KVIHT.RU
+7 (812) 715-41-64

@KVIHT

Научно-инжиниринговая группа
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»

Курс лекций **Блок 2**

Центробежные компрессорные машины

Лектор: Юрий Владимирович Кожухов, доцент, к.т.н.

Больше информации о компрессорной технике на сайте научно-инжиниринговой группы
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»
www.kviht.ru тел. +7(812) 715-41-64

Содержание

1. Историческая справка
2. Принцип действия центробежного компрессора. Области применения
3. Описание конструкции.
4. Основные элементы ступеней центробежных компрессоров
5. Системы уплотнений центробежных компрессоров
6. Подшипники центробежных компрессоров
7. Техническое обслуживание центробежных компрессоров
8. Основные производители центробежных компрессоров

1. Историческая справка

Леонард Эйлер (1707-1783гг), Даниил Бернулли (1700-1783гг) – заложили фундамент для дальнейшего исследования турбомашин. 1754- уравнение Эйлера.

1832 г. – горным инженером генерал-лейтенантом Александром Александровичем Саблуковым (1783-1857 гг) внедрен первый работоспособный центробежный вентилятор.

Конец 19 века – создание электродвигателя.

1900 г – Огюст Рато – первый промышленный центробежный компрессор (основатель фирмы Rateau, Франция) . Компрессор для подачи воздуха в доменные печи.

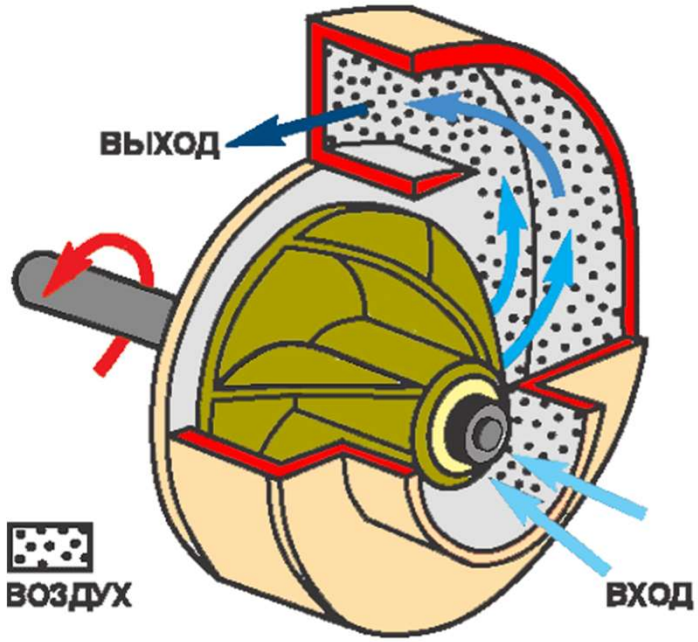
После 1906 г. Начинается активный выпуск ЦК.

Ориентировочно до 1910 г. ЦК выпускали относительно небольшой производительости (50-200 куб.м. в минуту) С 1910 года выпускаются машины с внутренним охлаждением.

1930 г. – компрессоры используются для сжатия самых разнообразных газов.

2. Принцип действия центробежного компрессора. Области применения

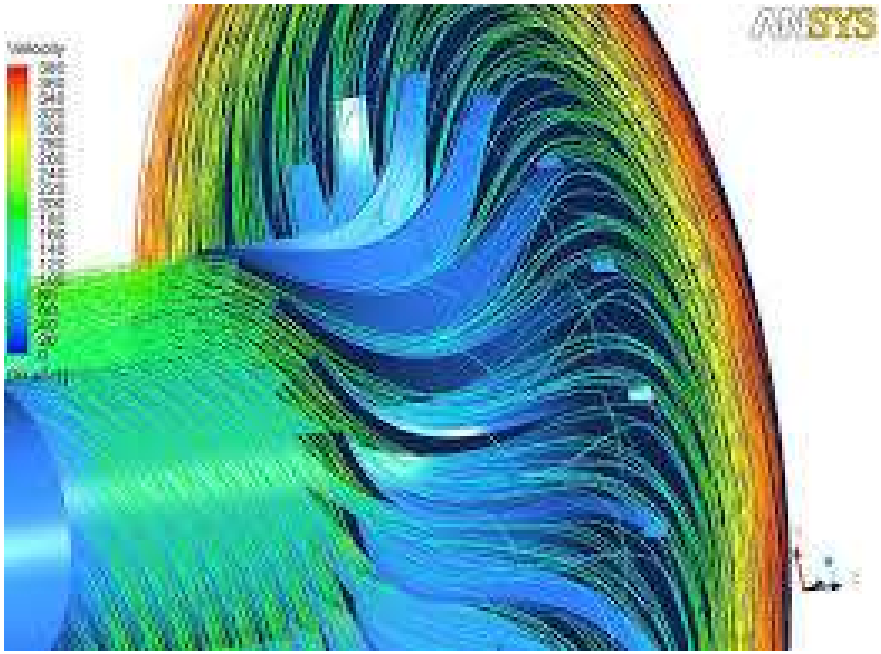
Принцип действия центробежного компрессора - динамический процесс сжатия, основан на использовании сил инерции в движущемся потоке газа в результате силового воздействия на него вращающейся лопаточной решетки рабочего колеса компрессора.



В компрессорах **центробежного типа** движение рабочего тела осуществляется от центра к периферии. При этом линии тока на выходе располагаются в плоскостях, перпендикулярных оси лопаточной машины.

Силовое воздействие лопаточной решетки центробежного рабочего колеса создает приращение полной энергии газового потока, включающей в себя приращение потенциальной энергии, при повышении давления, кинетической, при повышении скорости и затрату на потери.

В неподвижных элементах проточной части, в безлопаточном и лопаточном диффузорах, осуществляется преобразование кинетической энергии потока в потенциальную энергию, обеспечивая заданное повышение статического давления на выходе из компрессора.



Центробежные компрессоры используются:

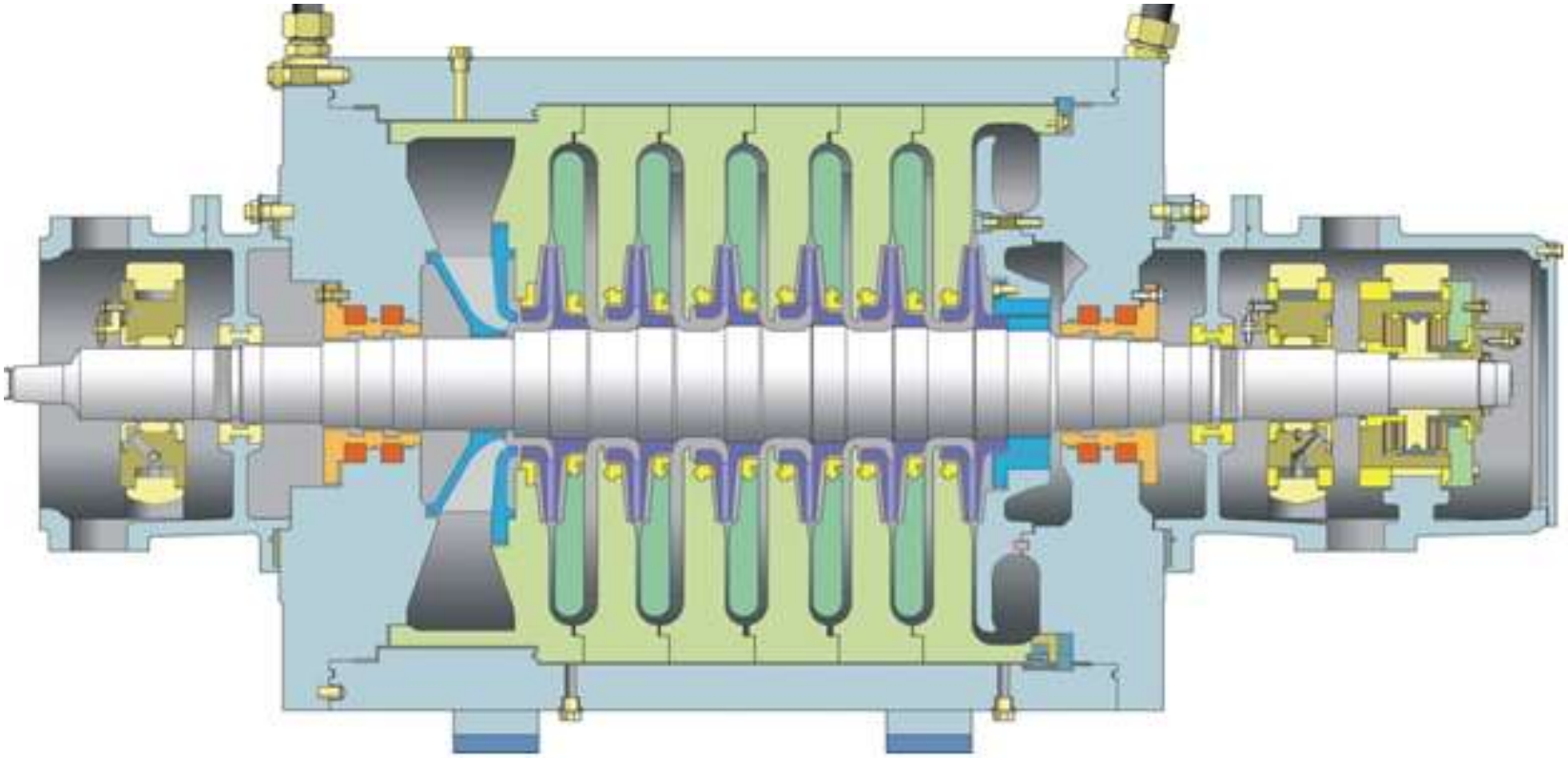
-в химической и нефтехимической промышленности при производстве этилена и пропилена, ароматических углеводородов, при сжижении газа, для сжатия водорода, CO, метанола, аммиака и тд.
-в переработке нефти на установках каталитического крекинга, печах риформинга, при сероочистке.
-при переработке природного газа на установках для сжижения газа, газоперерабатывающих установках.
-для механического сжатия паров (для уплотнения паров создаваемых маточной жидкостью, повышая и давление, и температуру) при опреснении морской воды и в целлюлозно-бумажной промышленности.
-для улавливания и хранения углекислого газа. CO2 улавливают непосредственно у источника, не допуская выброса в атмосферу, а затем транспортируют в заданное место.
-в энергетике для нагнетания топливных газов, удаление серы из топочных газов, подачи воздуха при продувке сажи, для подачи технологического воздуха, в качестве воздушных компрессоров пневмораспыла для газовых турбин.

Главное достоинство центробежного компрессора по сравнению с осевым – **возможность получать большие значения степени сжатия в одной ступени.** Зачастую, она превышает величину 5…6, а в перспективных авиационных компрессорах может достигать величины 12. КПД ступени центробежного компрессора может достигать значения 0,85, что меньше чем в осевом. Величины КПД близкие к названной величине характерны для компрессоров авиационных ГТД относительно большой производительности.

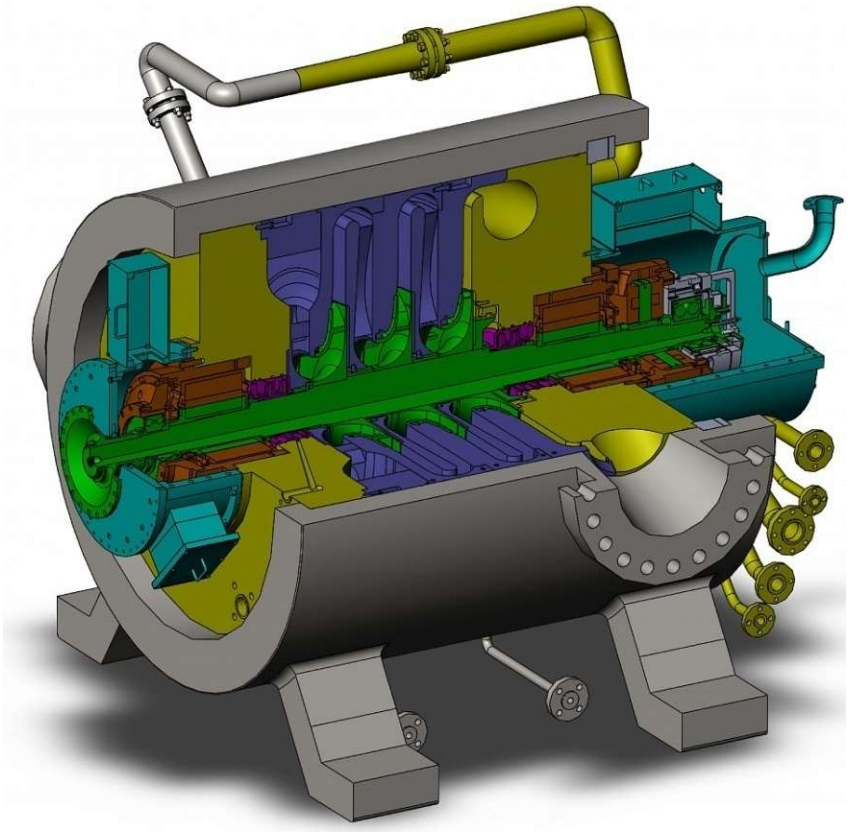
3. Описание конструкции.

Центробежные компрессоры могут быть как одноступенчатыми, так и много ступенчатыми. В последних сжатие газа производится в несколько последовательных стадий (ступеней), которые могут быть промежуточными и концевыми. Сжатый газ из промежуточной ступени поступает в следующую ступень без предварительного охлаждения.

Ступени из которых газ поступает в промежуточный или в конечный охладитель перед подачей в напорную систему, называются концевыми.



Группа ступеней, ограниченная входным и выходным патрубками образует секцию. Секции размещаются в корпусах – цилиндрах, имеющих самостоятельные подшипники. В одном цилиндре может быть размещена одна или несколько секций. Максимально возможное число ступеней в одном цилиндре определяется условиями динамической прочности ротора. Обычно число ступеней в цилиндре не превышает 6 – 8.



