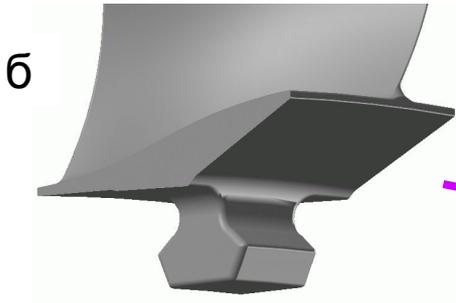
Основные элементы лопатки



Замок типа «ласточкин хвост»



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



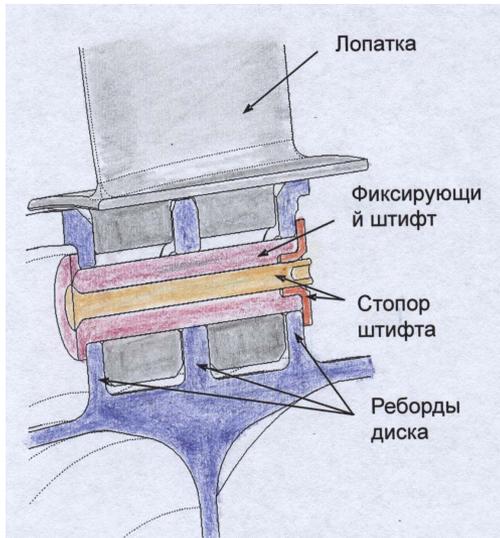
- ⊕ - простота изготовления
- ⊖ - большие окружные размеры
- применим для легких лопаток



Шарнирное крепление



- ⊕ снижение вибраций и напряжений изгиба
- ⊖ •низкая прочность замка
- большие габариты
- большая масса

