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

@KVIHT

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

Блок 1

Лекция: Поршневые компрессорные

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. Основные понятия и определения.
2. Способы повышения давления в газах. Классификация компрессоров.
3. Поршневые компрессоры. Принцип действия. Термодинамические основы поршневых компрессоров.
4. Основные элементы ступени поршневого компрессора.
5. Разновидности систем смазки поршневых компрессоров.
6. Регулирование производительности поршневых компрессоров.

Количество газа, подаваемого компрессором в единицу времени, называется производительностью компрессора.

Производительность измеряется объемом газа, приведенным к давлению и температуре его во всасывающем патрубке (т.е. практически к атмосферным условиям P_a и T_a). В этом случае она называется объемной производительностью V и измеряется в $м^3/с$, $м^3/мин$, $м^3/ч$.

Производительность компрессора относят и к состоянию газа при каких-либо других условиях. Например, при так называемых нормальных условиях: P_0=760 мм рт. ст. (0,1013 МПа);T_0=273,15K, тогда производительность называется производительностью при нормальных условиях ($нм^3/мин$).

Вместо объемной производительности на практике часто используется массовая производительность $m_в$, кг/с, которая связана с объемной производительностью V, $м^3/с$.

В большинстве компрессоров используется понятие отношение давлений π, численно равное отношению конечного давления за компрессором к давлению на входе в компрессор. Однако есть ряд компрессоров, для которых возможно использования понятия степень сжатия.

Поршневой оппозитный компрессор Ariel

Одноступенчатый компрессор - компрессор, повышение давления газа в котором от начального значения до конечного достигается одной ступенью.

Многоступенчатый компрессор - компрессор, повышение давления газа в котором от начального значения до конечного достигается последовательным сжатием более чем в одной ступени.

Рабочий процесс компрессора - совокупность физических явлений, сопровождающих повышение давления и перемещение газа в компрессоре и обеспечивающих передачу газу механической энергии двигателя.

2. Способы повышения давления в газах. Классификация компрессоров

Как известно есть несколько способов увеличения давления газа это либо увеличение концентрации молекул газа, что приводит к более частому соударению молекул со стенками сосуда, или увеличение скорости соударения, которое может быть достигнуто либо передачей кинетической энергии газу, либо нагревом газа.

Рассмотрим два **способа повышения давления:**

1. Статический способ повышения давления за счет уменьшения объема газ происходит сжатие. Способ нашел широкое применение в машинах объемного принципа действия.
2. Динамический способ повышения давления за счет передачи газу кинетической энергии вращающегося лопаточного аппарата. Способ нашел широкое применение в машинах динамического принципа действия.

Рассмотрим краткую классификацию компрессоров

Компрессоры

Динамического действия

Центробежные и осевые компрессоры

Объемного действия

Возвратно-поступательного действия

Поршневые и мембранные компрессоры

Ротационные

Пластинчатые,
Винтовые и т.д.

Общая классификация компрессоров

– по принципу действия: объемные и лопастные;

– назначению: по отрасли производства, для которой они предназначены (химические, энергетические, общего назначения и т. д.), по роду сжимаемого газа (воздушные, гелевые, хлорные, кислородные, азотные и т.д.), по непосредственному назначению (пускового воздуха, тормозные и т.д.);

– конечному давлению: вакуум-компрессоры – машины, которые отсасывают газ из пространства с давлением ниже атмосферного
или выше; компрессоры низкого давления (КНД) – предназначены для нагнетания газа при давлении от 0,15 до 1,2 МПа, среднего давления (КСД) – от 1,2 до 10 МПа, высокого (КВД) – от10 до 100 МПа, сверхвысокого (КСВД) – свыше 100 МПа;