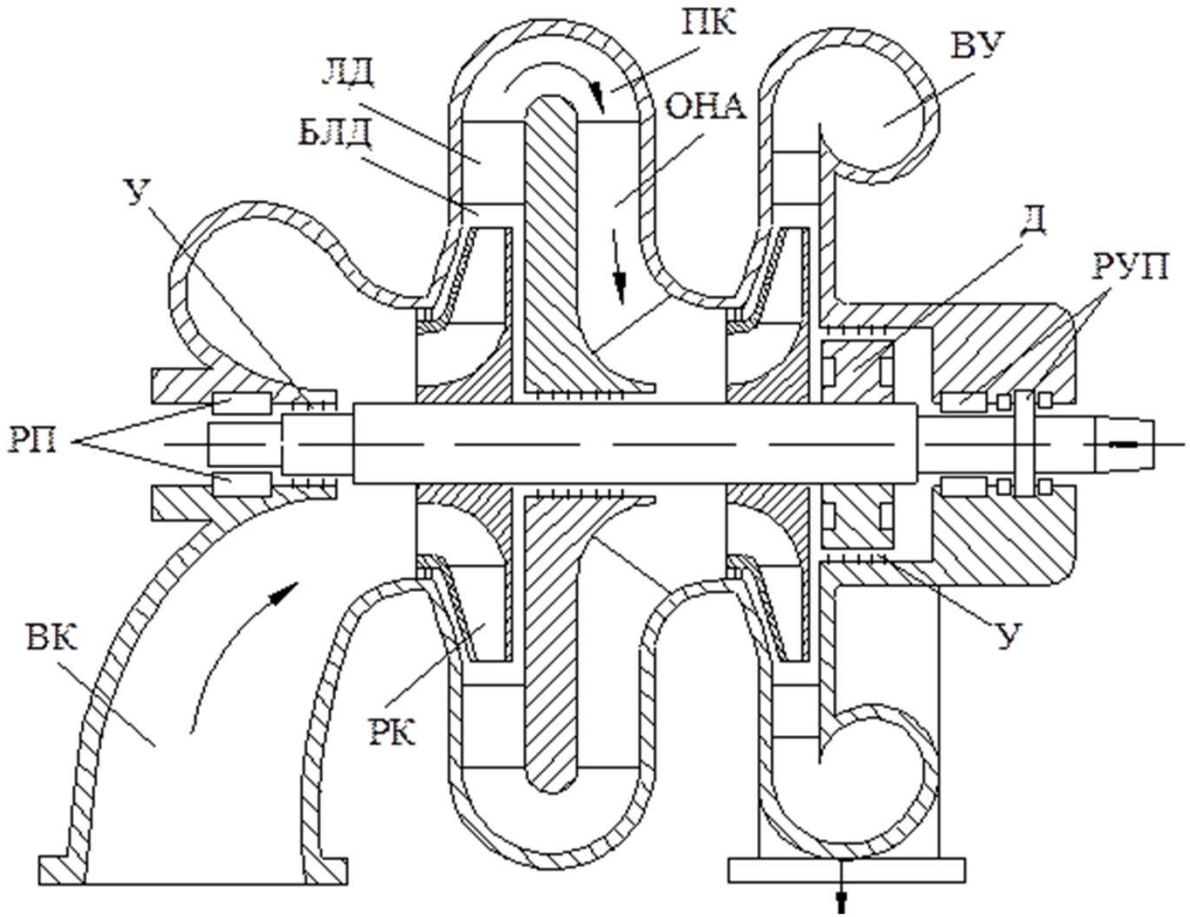
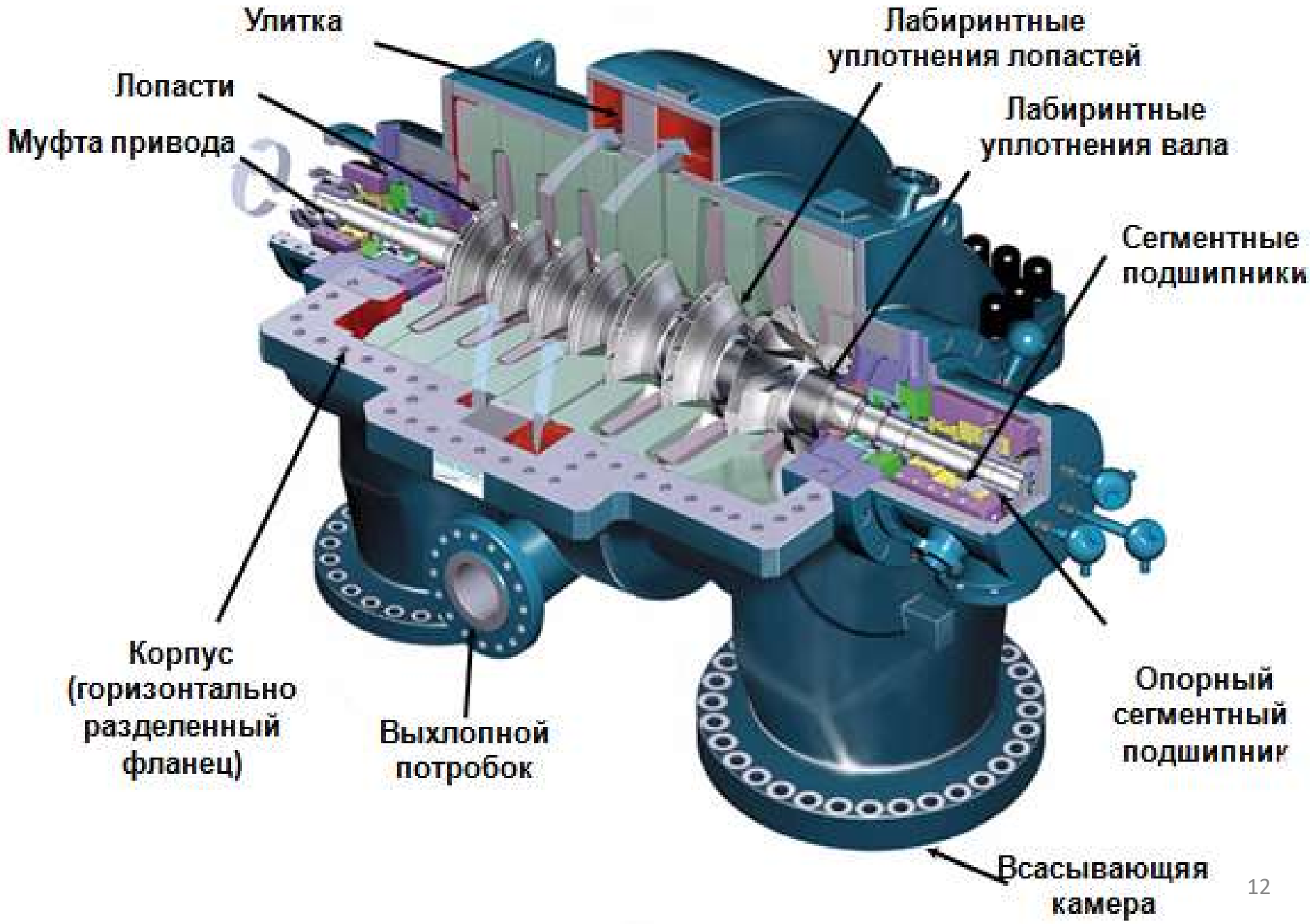


Схема центробежного компрессора: ВК – всасывающая камера; БЛД – безлопаточный диффузор; ЛД – лопаточный диффузор; ПК – поворотное колено; ОНА – обратно-направляющий аппарат; ВУ – выходное устройство; Д – думмис

Концевая ступень заканчивается выходным устройством (ВУ), в качестве которого могут применяться улитки (с переменным по углу разворота поперечным сечением) или сборные камеры, у которых сечение постоянно по углу разворота. Выходное устройство собирает поток, выходящий из ЛД (БЛД) в радиальном направлении и направляет его в нагнетательный патрубок. Кроме того, в ВУ (обычно в улитках) поток газа может дополнительно тормозиться.


Улитка
Лопасти
Муфта привода
Лабиринтные уплотнения лопастей
Лабиринтные уплотнения вала
Сегментные подшипники
Корпус (горизонтально разделенный фланец)
Выхлопной потробок
Опорный сегментный подшипник
Всасывающяя камера

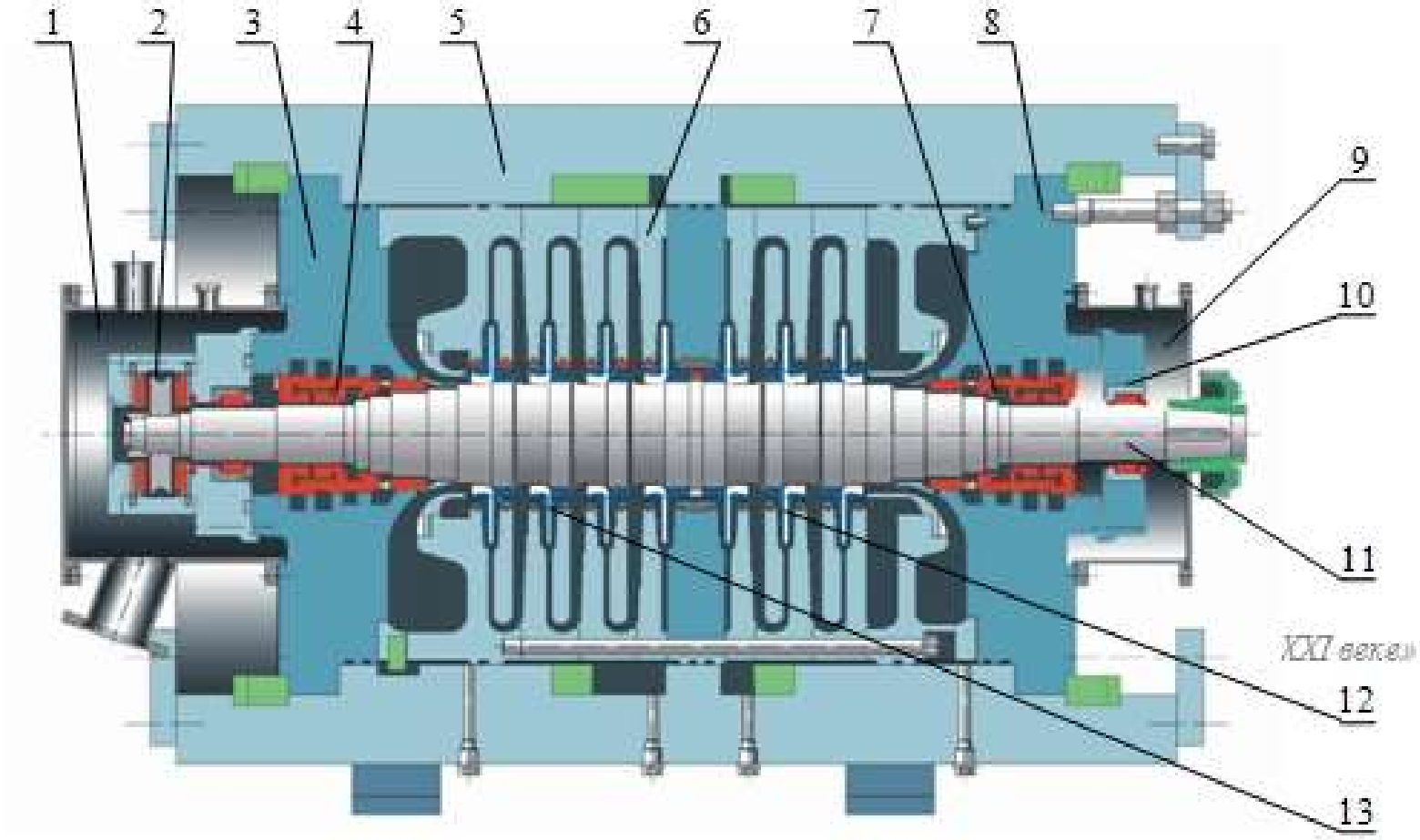
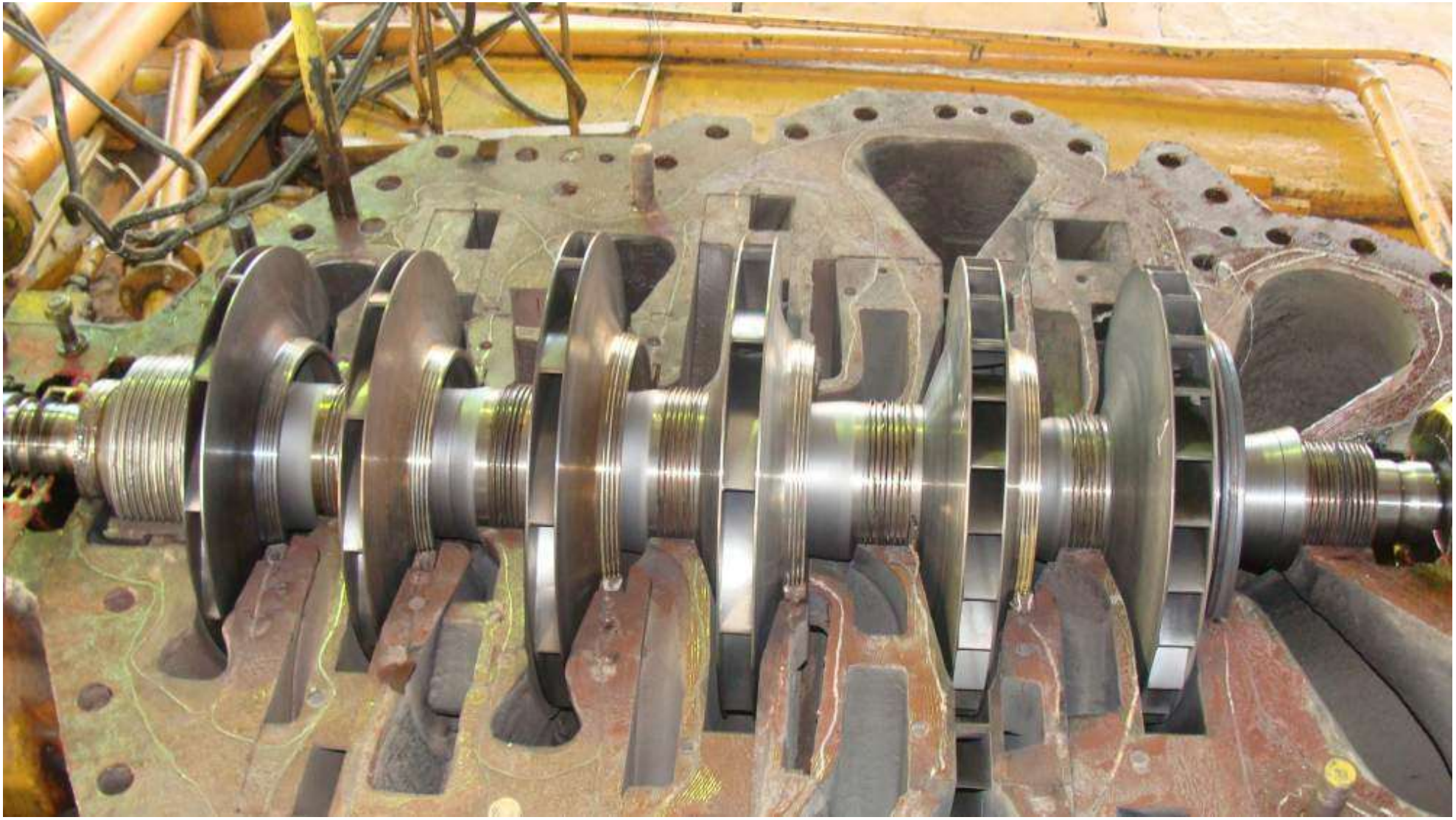
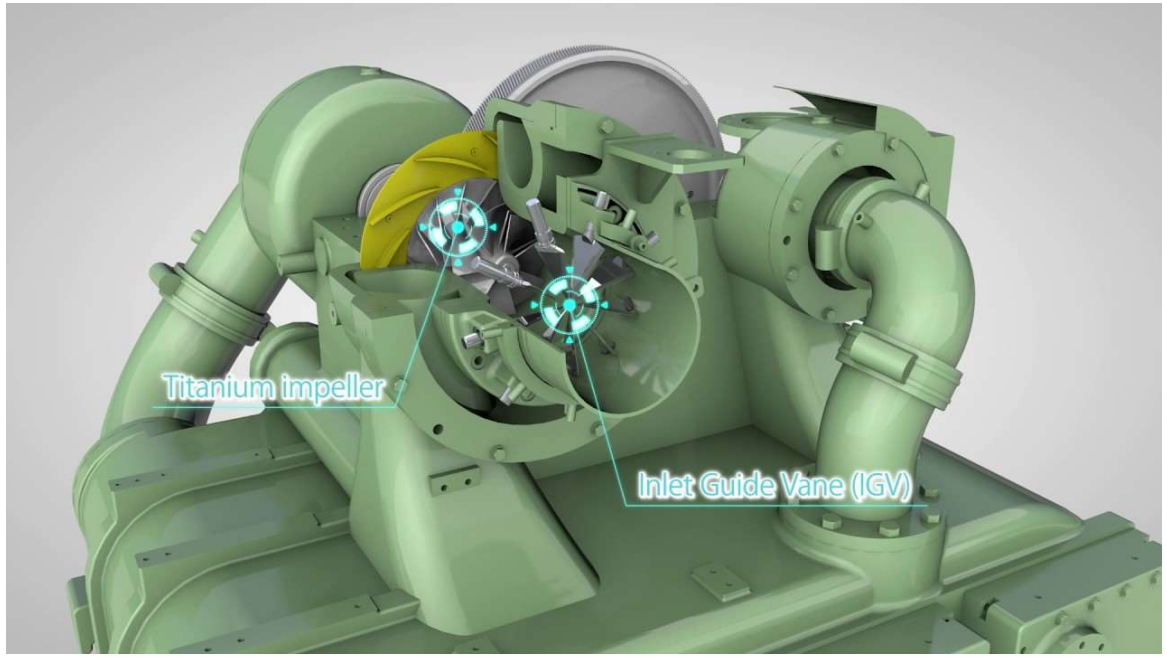


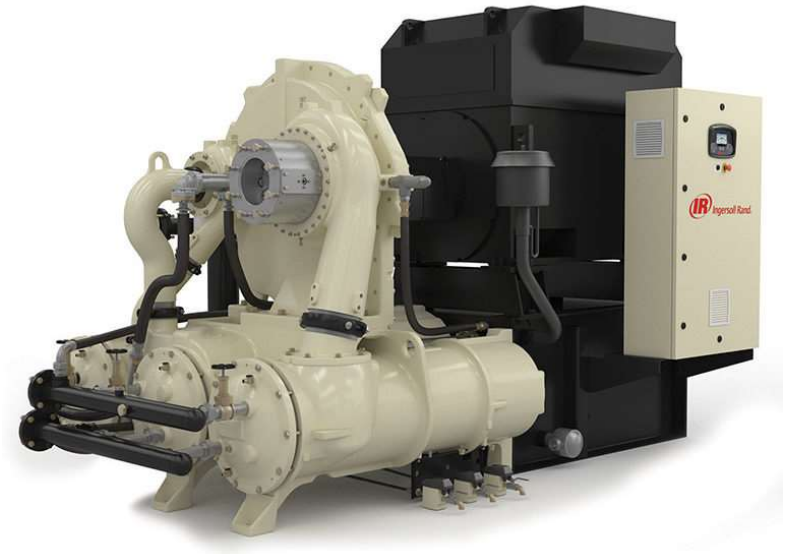
Рисунок 2 - Центробежный компрессор с вертикальным разъемом корпуса:

1, 9 – кожух; 2 – подшипник опорно-упорный; 3, 8 – крышка; 4, 7 – уплотнение; 5 – корпус; 6 – корпус внутренний; 10 – подшипник опорный; 11 – ротор; 12 – рабочие колеса второй секции; 13 – рабочие колеса первой секции

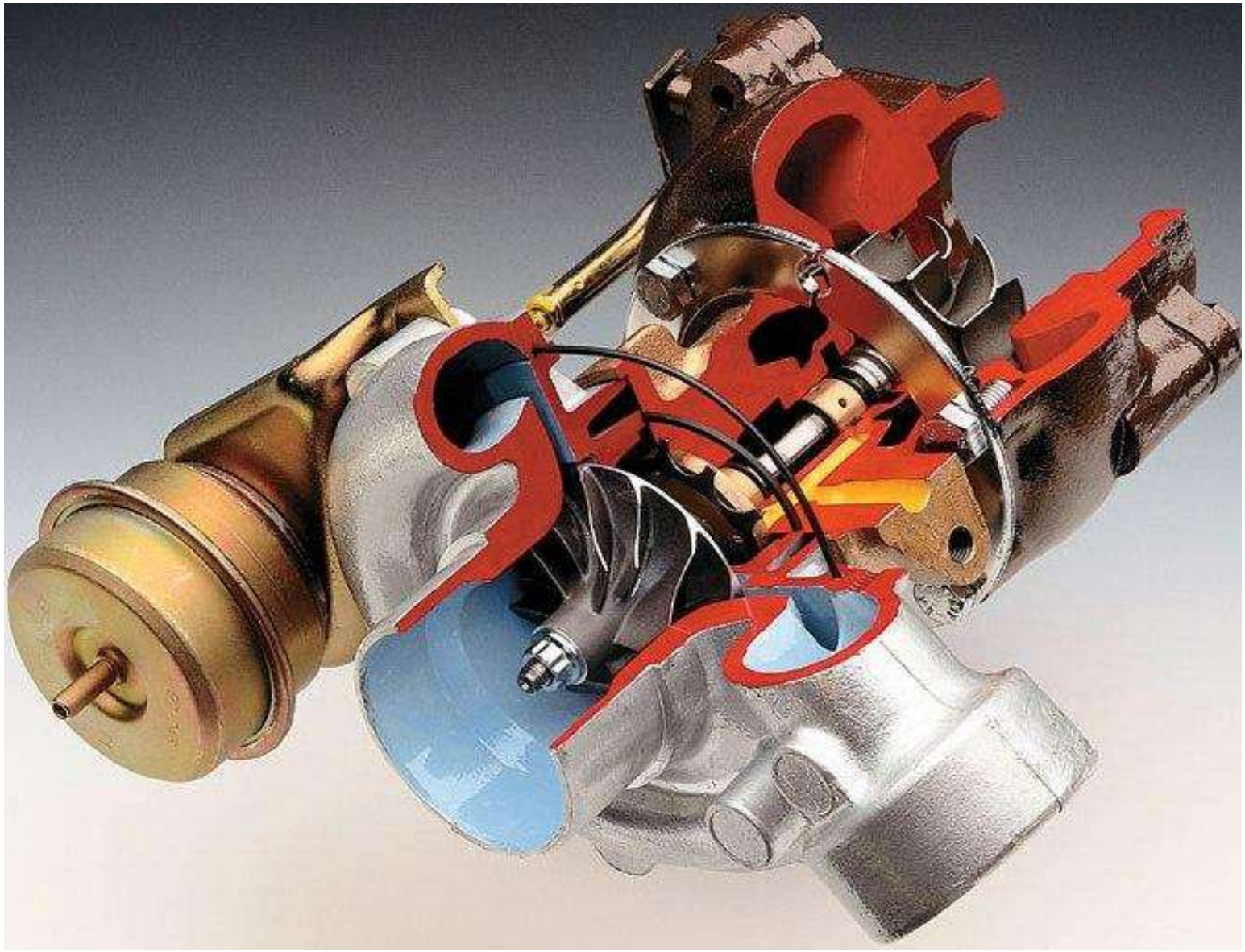


Трехсекционный центробежный компрессор

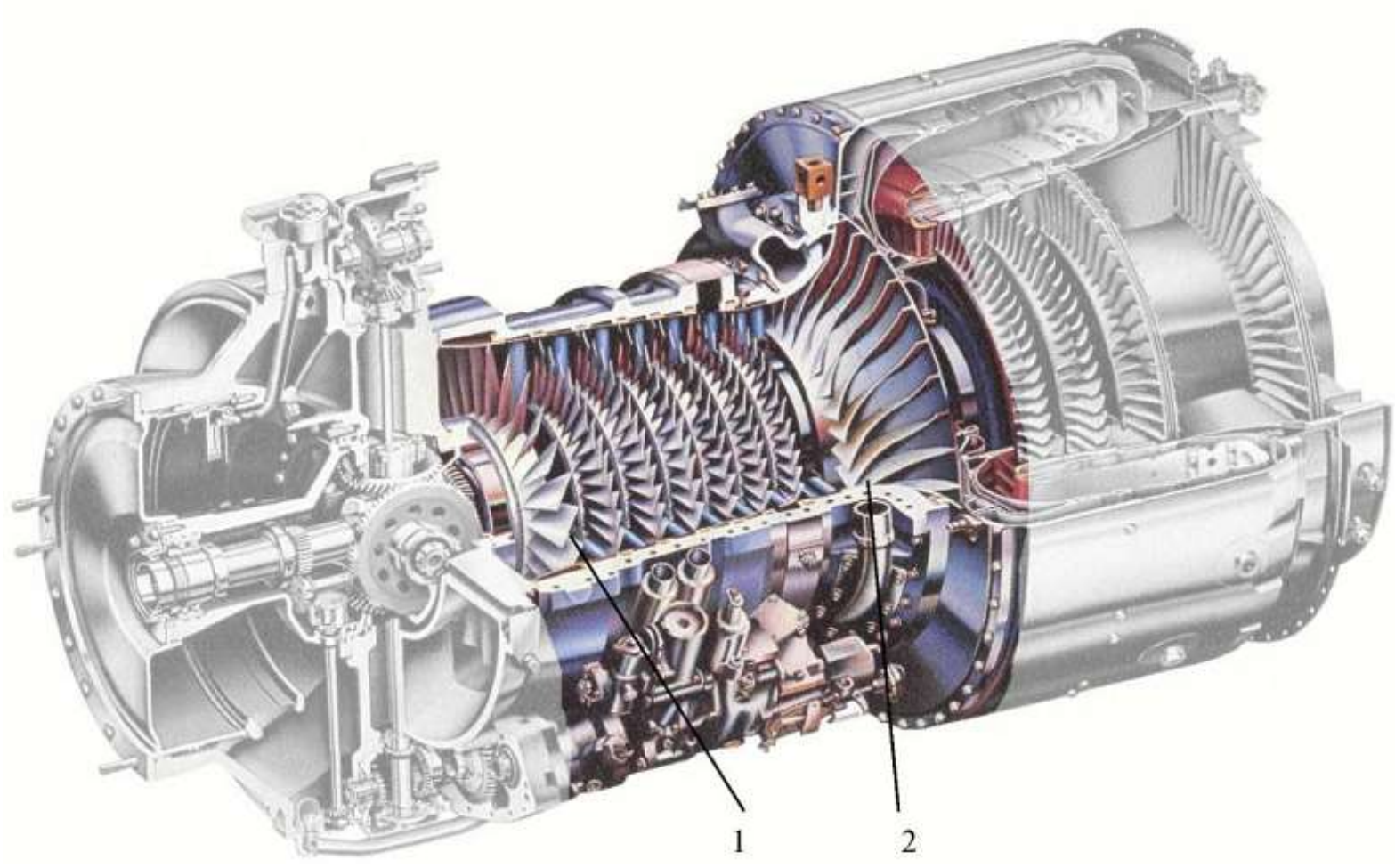




Многовальные центробежные компрессоры



Центробежный компрессор в составе системы турбонаддува



Центробежное рабочее колесо в составе ГТД.

4. Основные элементы ступеней центробежных компрессоров

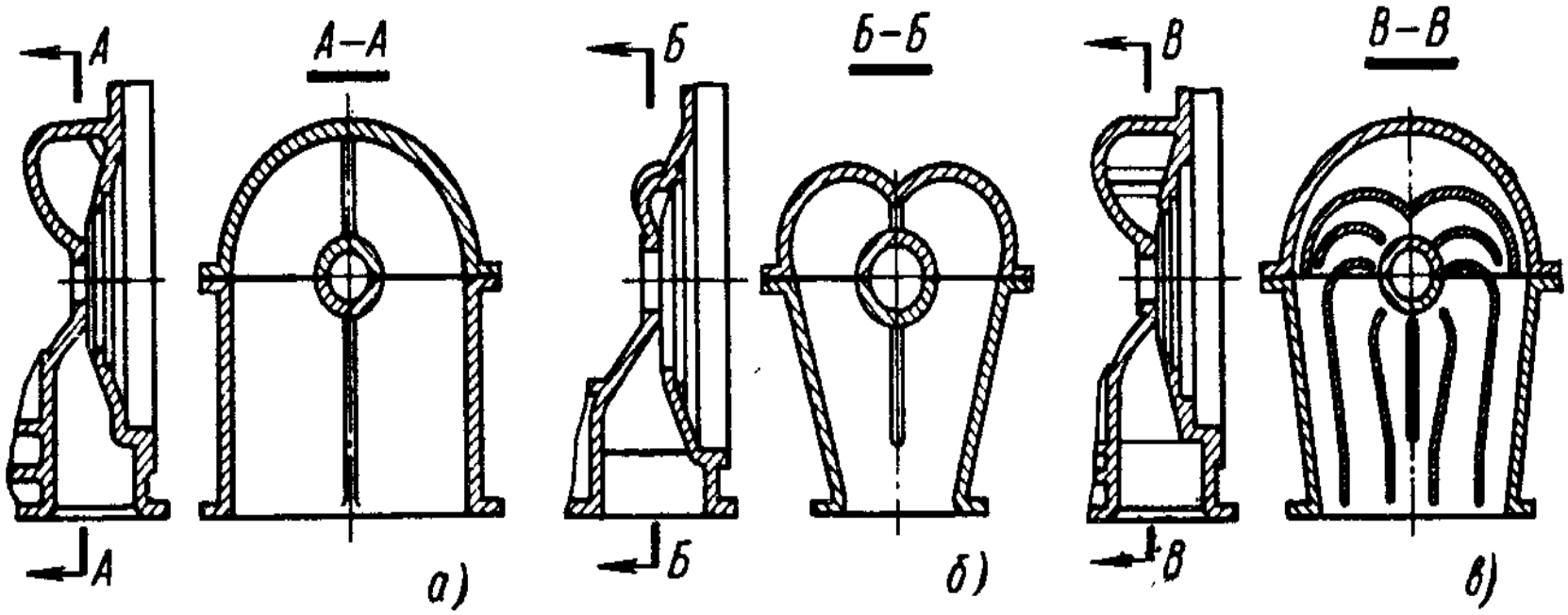
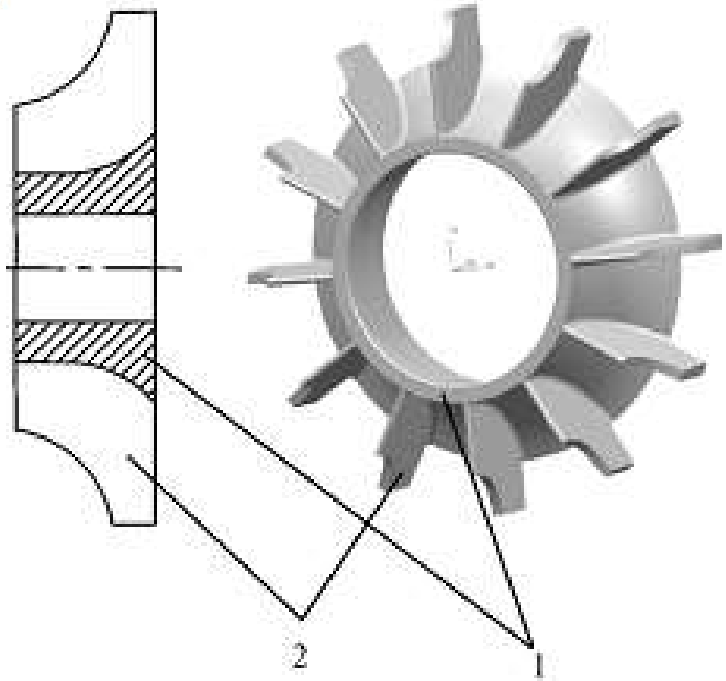
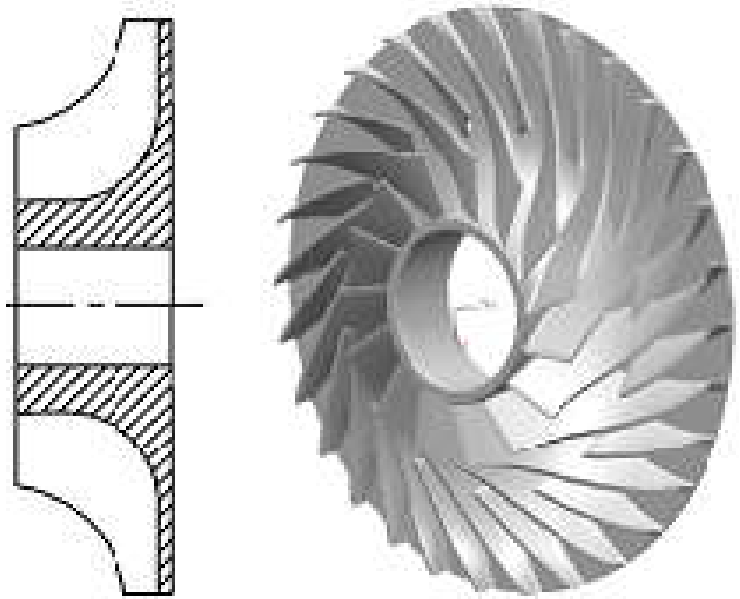