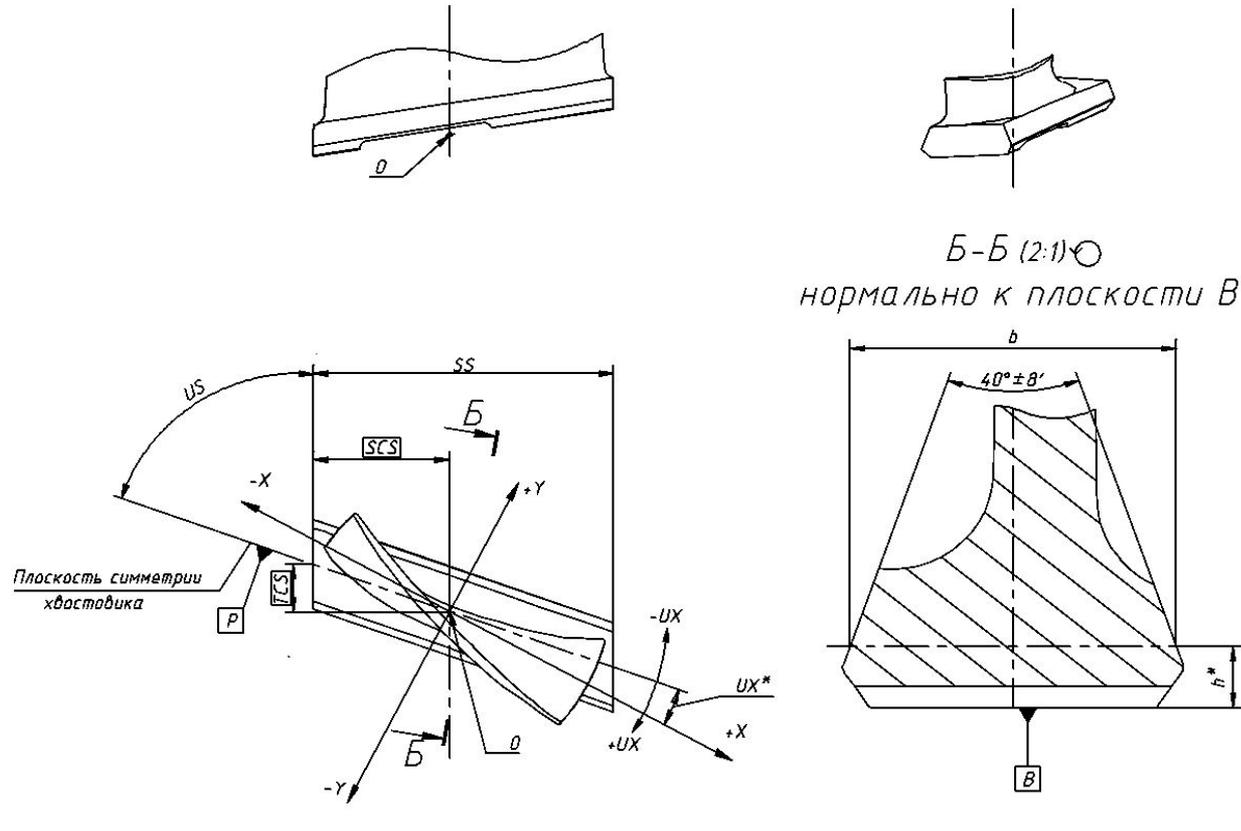


Замок елочного типа



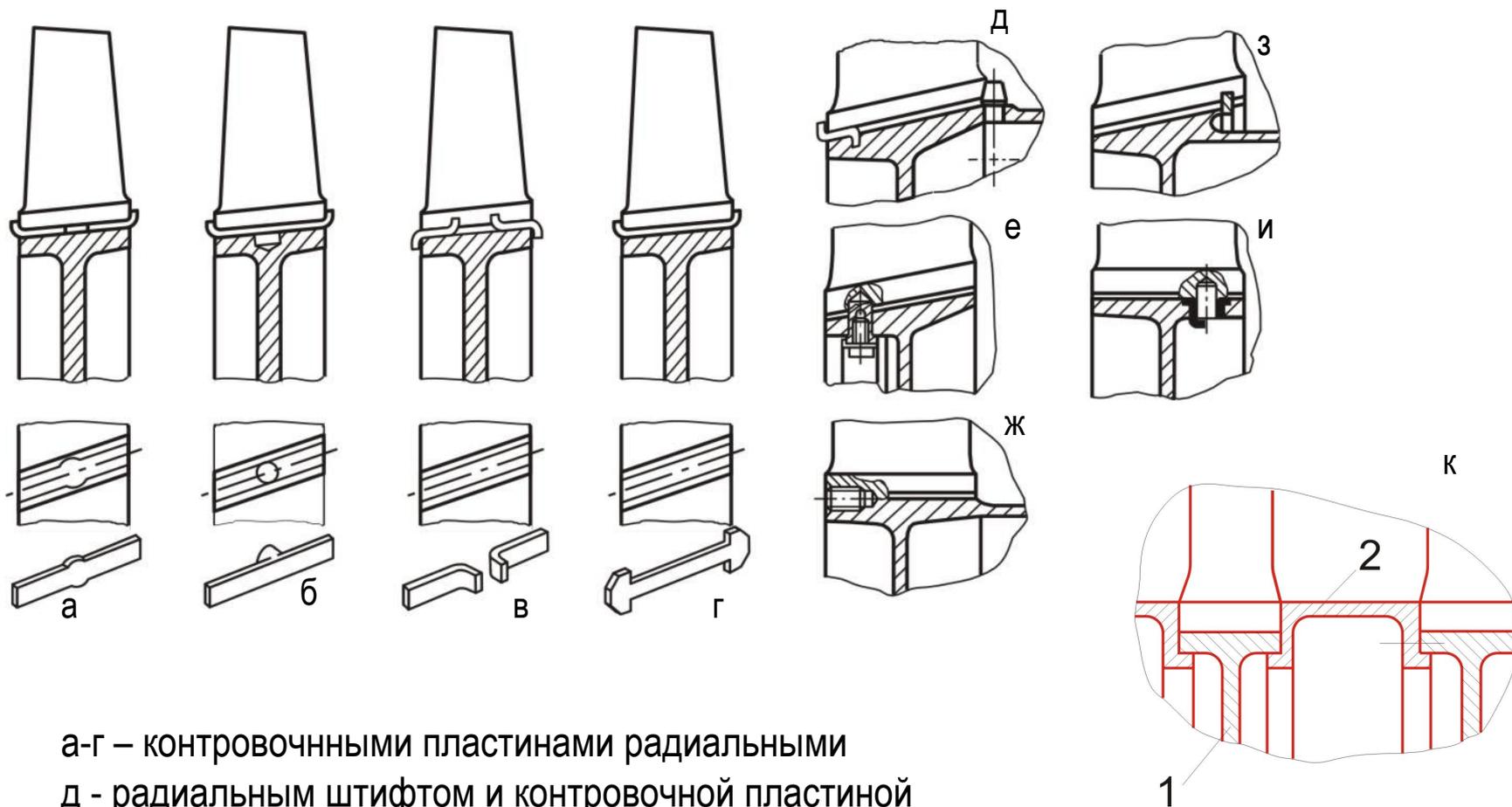
- ⊕ - высокая нагрузочная способность
- минимальные окружные размеры
- ⊖ - требуется высокая точность изготовления