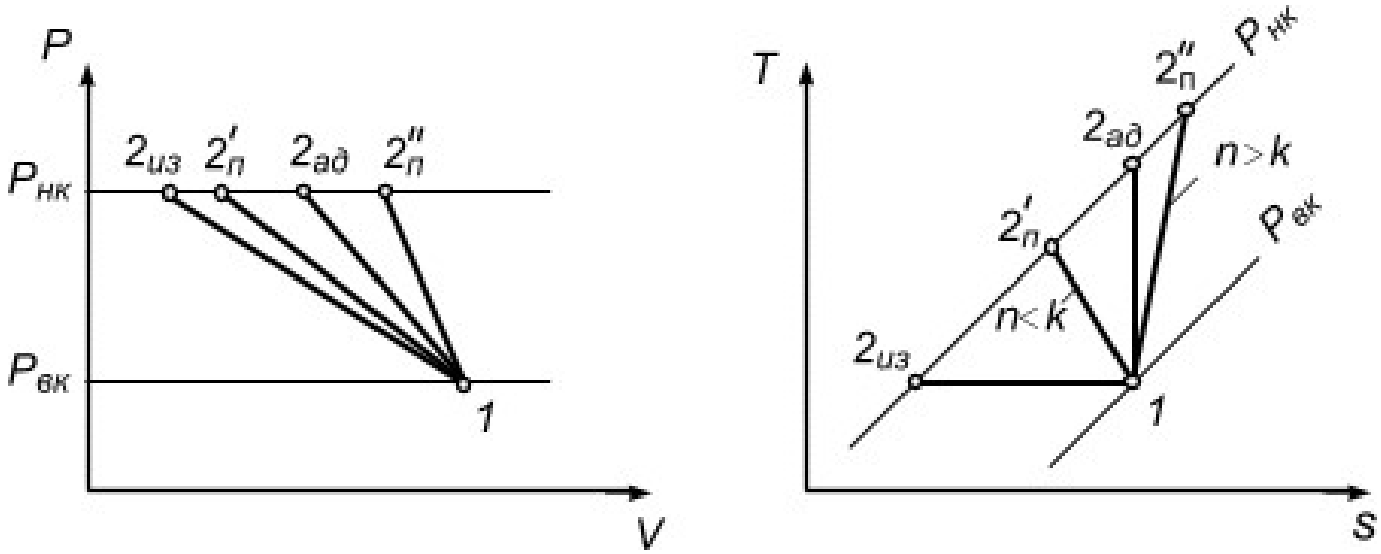
– способу отвода теплоты – с воздушным и водяным охлаждением;

– типу приводного двигателя – с приводом от электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания, паровой или газовой турбины.

3. Поршневые компрессоры. Принцип действия. Термодинамические основы поршневых компрессоров.

Удельная работа сжатия в компрессоре – это работа, сообщенная 1 кг воздуха при сжатии, $l_к$, кДж/кг. Процессы сжатия в компрессоре зависят от внешних условий.

Различают **четыре** теоретических процессов сжатия. Отображение процессов сжатия газа от давления P_1 до давления P_2 в P,V- и T,s - диаграммах представлено на рисунке