Рис. 66. Конструктивные схемы всасывающих камер

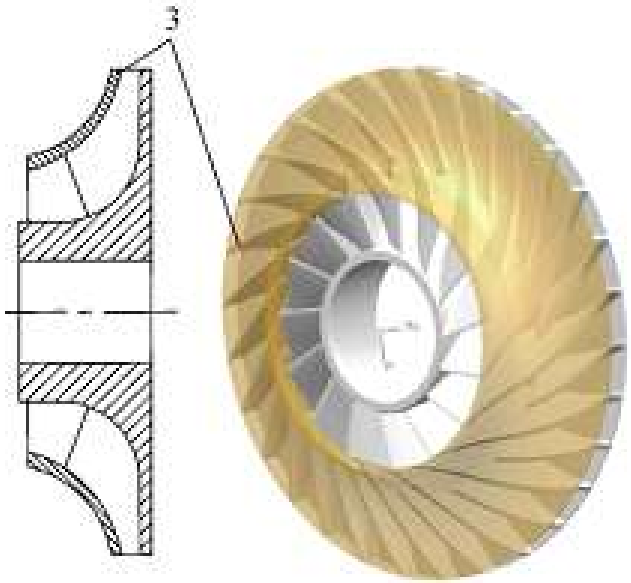


Рабочее колесо ЦК открытого типа



в

Рабочее колесо ЦК полуоткрытого типа



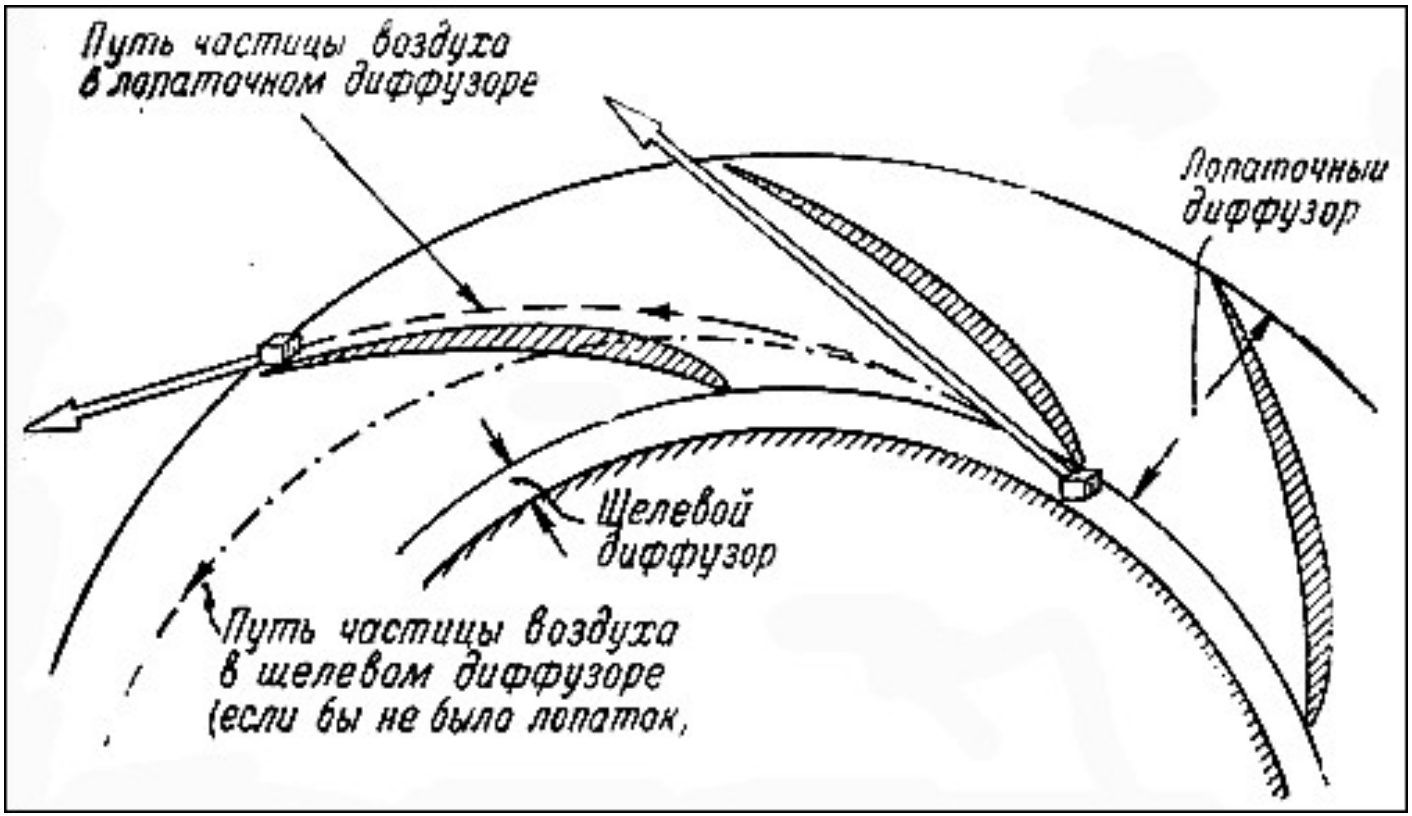
Рабочее колесо ЦК закрытого типа

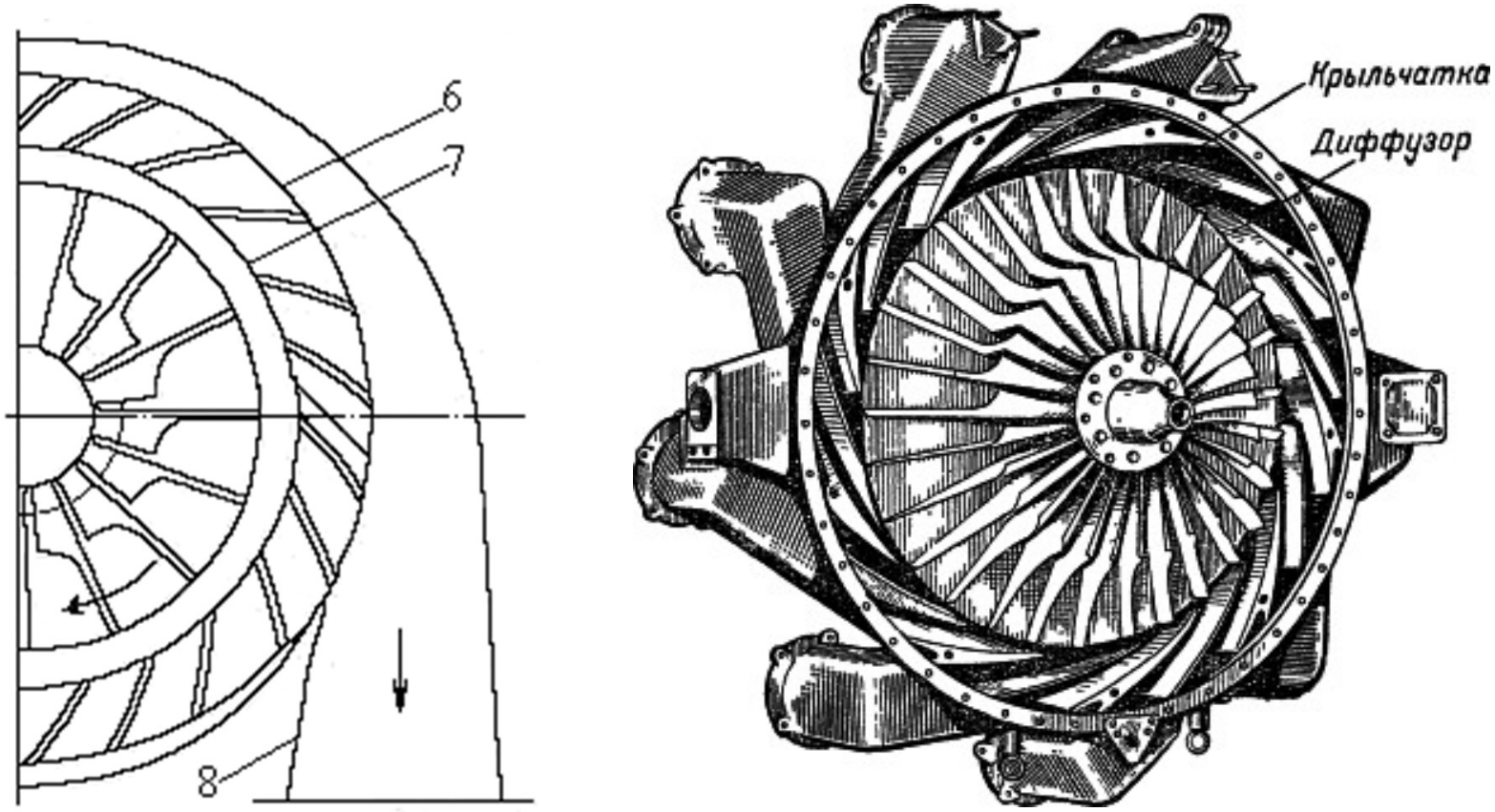
В высоконапорных ступенях, работающих при высоких окружных скоростях u_2, превышающих значения 300 - 320 м/с применяются осерадиальные рабочие колеса, в основном полуоткрытого типа, без покрывающего диска. Такие колеса имеют хорошие прочностные свойства.

Для центробежных ступеней стационарных машин П<1,5 – 1,9 (u_2 <280 – 300 м/с) и П<2,5 – 3,0) (u_2<400); для транспортных машин сверхзвукового типа П<7,0 (u_2<540 м/с); в отдельных образцах П=12,0 – 14,0.

Лопаточный диффузор

неподвижный лопаточный венец, расположенный за рабочим колесом центро бежного компрессора и предназначенный для повышения давления путем сн ижения скорости потока воздуха.





Диффузор канального типа в двигателе РД-45

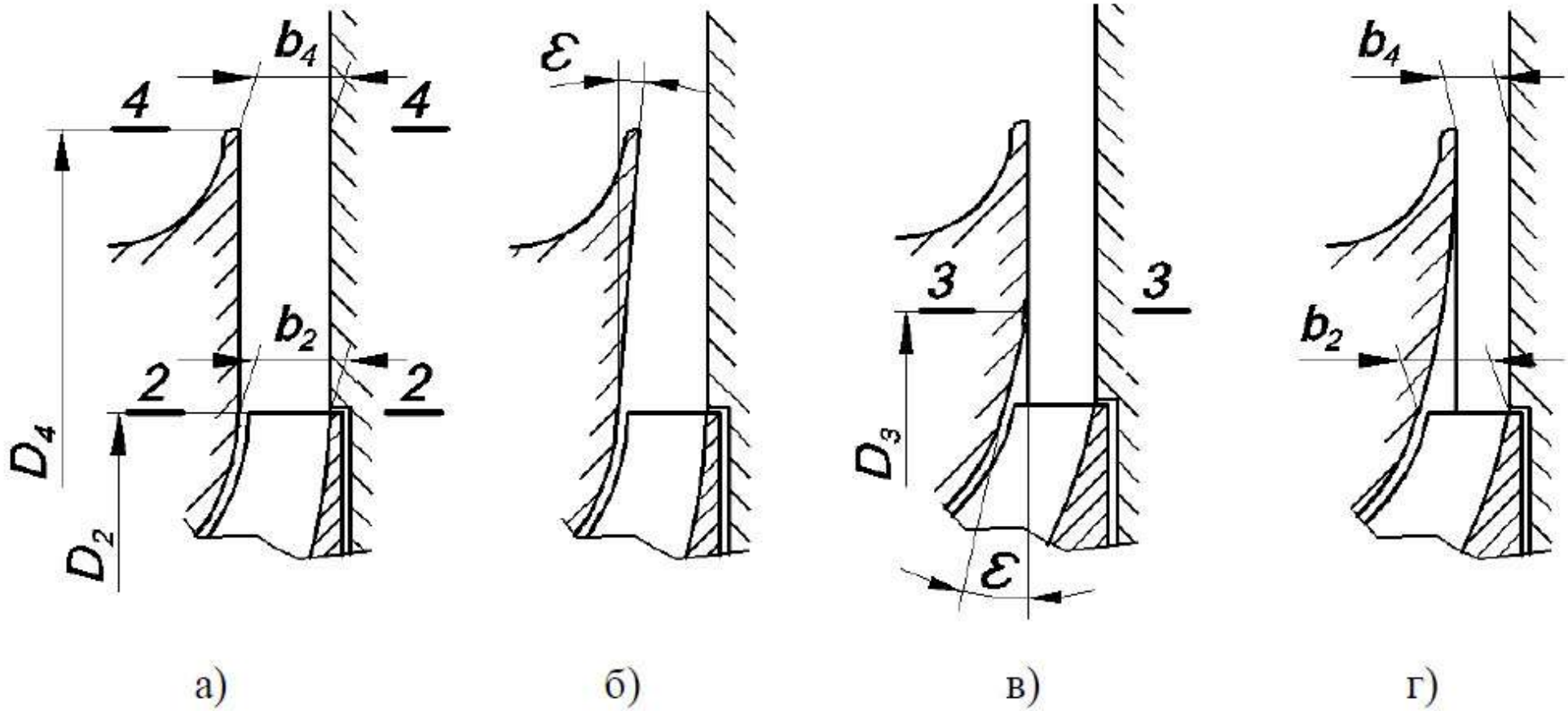
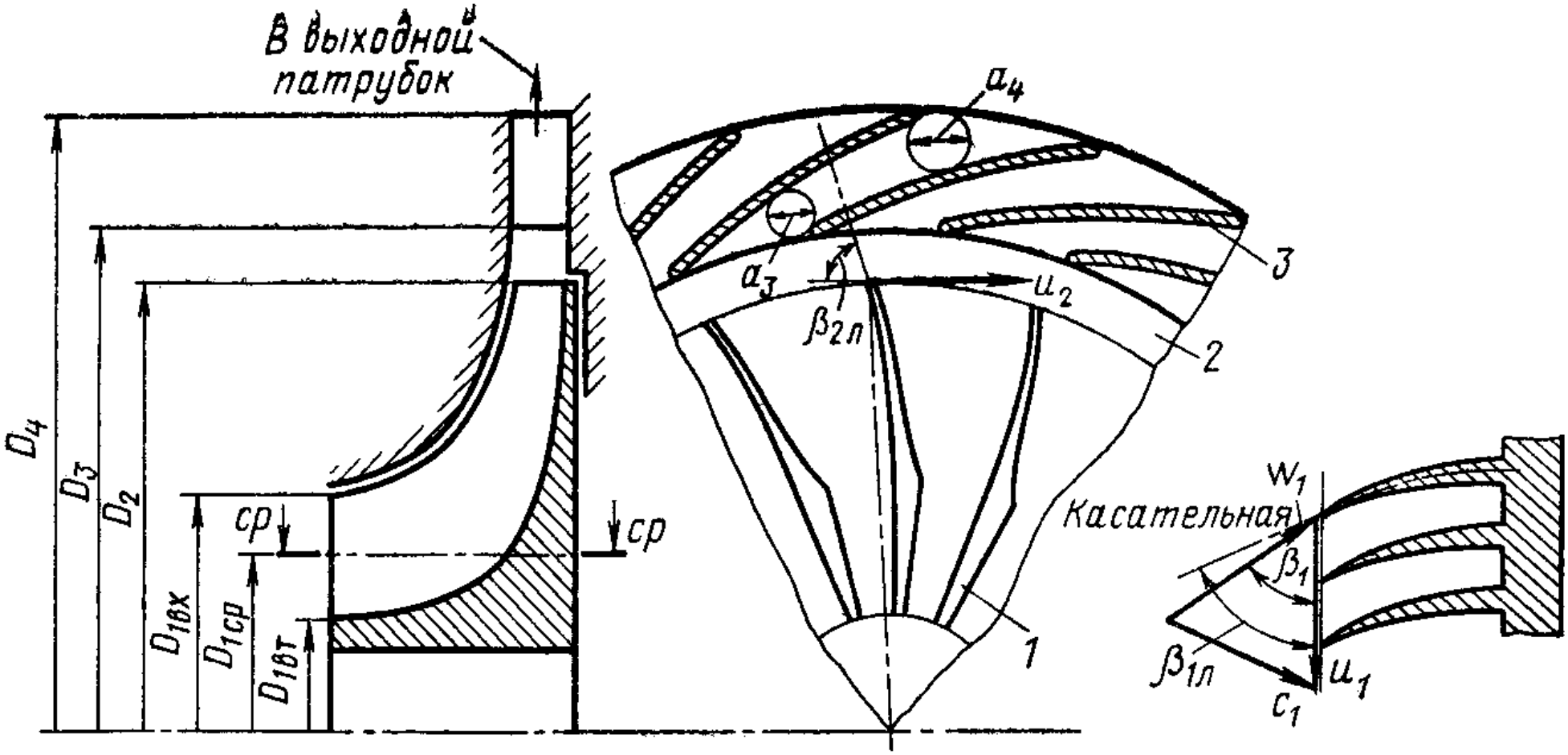
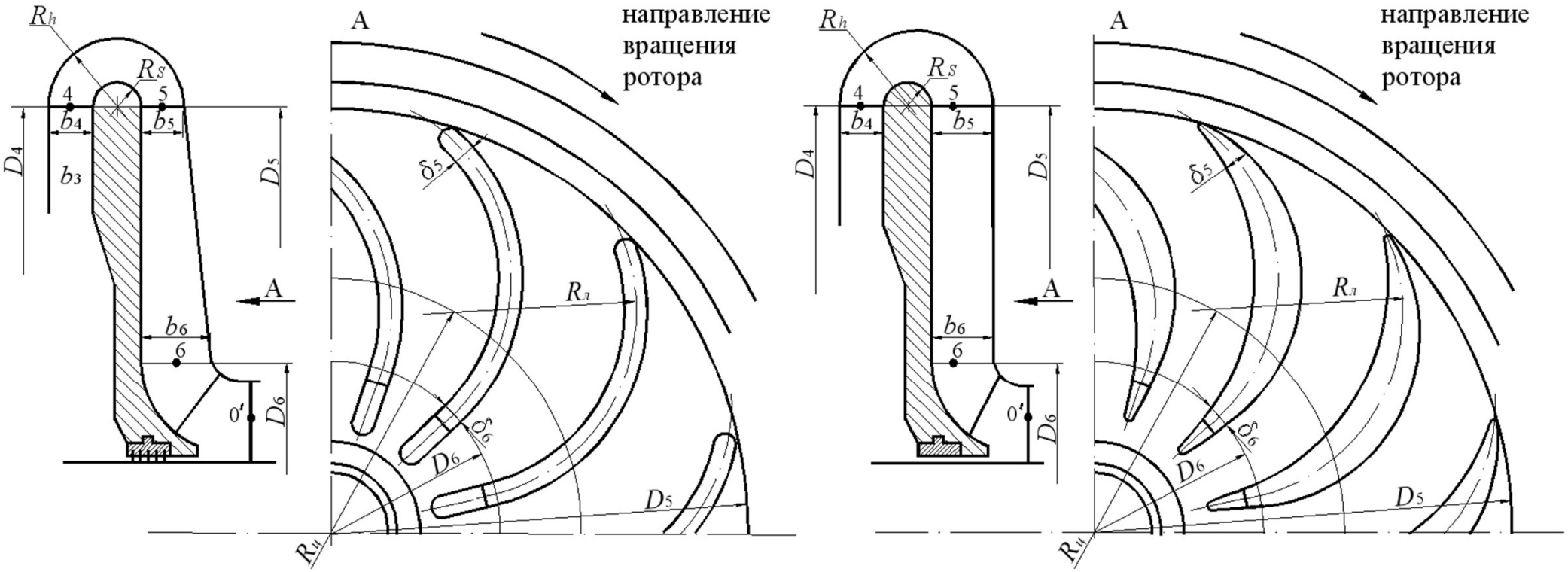