Замок типа «ласточкин хвост» с плоскими рабочими поверхностями



Крепление рабочих лопаток осевых компрессоров

Фиксация лопаток от перемещений в продольных пазах



а-г – контрольными пластинами радиальными

д - радиальным штифтом и контрольной пластиной

е, и – радиальными штифтами

ж - осевыми резьбовыми штифтами

з – разжимными кольцами

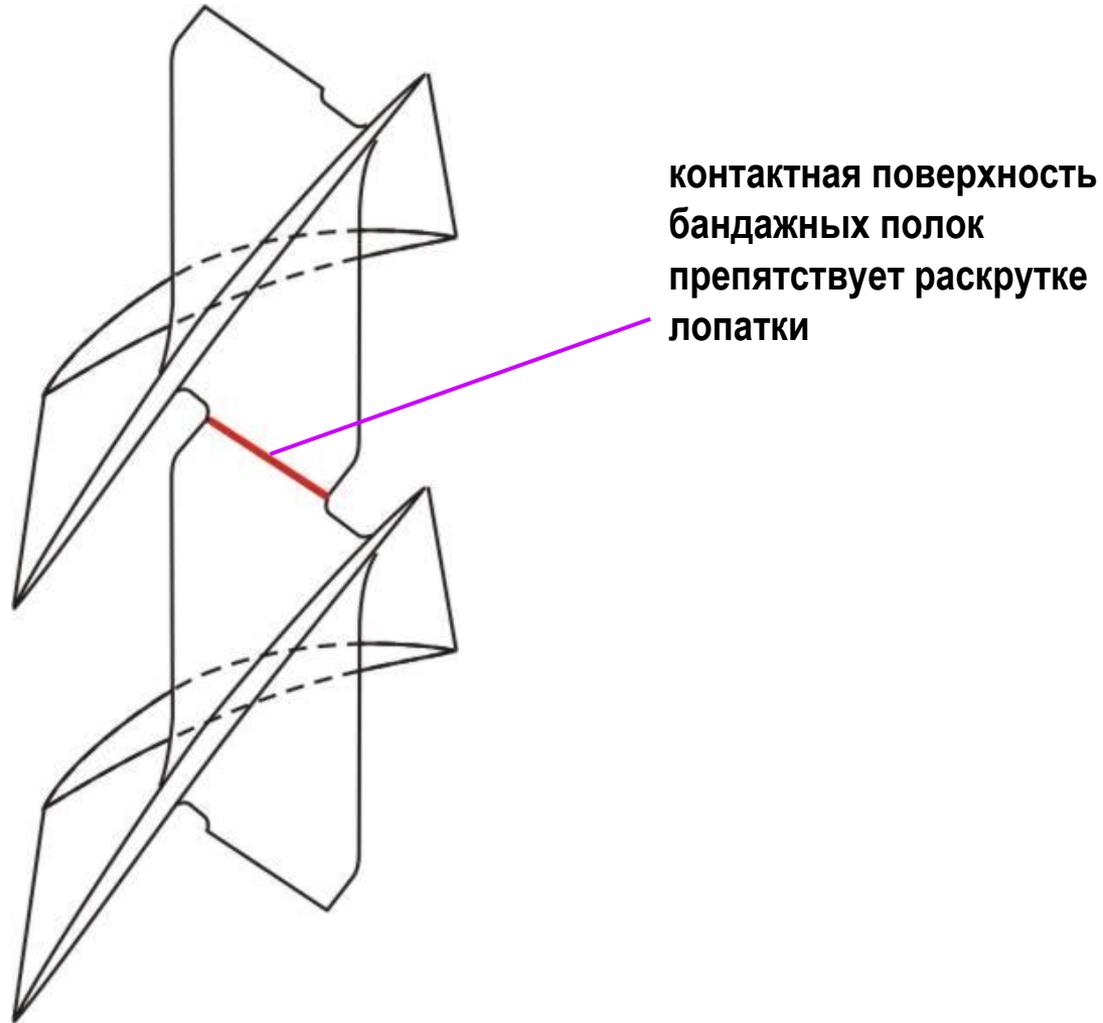
к – соседними сопрягаемыми деталями

Крепление рабочих лопаток осевых компрессоров

Фиксация лопаток от перемещений в кольцевых пазах



Контактные поверхности бандажных полок в бандажном кольце

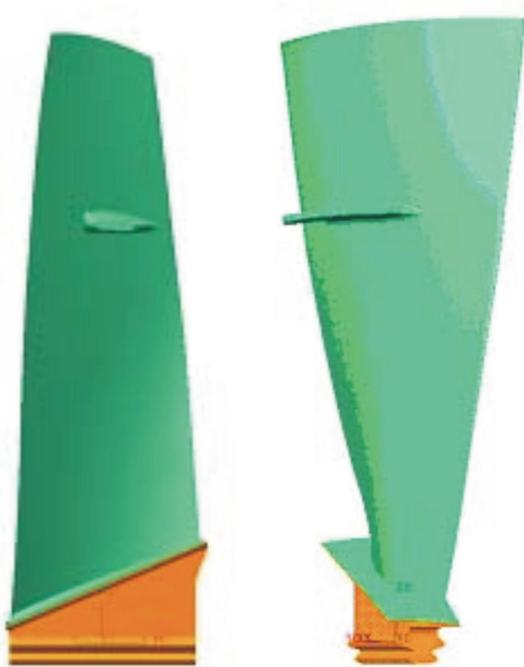


Особенности крупногабаритных лопаток вентиляторов

Крупногабаритные рабочие лопатки вентилятора

Основная проблемы:

- сложная геометрия
- масса
- вибрации

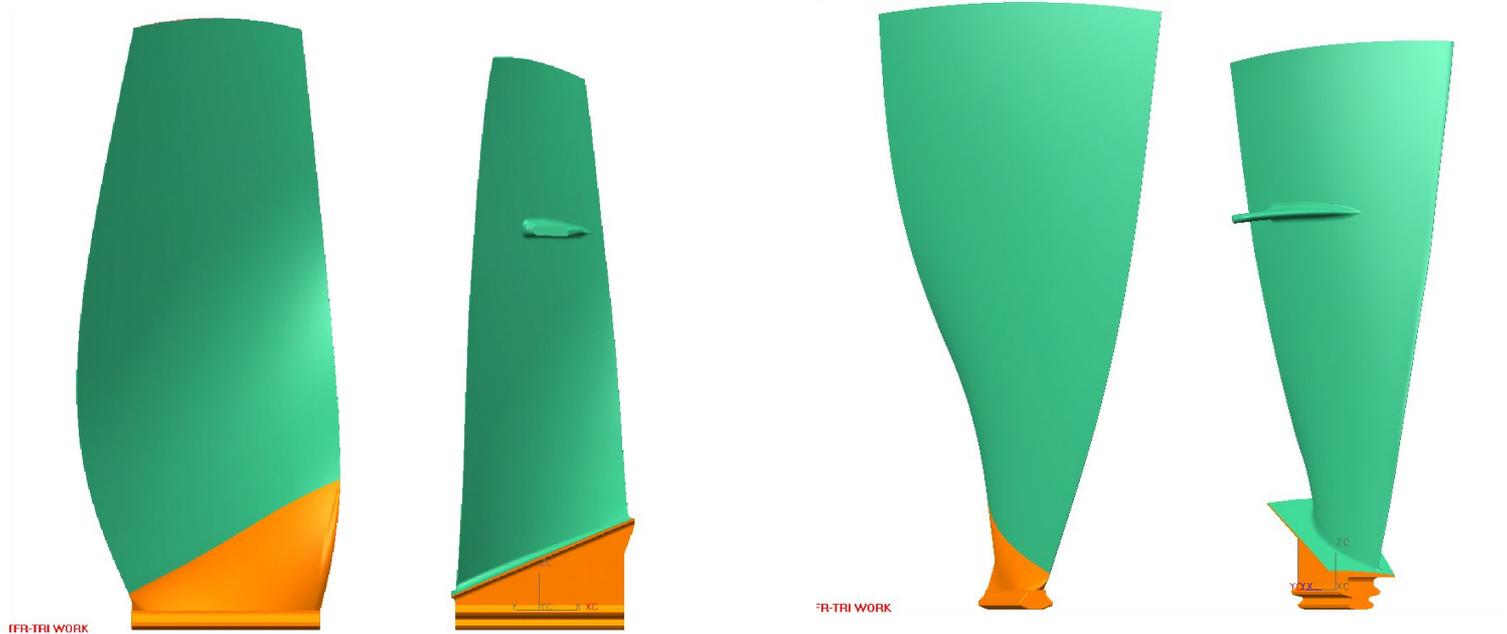


лопатка с антивибрационной полкой



лопатки с антивибрационными полками на двух уровнях.

Широкохордные лопатки вентилятотров



широкохордная лопатка вентилятора в сравнении с полочной



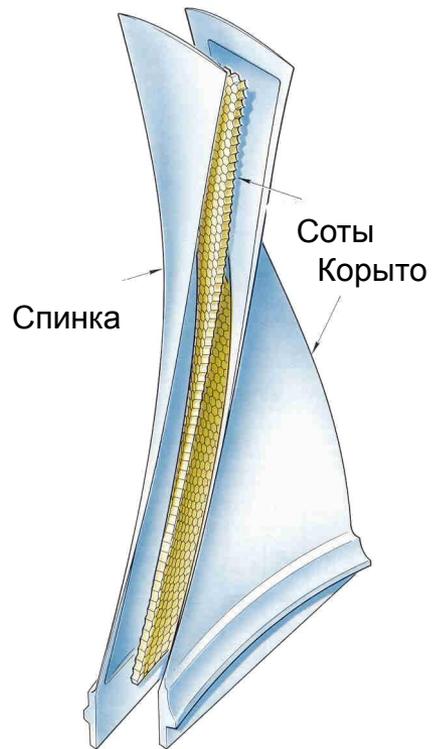
- снижение потерь
- уменьшение кол-ва лопаток
- уменьшение веса
- увеличение жесткости
- снижение повреждаемости



- вибрации (сложность и многообразие собственных форм)
- технология ?

Особенности крупногабаритных лопаток вентиляторов

Пример исполнения полай титановой лопатки с сотовым наполнителем
(двигатель RB-211)



Пример широкохордных лопаток из композиционных материалов



лопатка из углепластика с титановой входной кромкой (JE-90)



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



• технология ?