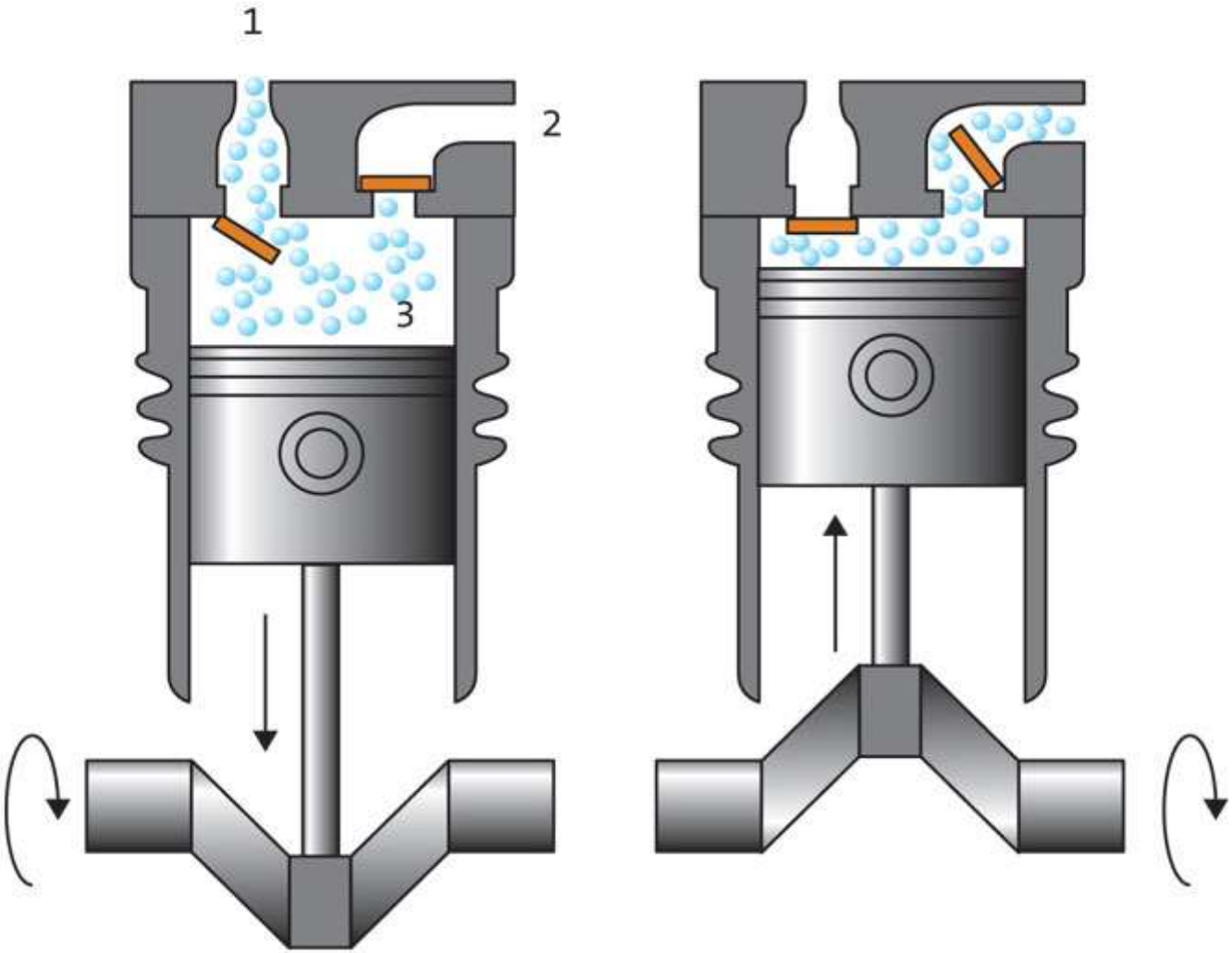


Диаграммы возможных режимов сжатия газов:

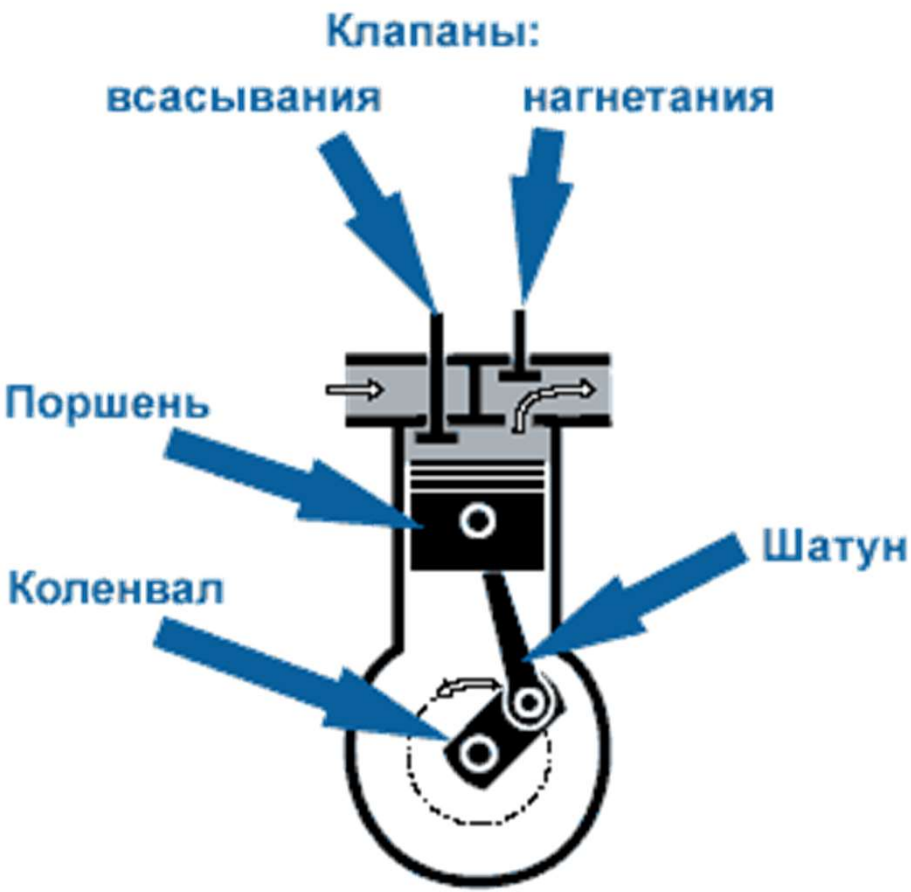
Индикаторная диаграмма идеального рабочего процесса компрессора