Схема щелевых диффузоров

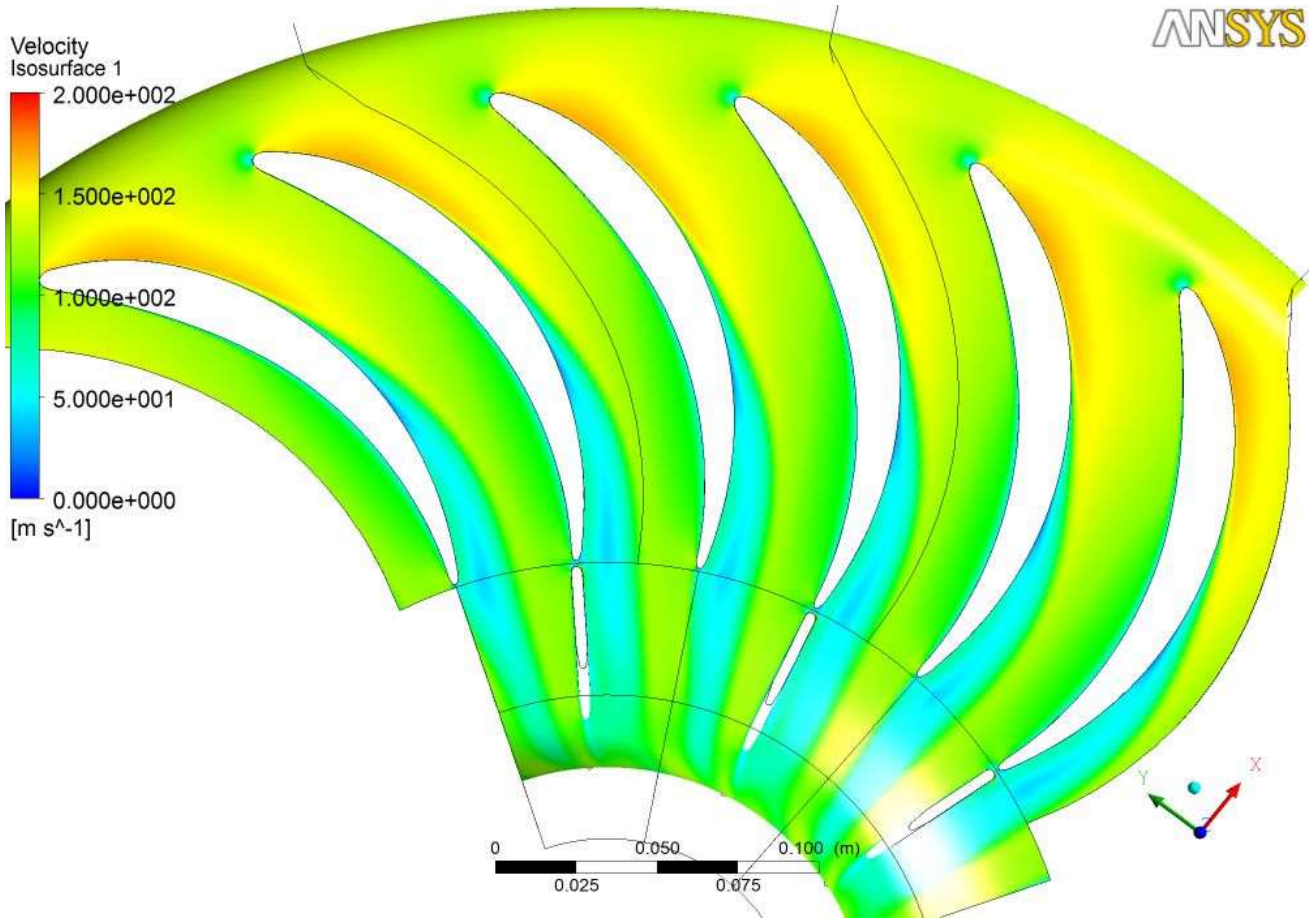
Больше информации о компрессорной технике на сайте научно-инжиниринговой группы
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»
www.kviht.ru тел. +7(812) 715-41-64



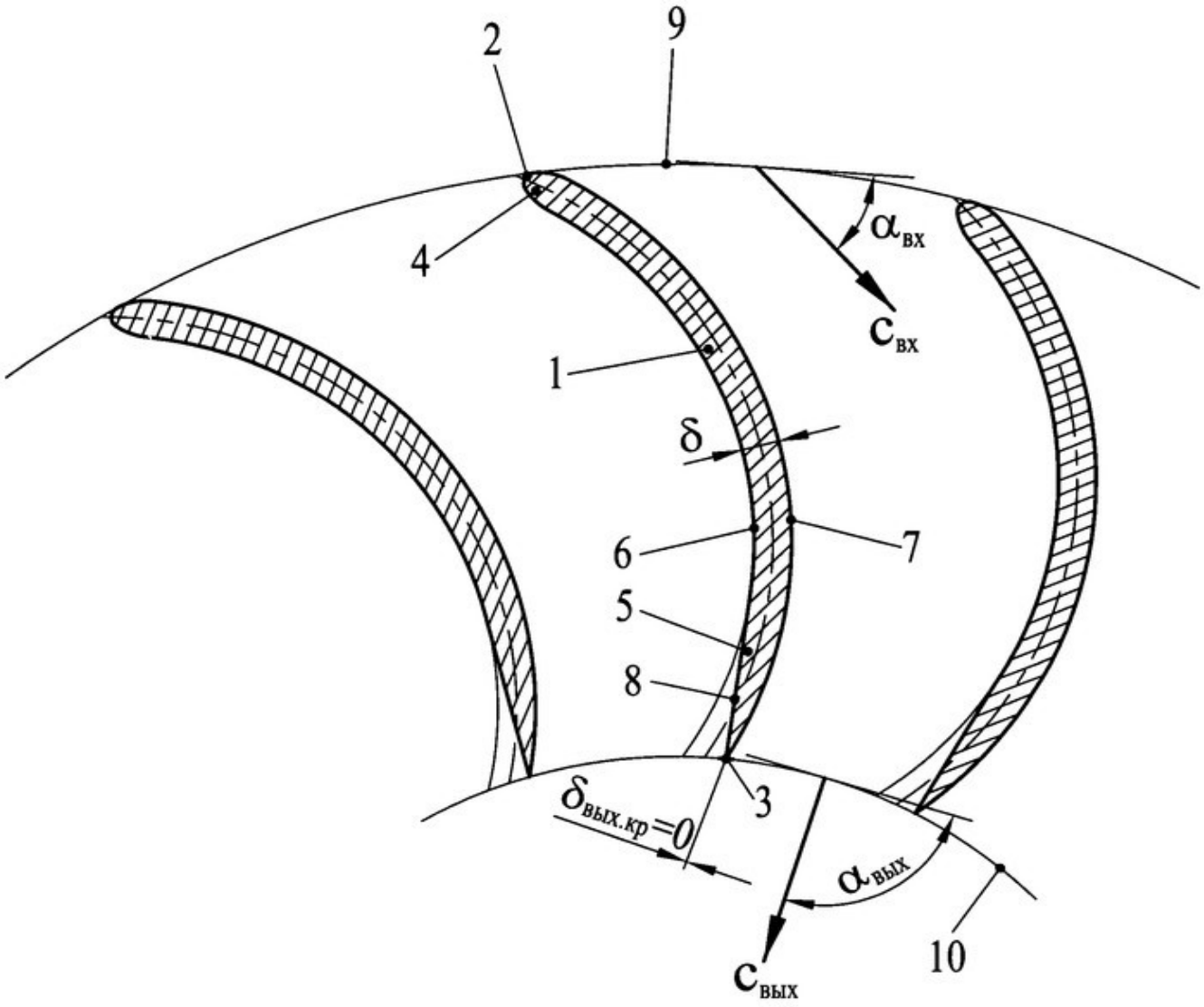
Больше информации о компрессорной технике на сайте научно-инжиниринговой группы
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»
www.kviht.ru тел. +7(812) 715-41-64

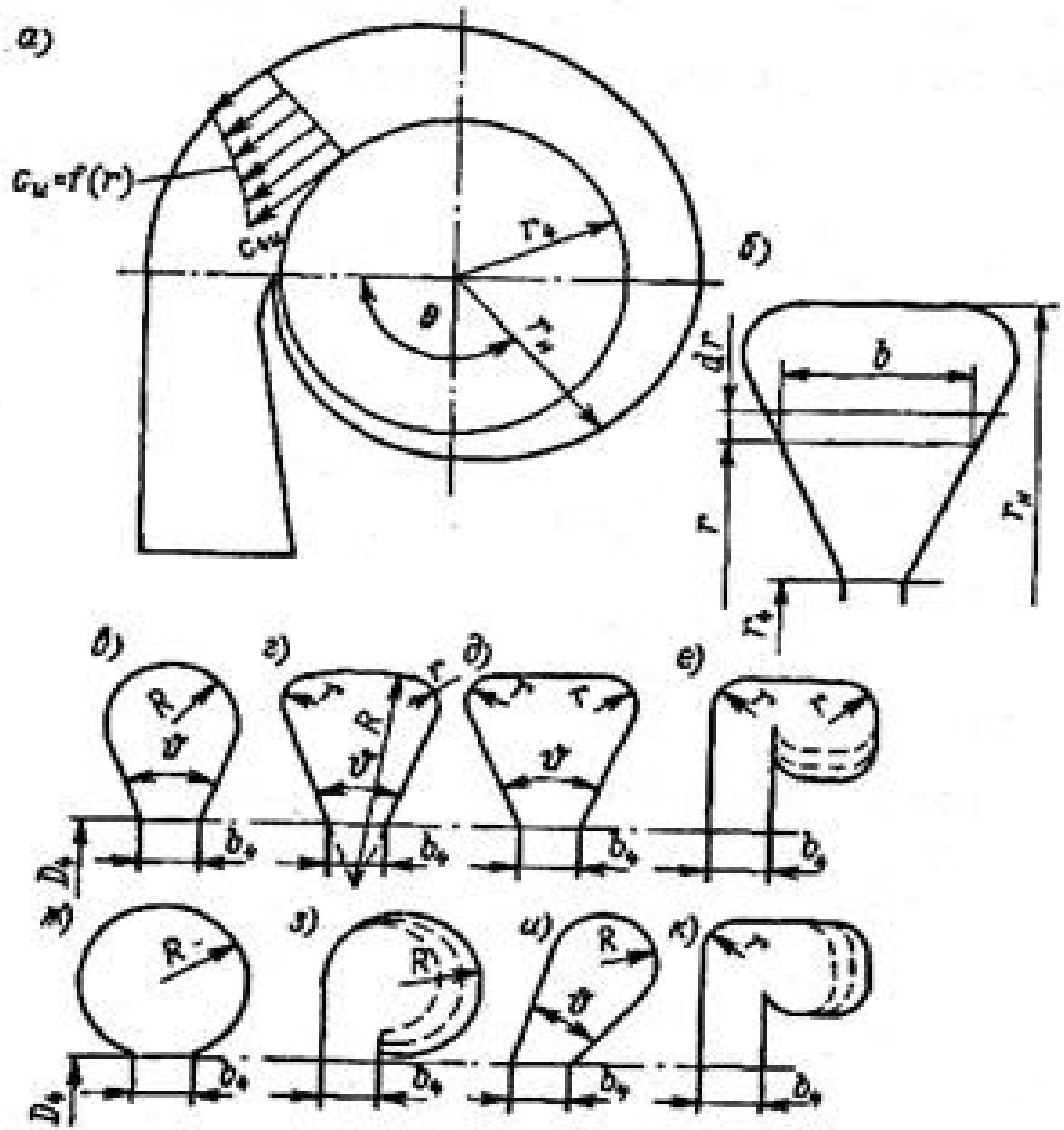


Разновидности обратно направляющих аппаратов

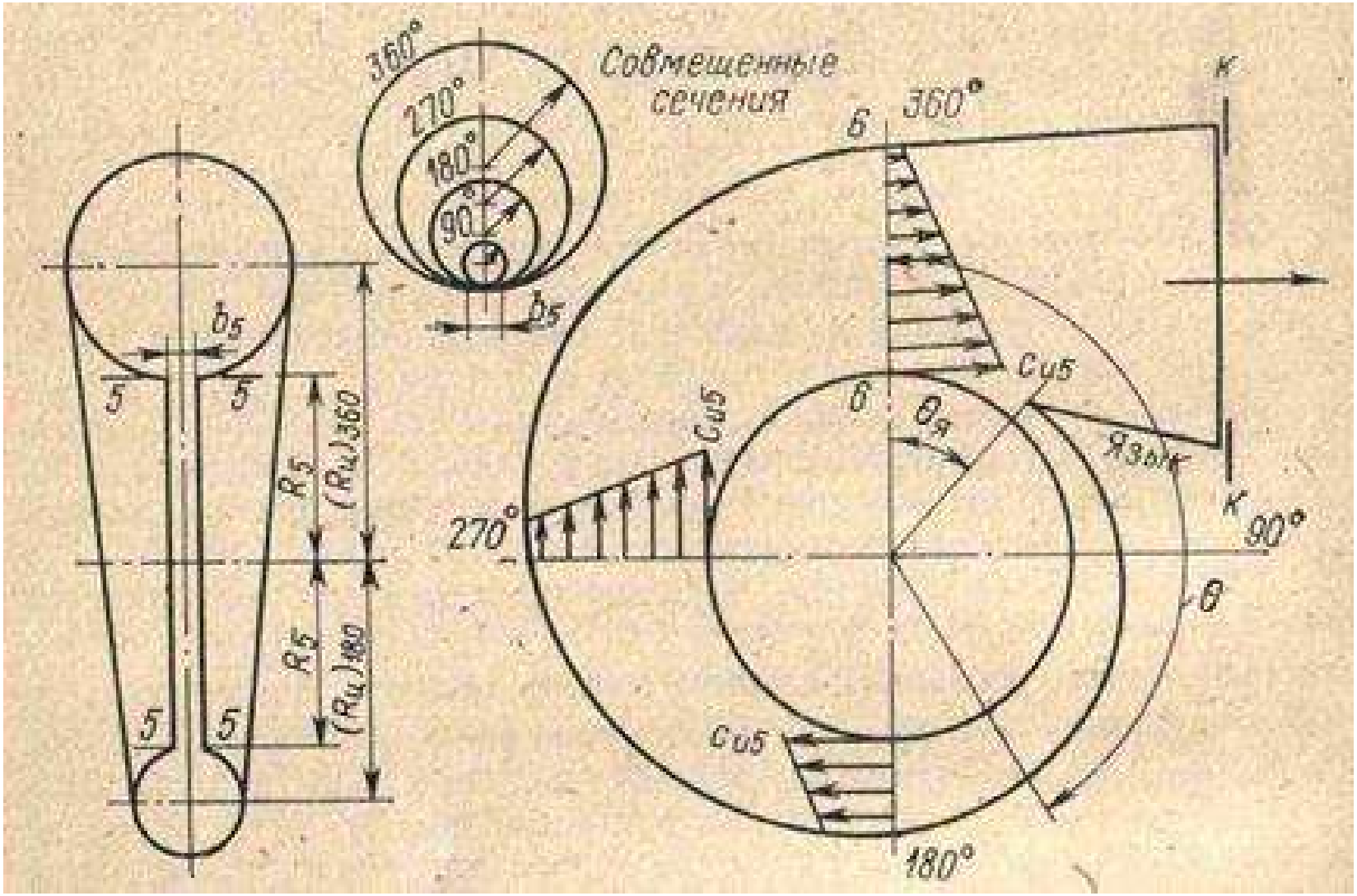


Поле скоростей в обратно-направляющем аппарате


2
9
4
$\alpha_{вх}$
$c_{вх}$
1
δ
6
7
5
8
3
$\delta_{вых.кр}=0$
$\alpha_{вых}$
10
$c_{вых}$