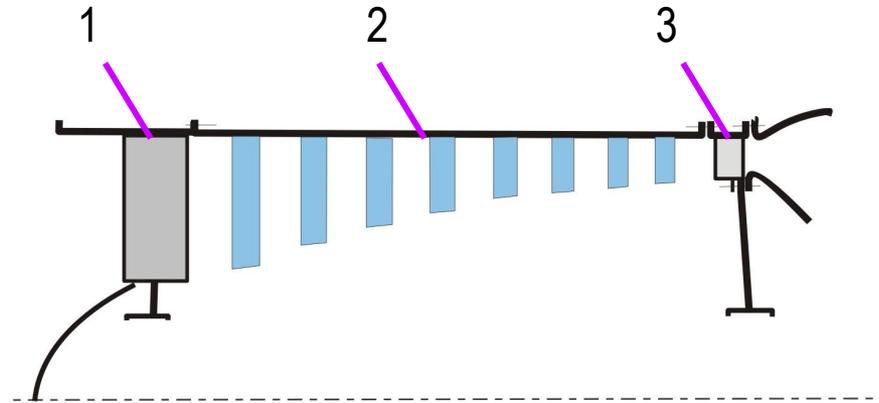
Корпусы осевых компрессоров

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



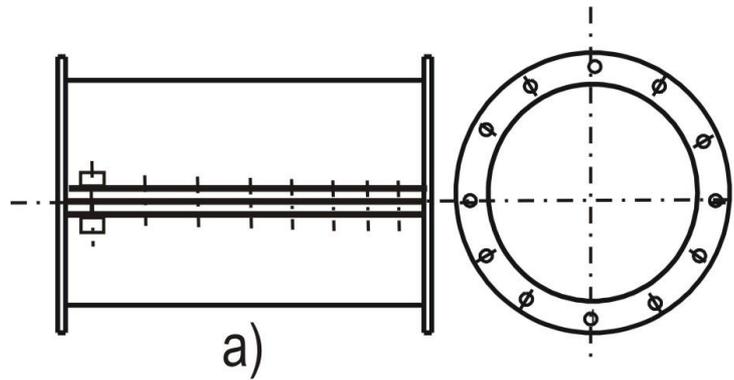
Корпус компрессора состоит из узлов:

- 1 - передний корпус(с узлом опоры);
- 2 - средний корпус с неподвижными и поворотными НА;
- 3 – задний корпус (узлом опоры);

могут быть:

- корпус отборов;
- корпус перепусков;
- корпус ВНА

Типы корпусов

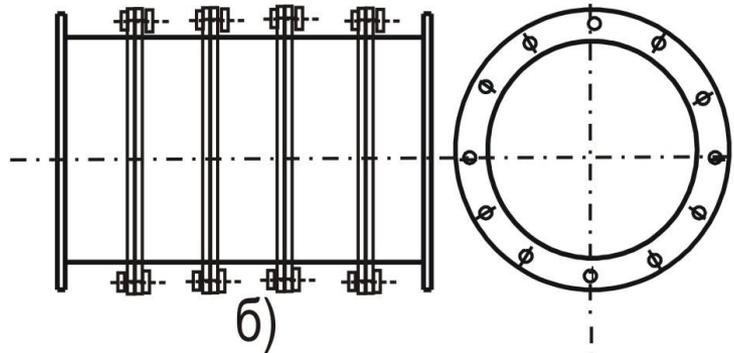


а)

С разрезами в меридиональной плоскости

⊕ удобство сборки

⊖ «овализация»



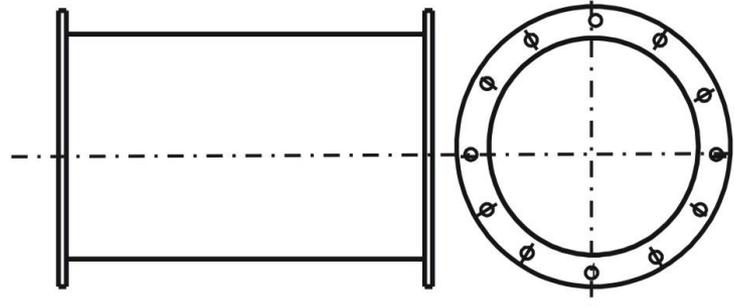
б)

С поперечными разрезами

⊕ удобство сборки

⊖ •СЛОЖНОСТЬ

•ВЕС



в)

Без разрезов

⊕ •мин.зазоры

•высокий КПД

•снижение веса

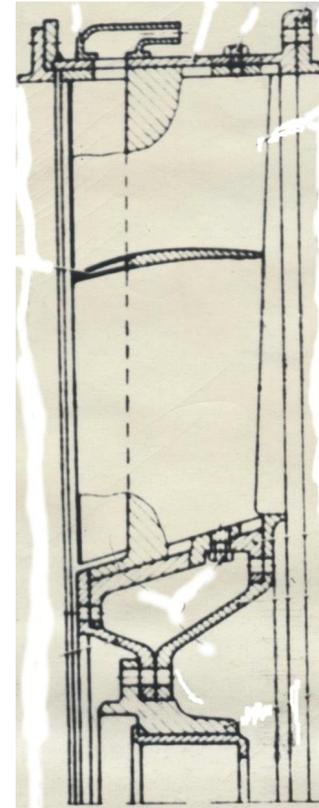
⊖ сложность сборки

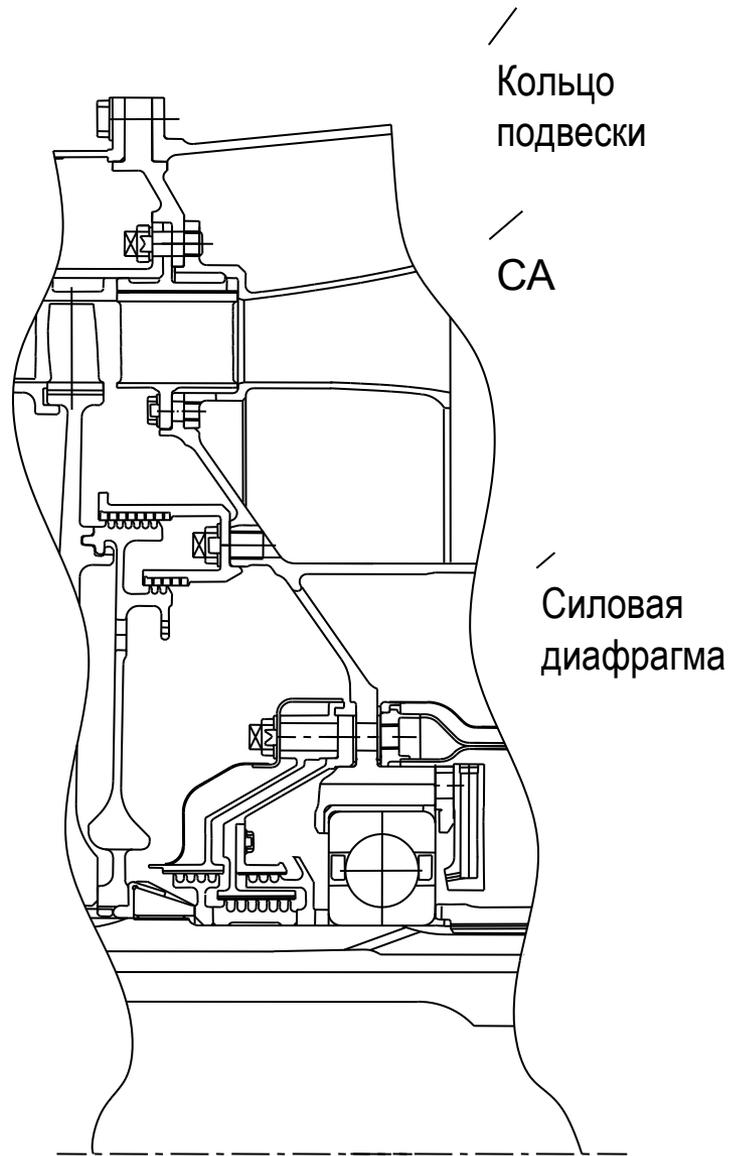
Передний корпус с узлом передней опоры

силовые
лопатки ВНА



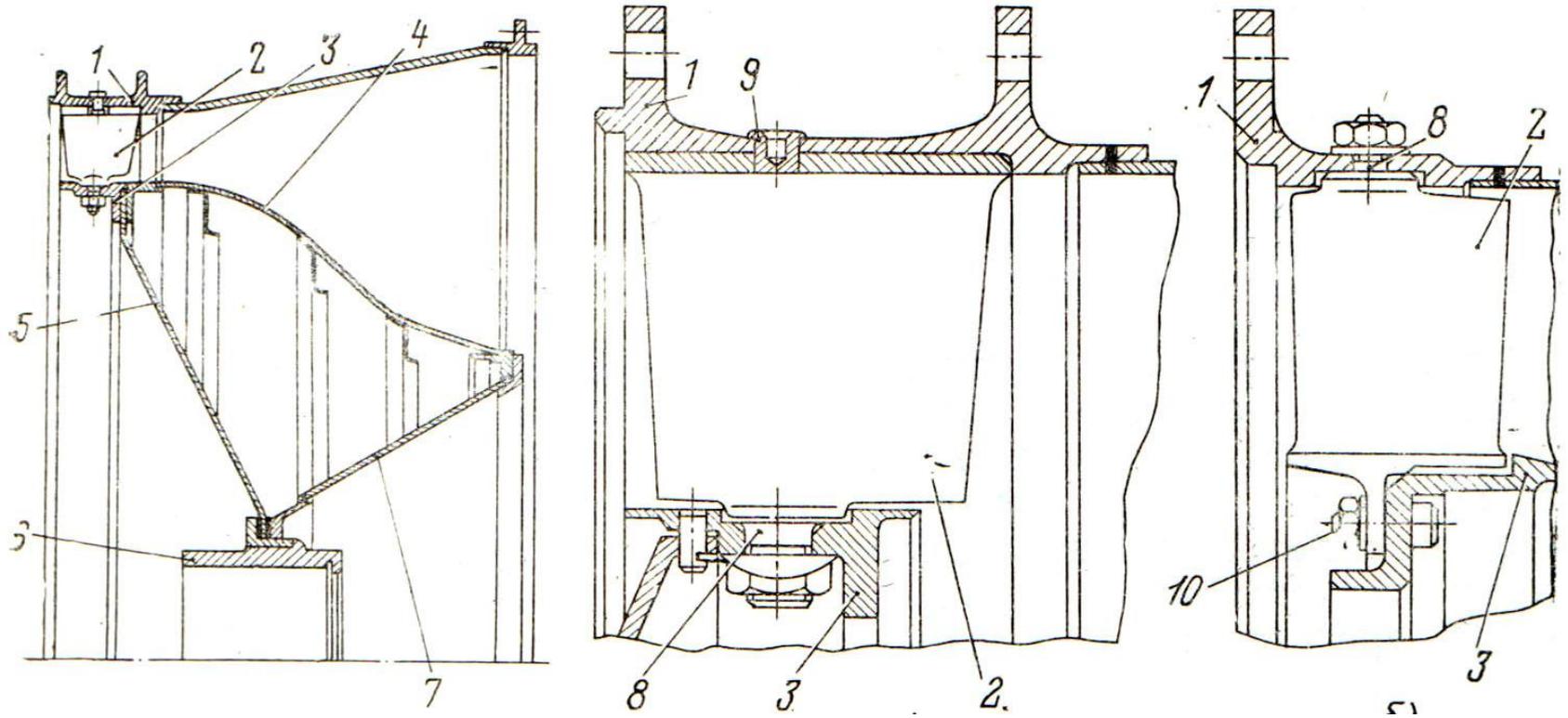
регулируемая
выходная
кромка





**Задний корпус
с узлом задней опоры**