Улитка центробежного компрессора



Улитка с выходным диффузором

5. Системы уплотнений центробежных компрессоров

Сухие газовые уплотнения

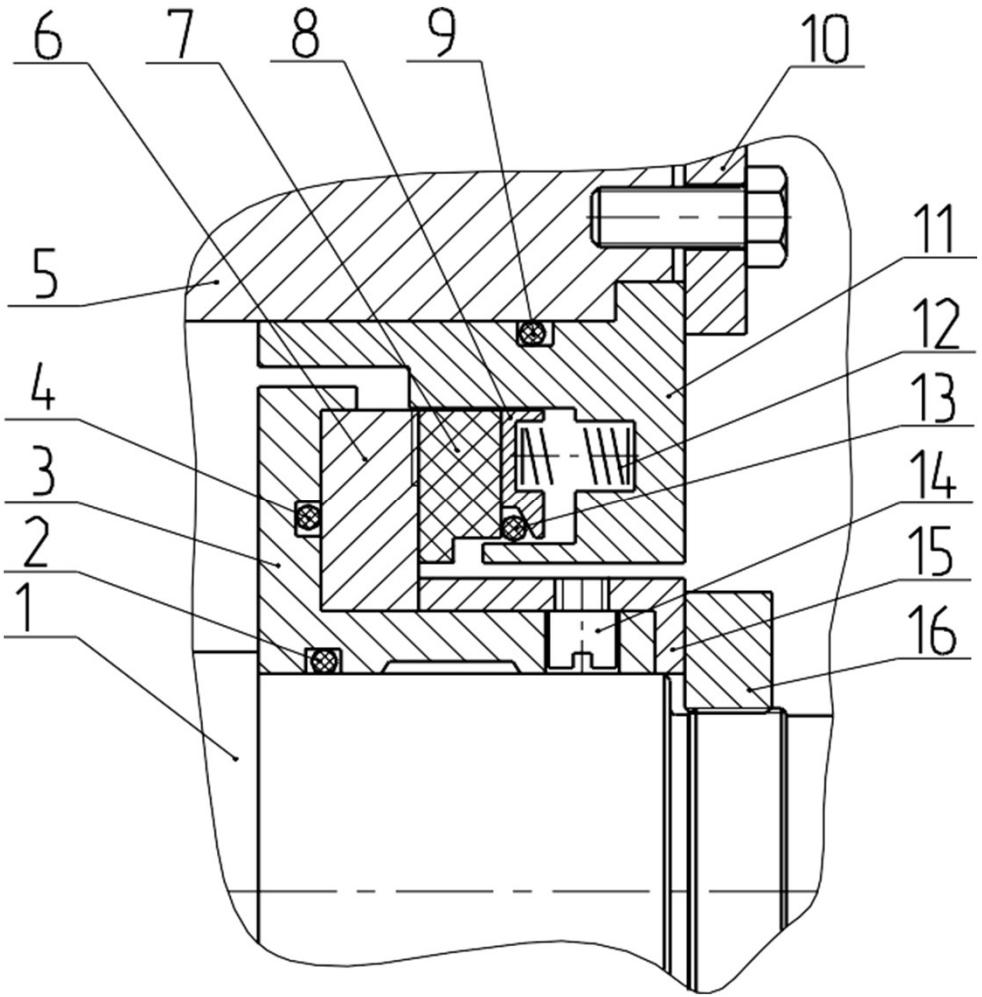


Схема сухого газового уплотнения

Основной рабочей частью уплотнения является уплотнительная пара: торец 7 и седло 6. Торец (выполняется из высококачественного графита с антифрикционными добавками) подвижен в осевом направлении, закреплен внутри корпуса уплотнения 11 от проворота и прижимается к седлу пружинами 12 через обойму 8. Вращающееся вместе с ротором седло (выполняется из твердосплавного материала) закреплено с помощью роторных втулок 3 и 15 и гайки 16 на валу компрессора 1. Роторные втулки 3 и 15 соединены винтами поз.14. Корпус уплотнения 11 установлен в корпусе компрессора 5 и зафиксирован в нем. Уплотнительные кольца 2, 4, 9 и 13 выполнены из резины, круглого поперечного сечения.

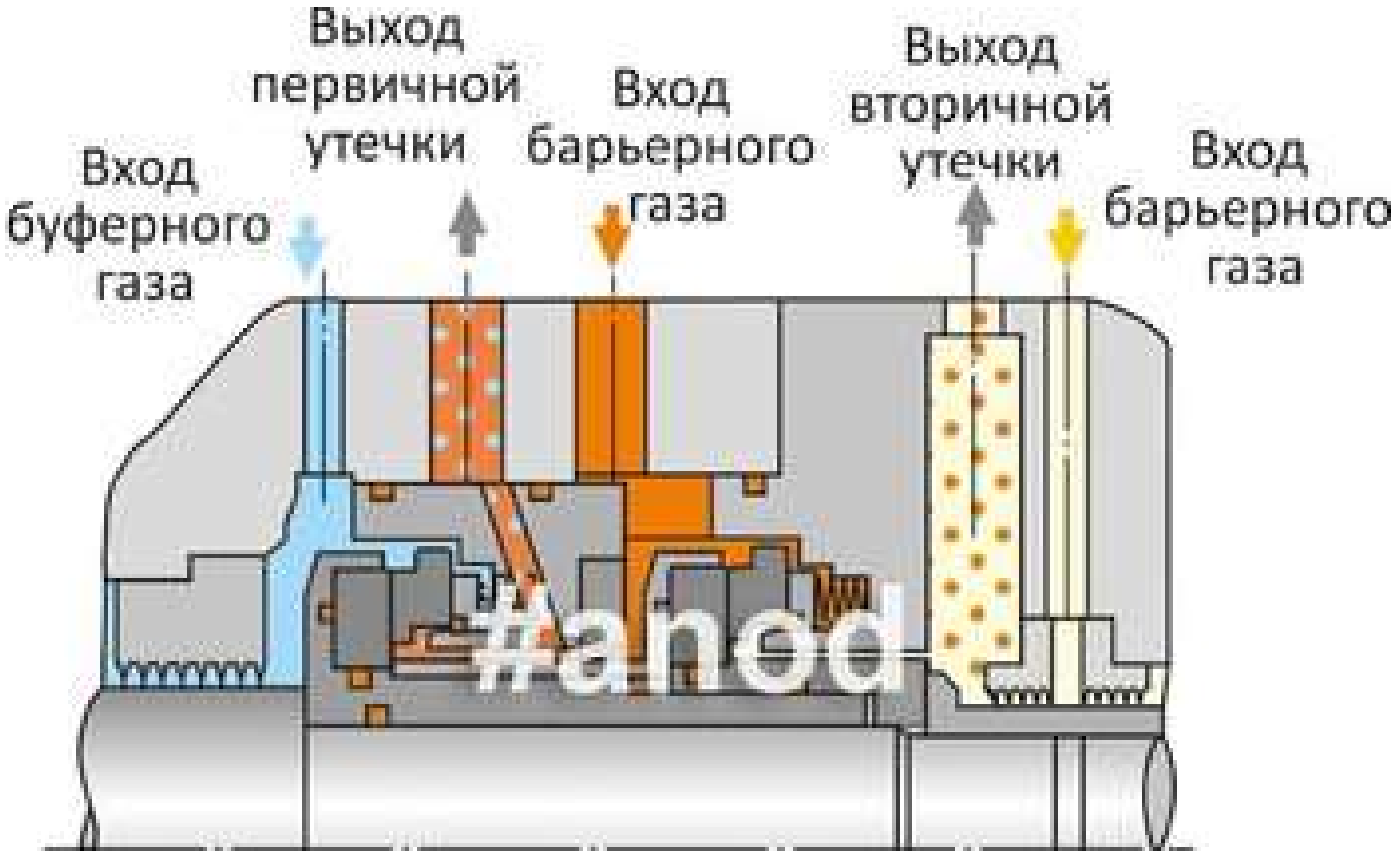
Сухие газодинамические уплотнения для газовой промышленности

ПРИМЕНЕНИЕ

В центробежных компрессорах.
В нагнетателях природного газа.
В турбодетандерах.
В центробежных насосах, паровых турбинах, перемешивающих устройствах для всех отраслей промышленности.

РАЗНОВИДНОСТИ

Двойное уплотнение типа «тандем» с двойным концевым лабиринтом. Применяется совместно с масляными или магнитными подшипниками.
Двойное уплотнение типа «тандем» с одинарным лабиринтом и эжектором. Применяется совместно только с магнитными подшипниками.
Двойное уплотнение типа «тандем» с барьерным уплотнением. Применяется совместно с масляными или магнитными подшипниками.

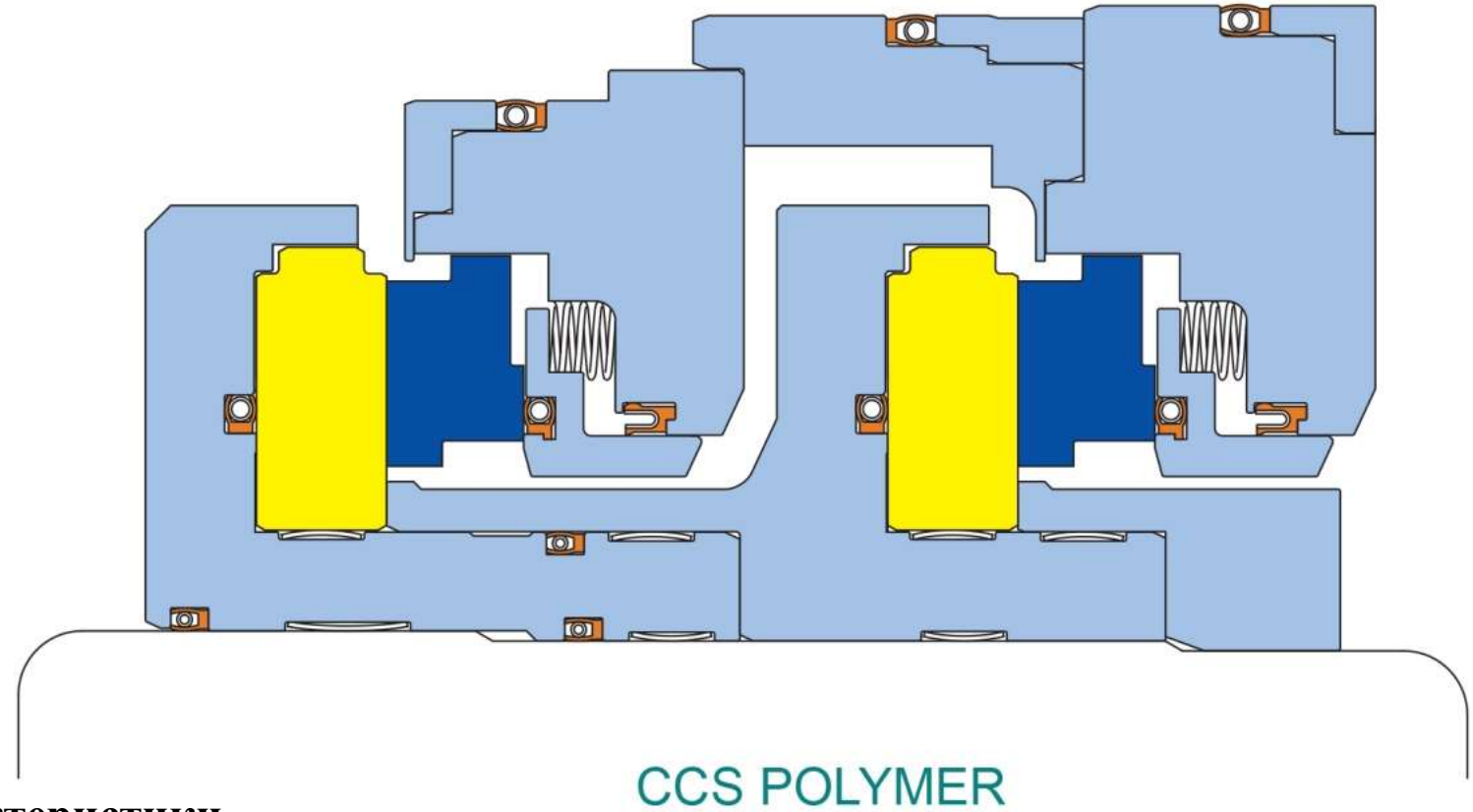


Сухое газодинамическое уплотнение Анод

ОСОБЕННОСТИ

Уплотнение спроектировано таким образом, что при подаче на него давления, а также при пуске и остановке компрессора контакт между деталями уплотнительной пары отсутствует. Благодаря независимой центровке роторных втулок:

- улучшаются динамические характеристики уплотнения,
-снижается взаимное влияние уплотнительных ступеней в работе,
- повышается точность центровки роторных деталей на валу,
- процесс монтажа узла упрощается и сокращается в 3-5 раз.



Характеристики

Горизонтальная/вертикальная

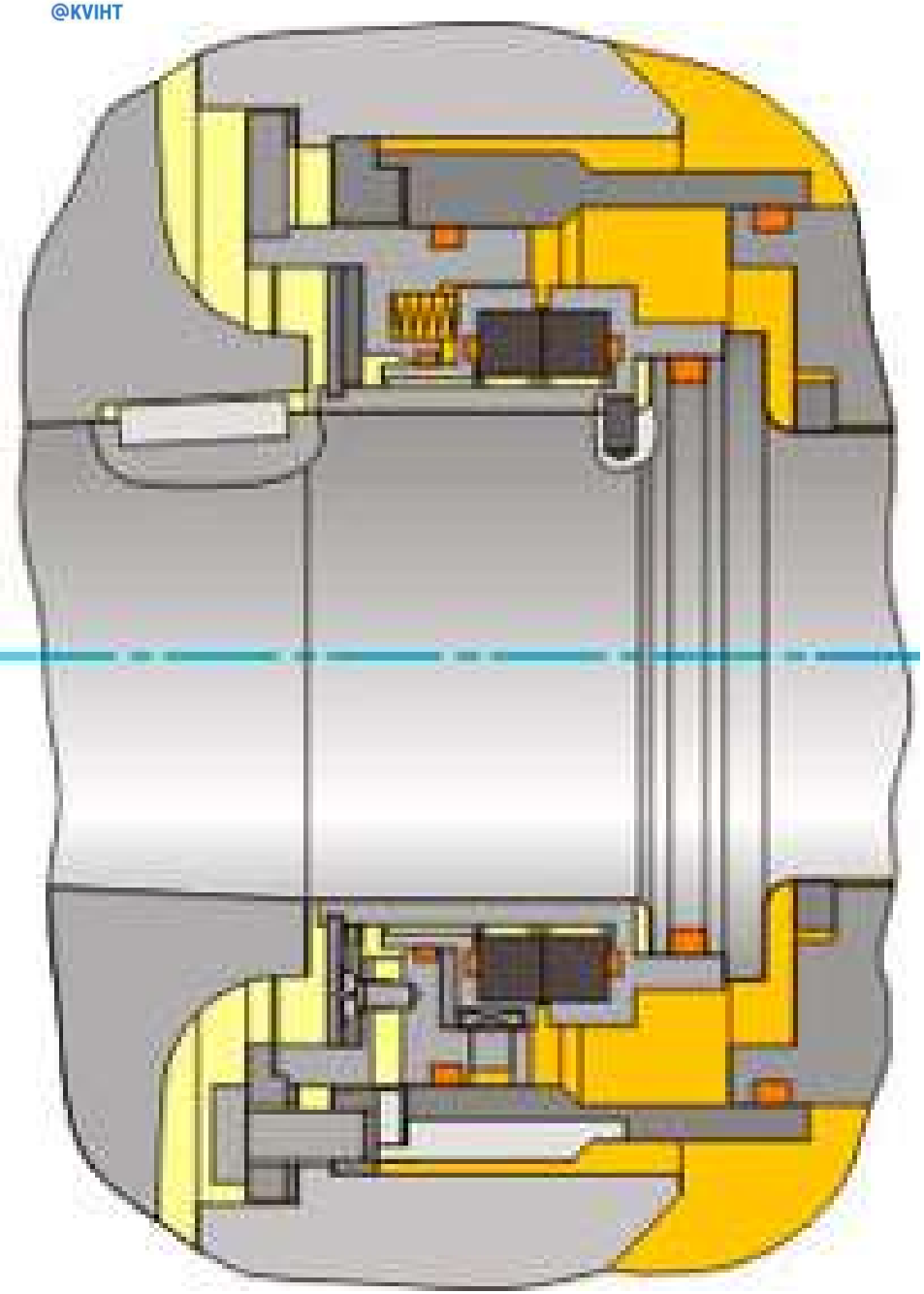
Предельные условия работы:

Температура до +200°C (в зависимости от материального исполнения уплотнения);

Давление: давления до 82 бар (внутренняя пара трения);

Скорость: 100 м/с (15 000 об/мин);

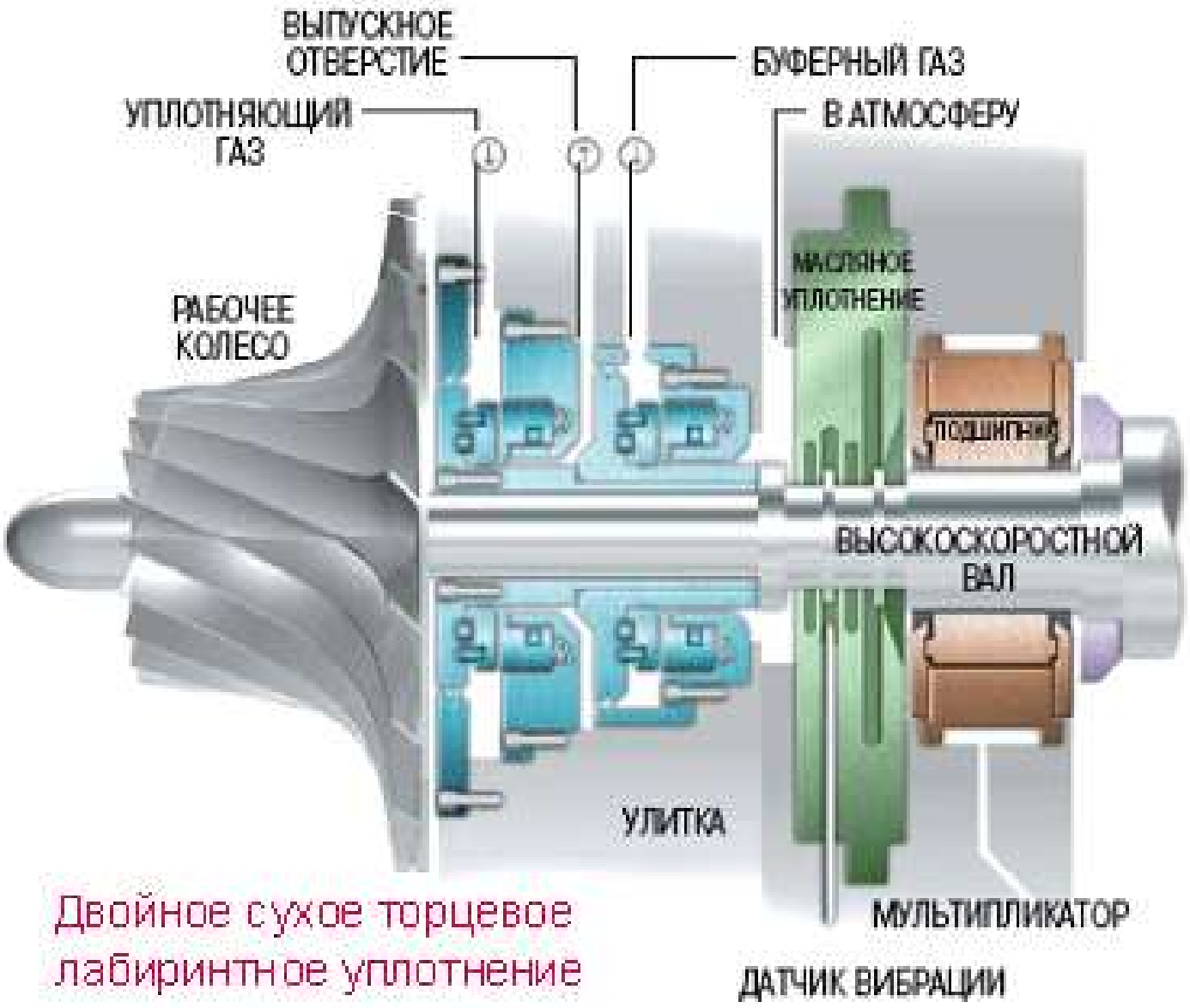
Диаметр вала: прорабатывается в зависимости от модели компрессора;



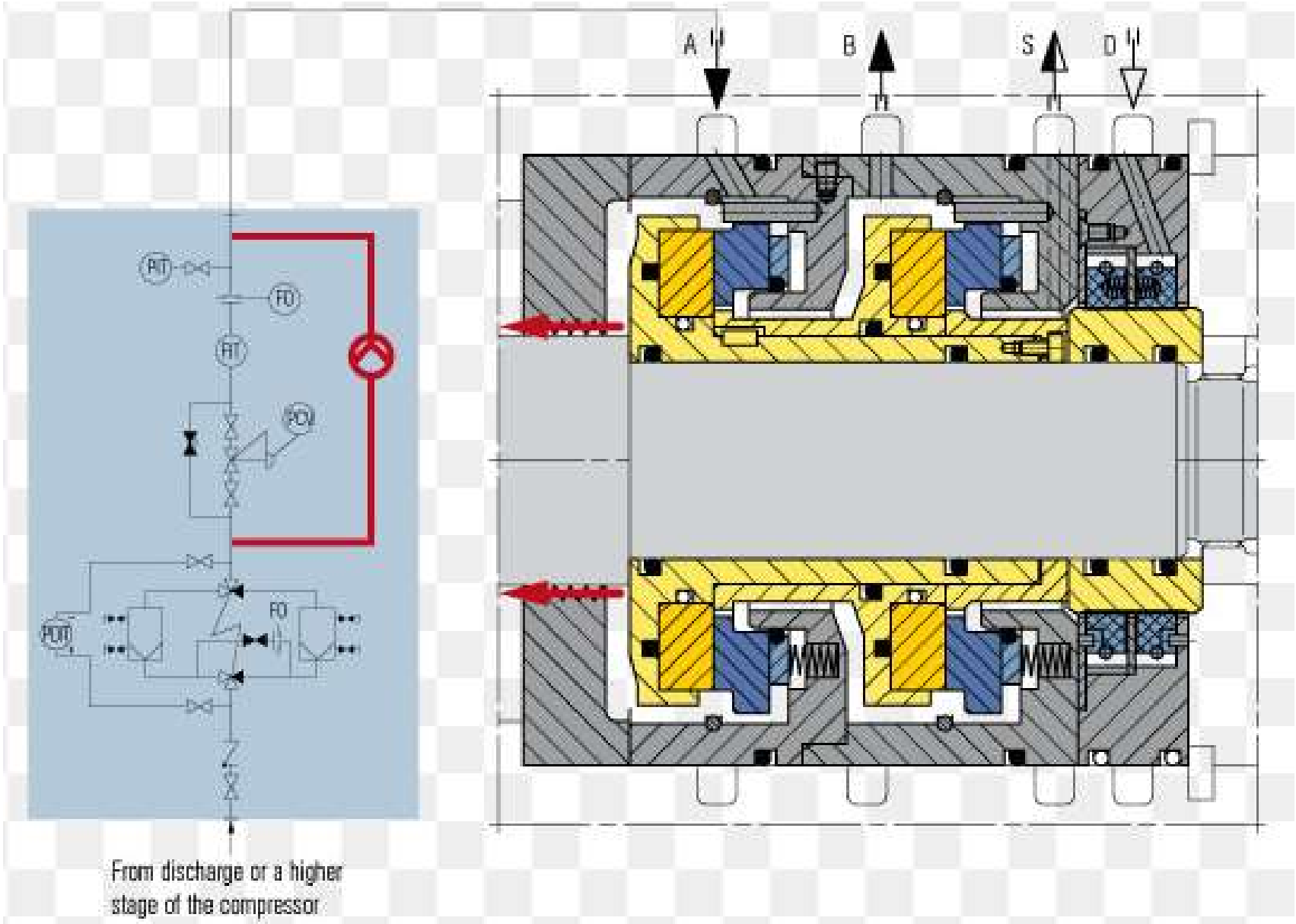
Торцовое уплотнение 98УТГ

Вспомогательное щелевое уплотнение выполнено в виде обоймы, содержащей два плавающих кольца, внутренний диаметр которых образует с хвостовиком вращающейся втулки радиально-щелевое уплотнение. Каждое плавающее кольцо торцевым пояском контактирует с притертой поверхностью закаленного седла Г-образной формы, имеет возможность перемещаться в радиальном и осевом направлениях и подвешено на 4 радиально установленные пружины сжатия. Внутренняя поверхность плавающих колец имеет баббитовую наплавку, а ответная поверхность хвостовика вращающейся втулки – износостойкое покрытие.

Основное торцовое и вспомогательное щелевое уплотнения разделяет кольцевая затворная камера, в которую поступает запирающее масло под давлением, превышающим давление перекачиваемого газа на величину перепада «масло – газ» - 0,1…0,6 МПа, обеспечиваемого регулятором перепада давления (РПД). Отличительной особенностью данного щелевого уплотнения является то, что осевая длина плавающего кольца уменьшена до 0,15 диаметра вала, что позволило уменьшить массу кольца и избавиться от реакции на перекосы вала. При этом перепад давления между затворной камерой и атмосферой делится поровну между двумя кольцами, поэтому осевая сила, действующая на каждое кольцо, снижается вдвое, а значит, меньше удельное контактное давление на торцовом уплотняющем пояске. Пружины сжатия, на которые подвешено плавающее кольцо концентрично оси вращения ротора, расставлены таким образом, что гидродинамические центрирующие силы превалируют по величине над силами трения в торцовом стыке, а собственная частота кольца существенно повышается. Радиальный зазор между плавающим кольцом и вращающейся втулкой выбирается из условия обеспечения расхода запирающего масла достаточного для охлаждения основного и щелевого уплотнений.



Вариант применения СГУ Алев сервис http://www.alev-firm.ru



Gas supply system with a RoTechBooster installed

6. Активные магнитные подшипники

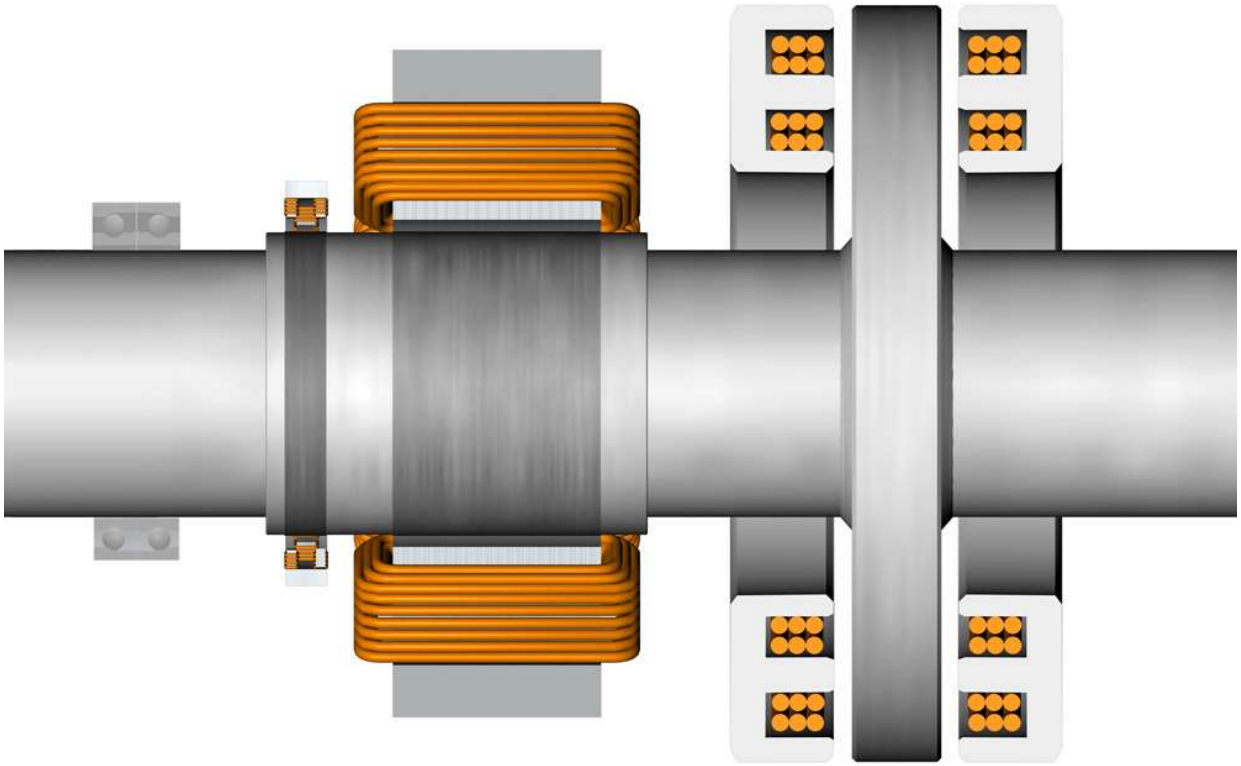
Магнитный подшипник — элемент опоры осей, валов и других деталей, работающих на принципе магнитной левитации. В результате опора является механически бесконтактной.

Пассивные магнитные подшипники, работающие на постоянных магнитах по принципу притягивания или отталкивания ротора тестировались на протяжении долгих лет. •

В 1842 г г-н ЭРНШОУ доказал, что полная левитация ротора посредством только пассивных магнитных полей невозможна.

Не так давно активные системы были очень сложными из-за присутствия транзисторной технологии, и в большинстве случаев только осевое управление было активным, управление же по радиальным осям так и оставалось пассивным.

SKF S2M Magnetic Bearings



Основными техническими характеристиками АМП являются: предельная частота вращения ротора; рабочий зазор; несущая способность; жесткость; точность позиционирования оси ротора; габаритные размеры и масса; потери на трение; энергопотребление; эксплуатация и надежность.

Предельная частота вращения ротора зависит только от прочности на разрыв материала цапфы или диска.

Рабочий зазор в АМП на один-два порядка больше, чем в газовых подшипниках. Характерные значения радиального зазора: 0,3 мм при диаметре цапфы 70 мм, 0,6 мм при диаметре цапфы 320 мм. В специальных случаях зазор может достигать нескольких десятков миллиметров.

Несущая способность АМП зависит от габаритных размеров и используемого материала и достигает 60 Н на 1 см^2 площади полюса для электротехнических сталей и 100 Н на 1 см^2 – для кобальтовых сталей.

Габаритные размеры и масса АМП существенно больше, чем подшипников качения при одинаковой несущей способности.

Жесткость АМП, определяемая как отношение амплитуды реакции подшипника к амплитуде колебаний цапфы зависит от параметров системы управления и от частоты вращения.

Преимущества и недостатки АМП

Преимущества:

1. Отсутствие механического контакта между вращающейся и неподвижной частями машины. Это приводит к отсутствию изнашивания и смазки. Есть возможность развить высокие скорости вращения и низкий уровень энергопотребления. Возможна работа в экстремальных условиях.

2. Наличие электронной системы управления позволяет контролировать положение оси ротора, регулировать жесткость и демпфирование подвеса, использовать датчики сигнала для контроля параметров рабочего процесса.