Задний корпус с узлом задней опоры



Средний корпус (корпус направляющих аппаратов) с неподвижными лопатками НА

Крепление направляющих лопаток

с секторами двухпорных лопаток

с консольными лопатками с кольцевым замком

⊕ жесткость

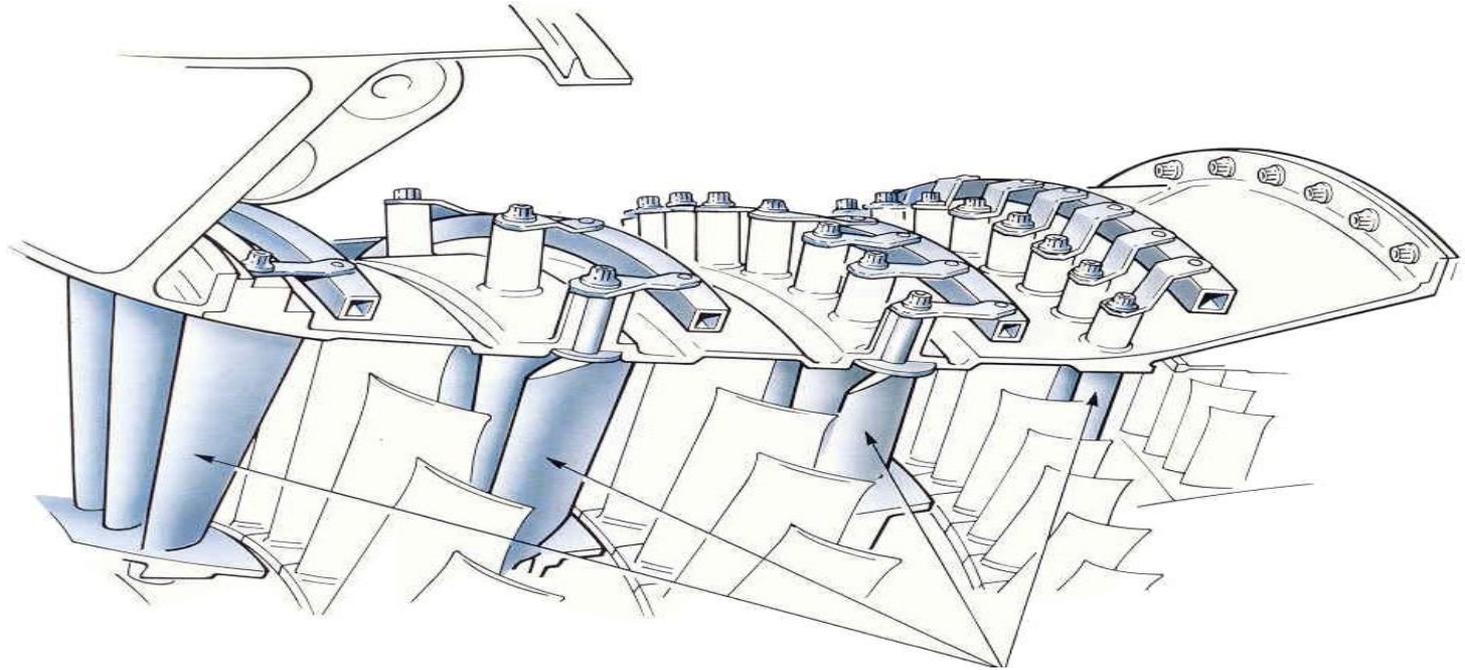
⊖ свобода тепловых расширений?



⊕ простота

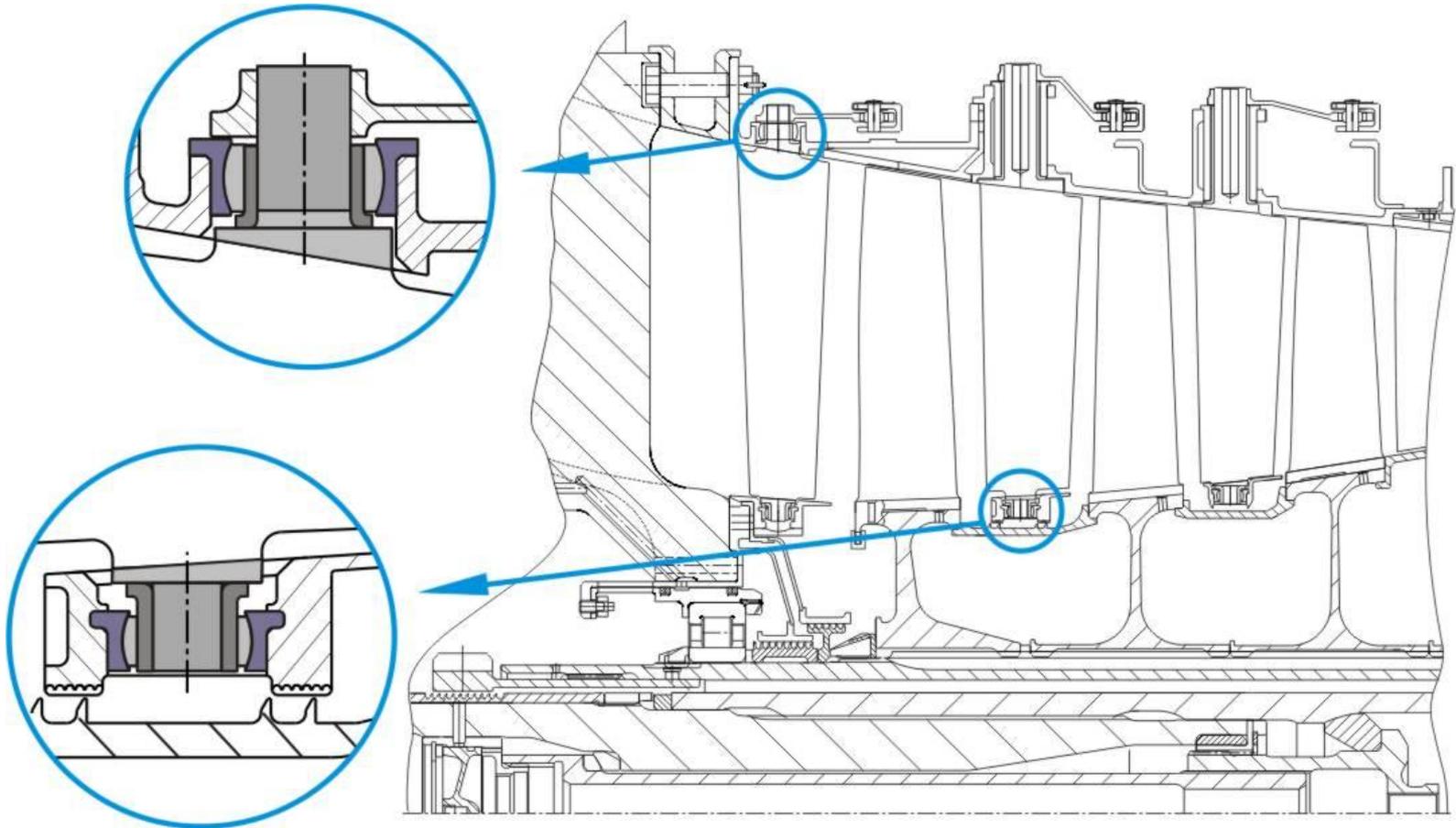
⊖ вибрации

Корпус с регулируемыми лопатками НА

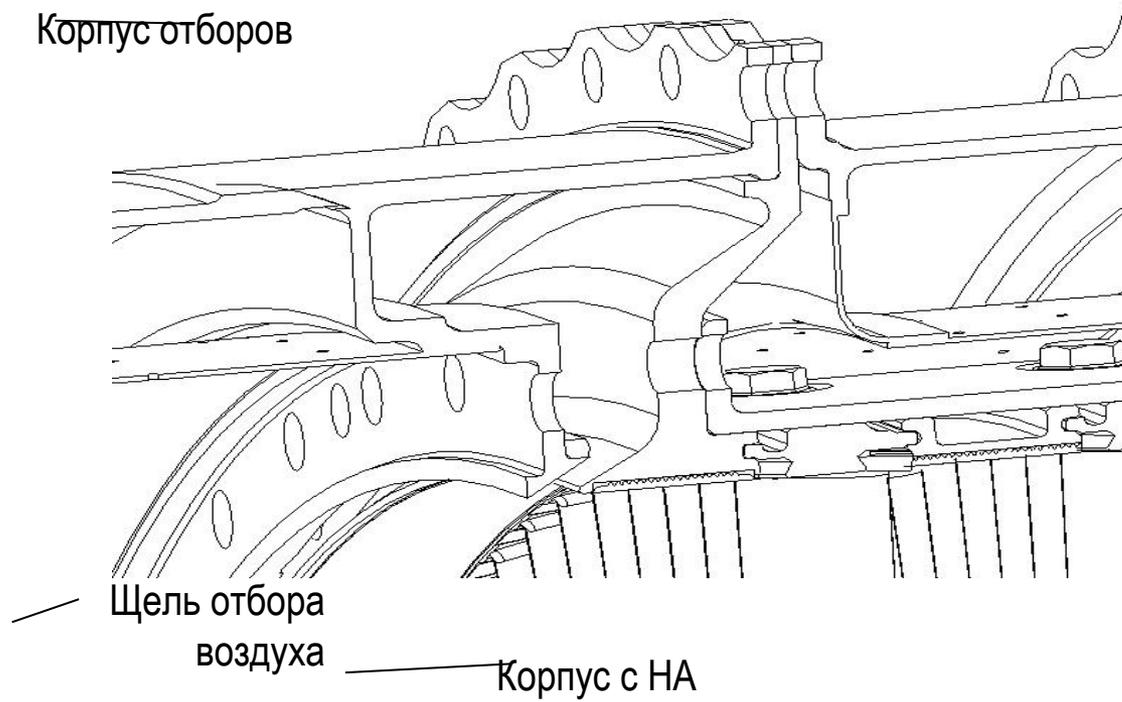


Регулируемые НА

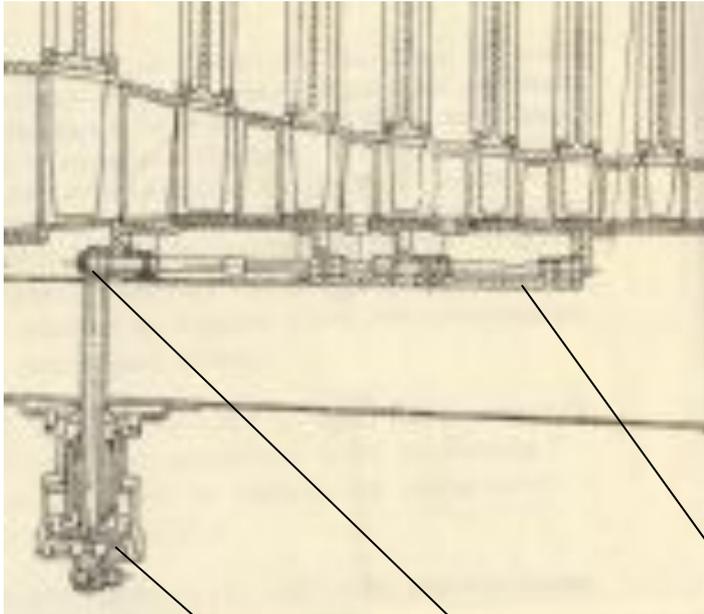
Шарниры лопаток в поворотном направляющем аппарате