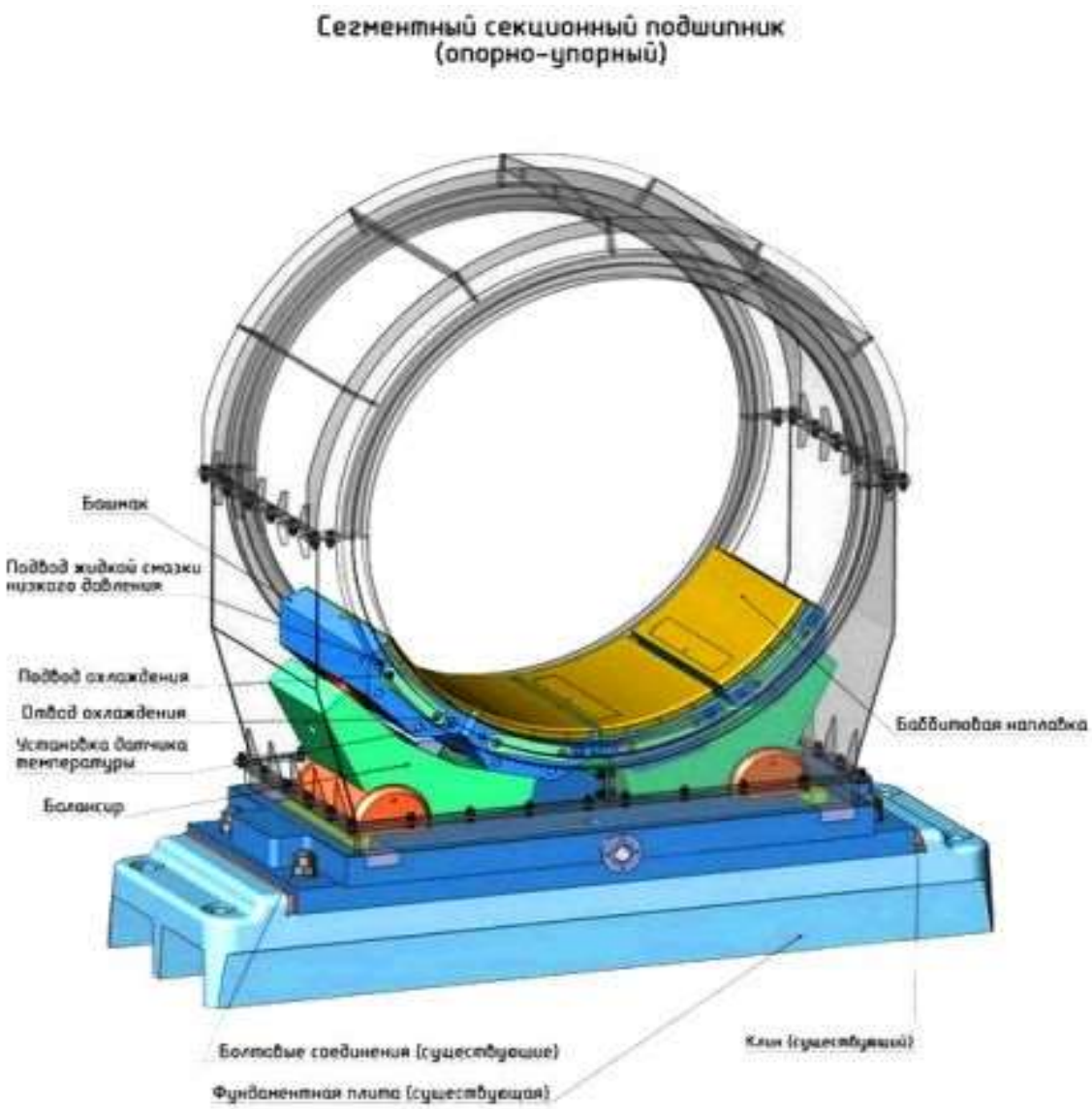
К недостаткам можно отнести:

1. Необходимость во внешнем источнике электроэнергии;
2. Сложность электронного блока управления;
3. Относительно низкая несущая способность;
4. Относительно высокая стоимость;
5. Необходимость в персонале высокой квалификации

Для обеспечения работы и подшипников, и уплотнения компрессорная установка должна иметь две маслосистемы: низкого и высокого давления.

Маслосистема низкого давления обеспечивает работу подшипниковых узлов. В зависимости от конструкции подшипников давление в системе находится в пределах 0,2 ÷ 0,4 МПа, температура масла на входе в подшипники находиться в пределах $40 \div 45^0$ С.

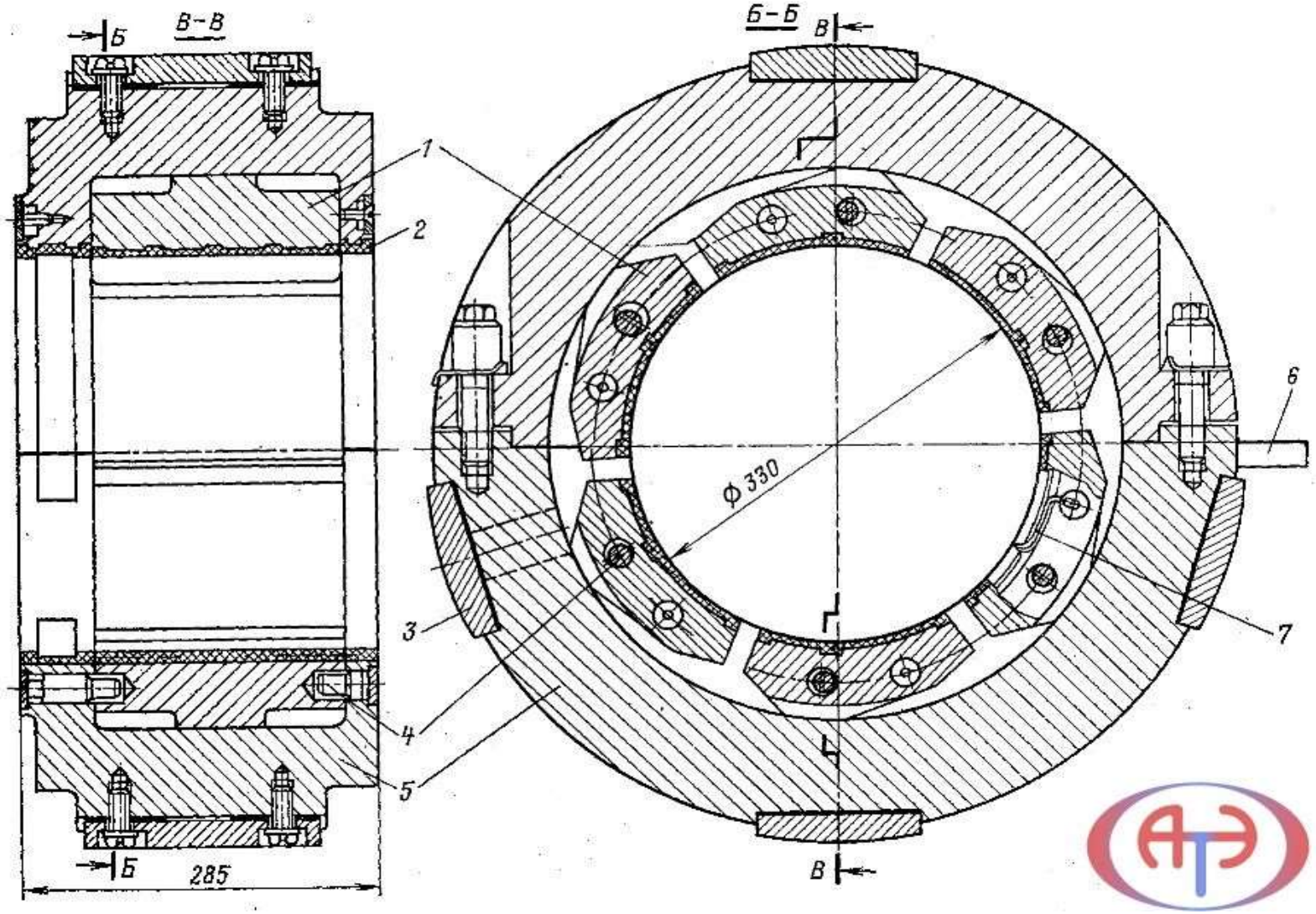
Давление подачи масла для работы концевых уплотнений зависит от давления на входе в первую ступень для компрессоров с односторонним расположением рабочих колес на роторе и будет одинаковым для обоих концевых уплотнений. Для роторов с расположением рабочих колес спина к спине давление масла в обоих уплотнения будет различным и зависит от давления всасывания в первые ступени каждой секции.



При работе центробежных компрессоров, паровых и газовых турбин при высоких частотах вращения их роторов нередко возникают низкочастотные вибрации, обусловленные гидродинамическим и газодинамическим возбуждением, и в этом случае находят применение подшипники скольжения сегментного (колодочного) типа, обеспечивающие высокую вибрационную надежность.

http://www.findpatent.ru/patent/261/2619408.html
© FindPatent.ru - патентный поиск, 2012-2018

Больше информации о компрессорной технике на сайте научно-инжиниринговой группы
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»
www.kviht.ru тел. +7(812) 715-41-64



Сегментный подшипник ЛМЗ:
1 – сегменты; 2 – уплотнение; 3 – установочные колодки; 4 – штифты; 5 – вкладыш; 6 – стопорная шайба; 7 – термопара.

На рисунке показана конструкция сегментного подшипника, используемого ЛМЗ для мощных турбин. На штифтах свободно установлены шесть опорных сегментов. В рабочем состоянии сегменты опираются на внутреннюю поверхность вкладыша и поворачиваются вокруг точки опоры до тех пор, пока равнодействующая сил давления со стороны ротора на сегмент не пройдет через точку опоры. Каждая колодка снабжена термопарой для измерения ее температуры. Опорные колодки служат для установки вкладыша в корпусе подшипника.

7. Техническое обслуживание центробежных компрессоров

При текущем ремонте (ориентировочная трудоемкость 40 часов) центробежного компрессора проводят следующие работы: устранение дефектов, записанных в журналах сменного персонала; ревизию и замену быстроизнашивающихся деталей и узлов, регулировку зазоров и натягов; замер вибрации до остановки на ремонт и после ремонта; наружный осмотр коммуникаций и др.

При среднем ремонте (ориентировочная трудоемкость 160 часов) выполняют следующие работы: все работы текущего ремонта; визуальный осмотр фундаментов; вскрытие центробежного компрессора; проверку корпуса на наличие трещин, коррозии и эрозии; ревизию ротора с проверкой рабочих колес; замеры шеек вала на конусность и эллипсность; проверку биения ротора по индикатору; ревизию уплотнений, соединительной муфты, редуктора; проверку центровки компрессора; ревизию главного и пускового насосов; проверку фланцевых соединений газового тракта на плотность; ревизию маслоохладителей и др.

При капитальном ремонте (ориентировочная трудоемкость 340 часов) выполняют все работы текущего и среднего ремонтов и, кроме того, контроль затяжки фундаментных болтов и замер деформации рамы при подтяжке; осмотр фундамента и проверка его осадки; пневматические испытания корпуса; промывку и проверку на герметичность маслосистемы; гидравлические испытания промежуточных и концевых холодильников и др.

Перед вскрытием корпуса отсоединяют все трубопроводы, предварительно заглушив их. Крышку поднимают с помощью специальной траверсы, контролируя подъем в горизонтальном положении по направляющим шпилькам, смазанным маслом.

При ремонте корпус очищают от загрязнений и ржавчины и выявляют наличие трещин. Для выявления деформации рамы, с помощью уровня определяют уклон по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Допустимое отклонение от горизонтальности или деформации составляет не более 0,2 мм на 1 м длины. В процессе разборки необходимо выполнить ряд контрольных замеров. Демонтировав крышки подшипников, при помощи свинцового оттиска проверяют величину пятна между вкладышем и крышками, а также верхние масляные зазоры. Боковые масляные зазоры определяют щупом. При помощи индикатора проверяют осевой разбег ротора в упорном подшипнике (допускается до 0,25 *мм*).

Сняв крышку редуктора, с помощью свинцового оттиска проверяют параллельность осей валов шестерни и колеса, величину зазоров в подшипниках, зазор между вершиной и основанием находящихся в зацеплении зубьев редуктора. Допустимые значения верхних зазоров в подшипниках зависят от диаметра шейки вала, приведены в паспорте завода-изготовителя и лежат в пределах от 0,10 до 0,24 *мм*.

Определяя зазоры, одновременно проверяют контакт поверхности верхней установочной колодки вкладыша с крышкой. Должно обеспечиваться равномерное касание по всей поверхности колодки - на площади не менее 70%. Для проверки контакта на поверхность колодки вкладыша наносят краску, крышку устанавливают на место и затягивают разъем. Отпечатки краски показывают место контакта вкладыша с крышкой. Подгонку поверхности выполняют напильником и шабером.

Посаженные на вал колеса проверяют на осевое биение по ободу диска. Плотность посадки рабочих колес и упорного диска на ротор проверяют по звуку путем обстукивания медным молотом 0,2 - 0,3 *кг*.

Обнаруженные риски и шероховатость на шейках вала ротора зачищают с помощью мелкозернистого наждачного полотна, а затем полируют тонкой пастой ГОИ. Чистота поверхности шеек ротора должна соответствовать указаниям чертежа. Риски и шероховатости на рабочей плоскости упорного диска удаляют шлифованием пастой ГОИ с использованием чугунных притиров.

Для проверки ротора на биение его укладывают на опорные подшипники и для устранения осевого смещения собирают упорный подшипник. Проверку производят индикатором, устанавливаемым на горизонтальной плоскости разъема корпуса или подшипников, в зависимости от места замера. Замеры производят по сечениям вала, находящимся на расстоянии 300 - 500 *мм*. Сечения выбирают у шеек вала, концевых уплотнений, между рабочими колесами, по окружности полумуфт и упорного диска. Для определения характера прогиба по окружности каждого сечения производят 4 - 6 замеров.

После ремонта с проточкой или шлифовкой величина биения шеек вала и упорного диска не должна превышать 0,02 *мм*, а втулок уплотнений и полумуфт по окружности - 0,03 - 0,05 *мм.*

Замер зазоров в лабиринтных уплотнениях производится с помощью набора длинных ленточных щупов. Замеры в горизонтальной плоскости выполняются с обеих сторон уплотнения, а при измерении зазора в нижней части уплотнения пластины щупа следует опускать на половину нижней полуокружности.

После установки ротора в корпус компрессора проверяют взаимное положение каналов рабочих колес и диффузоров. Отклонения не должны превышать паспортных данных машины.

При сборке компрессора разъем уплотняют с помощью мастики, которую наносят ровным слоем толщиной около 1 *мм* на чистый фланец нижней половины корпуса. Крышку медленно опускают с помощью траверсы по смазанным направляющим шпилькам, постоянно контролируя ее горизонтальное положение. Когда расстояние между поверхностями разъема составит 4 - 5 *мм*, устанавливают контрольные штифты, которые после окончательного опускания крышки забивают свинцовым или медным молотком. После того как крышка встала на место, ротор проворачивают, проверяя на слух, не задевает ли он крышку, после чего выполняют легкую затяжку болтов. Окончательную затяжку болтов проводят до того, как мастика окончательно затвердеет. Затем вторично проверяют, не задевают ли детали проточной части за корпус.

Достоинства и недостатки

Центробежные компрессоры имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами компрессоров:

а) Сравнительно небольшие размеры и массу. Это обусловлено непрерывностью и большими скоростями потока газа;

б) Отсутствие возвратно-поступательного движения. Это позволяет иметь легкий фундамент и облегчает эксплуатацию;

в) Равномерность подачи газа;

г) Отсутствие загрязнения компримируемого газа смазочными материалами. Малый расход смазочных веществ;

д) Возможность непосредственного соединения компрессора с быстроходной паровой или газовой турбиной;

е) Возможность получения в компрессоре весьма больших расходов газа.

К недостаткам центробежных компрессоров стоит отнести главным образом трудности выполнения их для получения малых расходов и отношения давлений порядка нескольких десятков и выше, а также то, что устойчивая работа этих машин возможна в ограниченном диапазоне производительностей.

Область и диапазон применения

Диапазоны применения центробежных компрессоров указаны на основе обобщенных данных от производителей:

Давление конечное: до 50 МПа

Производительность: до 9000 нм^3/мин

Мощность: до 32 МВт

Диапазоны применения центробежных компрессоров для компримирования попутного нефтяного газа на основе обобщенных данных от производителей:

- давление начальное от 0,1 МПа;
- давление конечное до 27,5 МПа
- производительность от 1000 м3/час до 400000 м3/час;
- единичная мощность до 32 МВт;

8. Основные производители центробежных компрессоров

Основные производители в РФ
РЭПХолдинг СПб;
НПО «Искра»;
ОАО «Казанькомпрессормаш»;
И др.

За рубежом
Siemens;
MAN;
GE Centrifugal& Axial Compressors;
Atlas Copco;
И др.

Спасибо за внимание