Корпус отборов

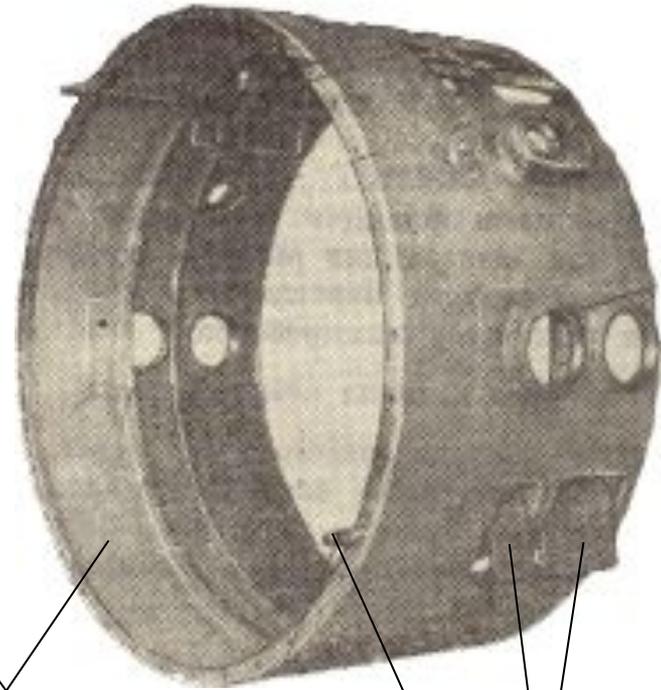


Корпус перепуска воздуха



Гидроцилиндр

Рычаг



Корпус перепуска
воздуха

Ось

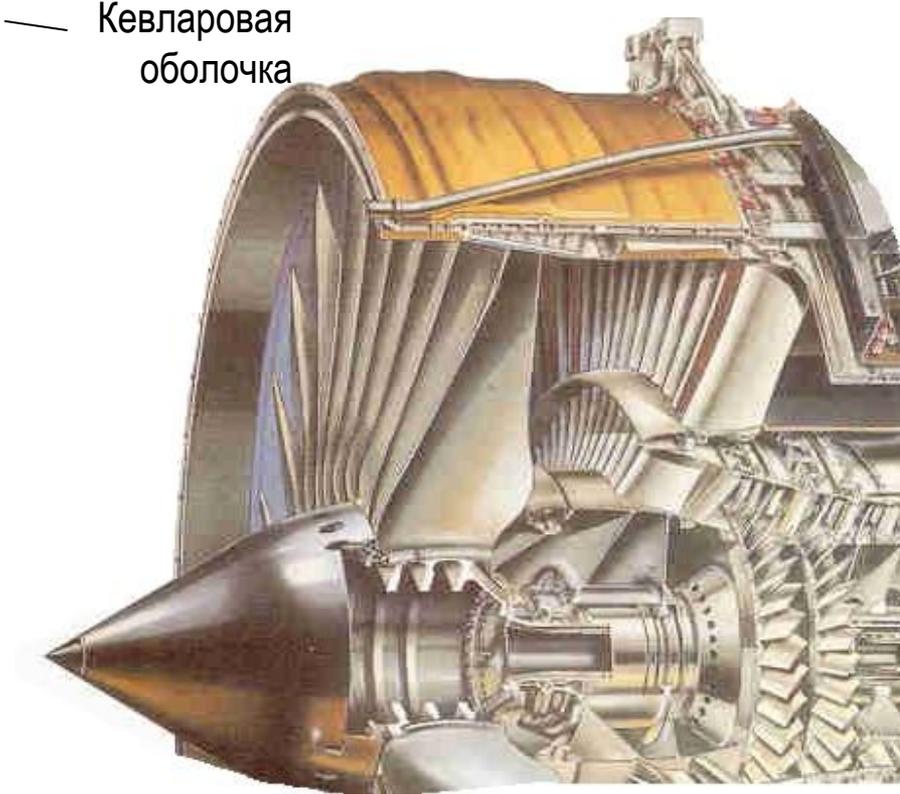
Дроссельные
заслонки

Корпус вентилятора

Trent 800

Алюминиевый корпус-матрица

Кевларовая оболочка



Противообледенительная система

Обогреваемый
воздухозаборник

Обогреваемые лопатки ВНА

NOSE CONE

Регулятор
давления

Обогреваемый
кок

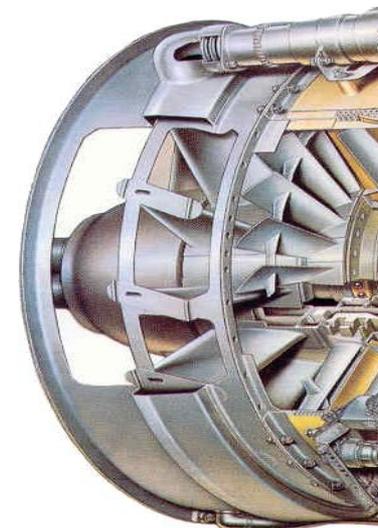
AIR INTAKE MANIFOLD

Воздушный
коллектор

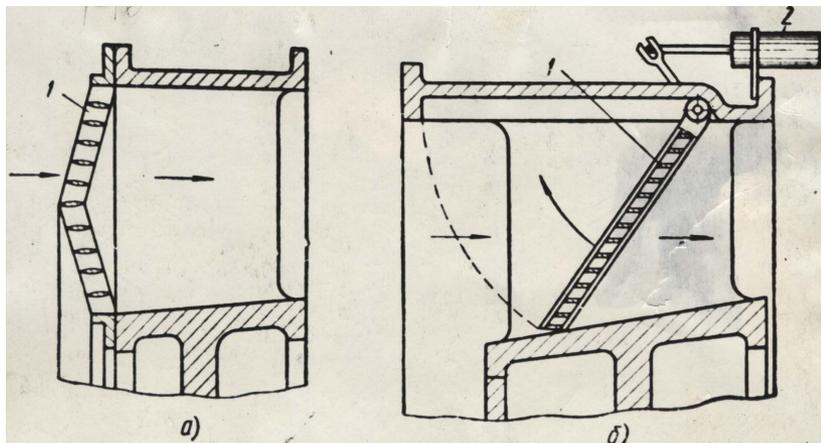
Трубопровод подвода
воздуха

Подвод
воздуха на
обогрев

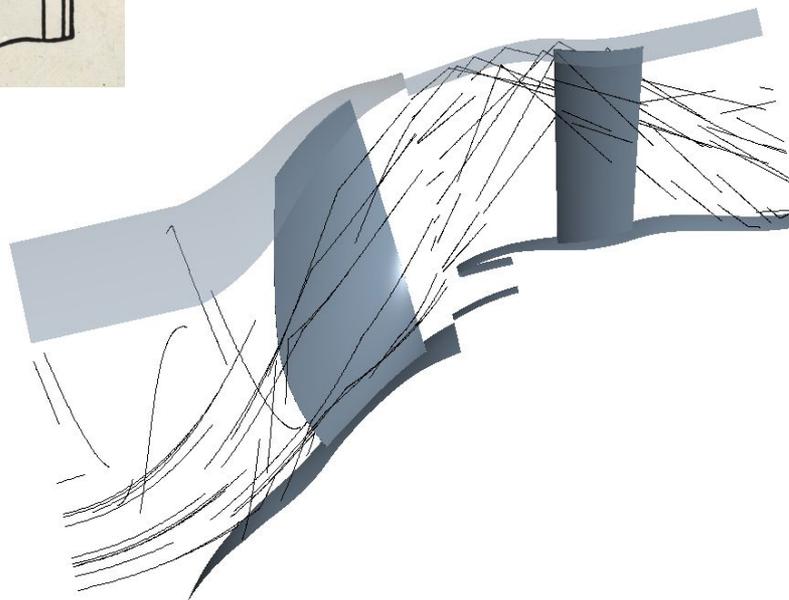
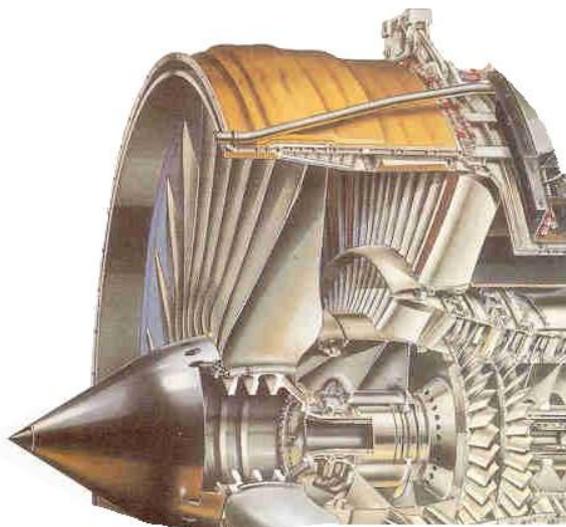
Канал
обогрева
входной
кромки



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

Механические характеристики

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

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)

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)