При рассмотрении идеального цикла поршневого компрессора принимают следующие допущения:

1.Отсутствуют сопротивления движению потока газа (в том числе и в клапанах).
2.Давление и температура газа во всасывающей и нагнетательной линиях постоянны.
3.Давление и температура газа в период всасывания, так же как и в период выталкивания газа из цилиндра, не меняются.
4.Мертвое (вредное) пространство в цилиндре компрессора отсутствует.
5.Нет потерь мощности на трение и нет утечек газа.

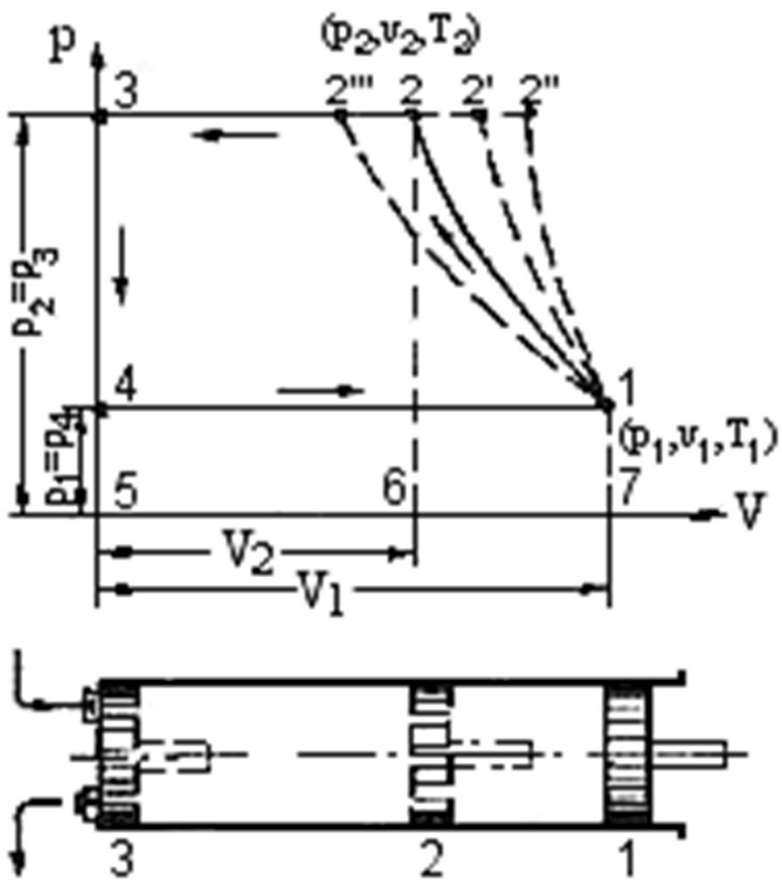


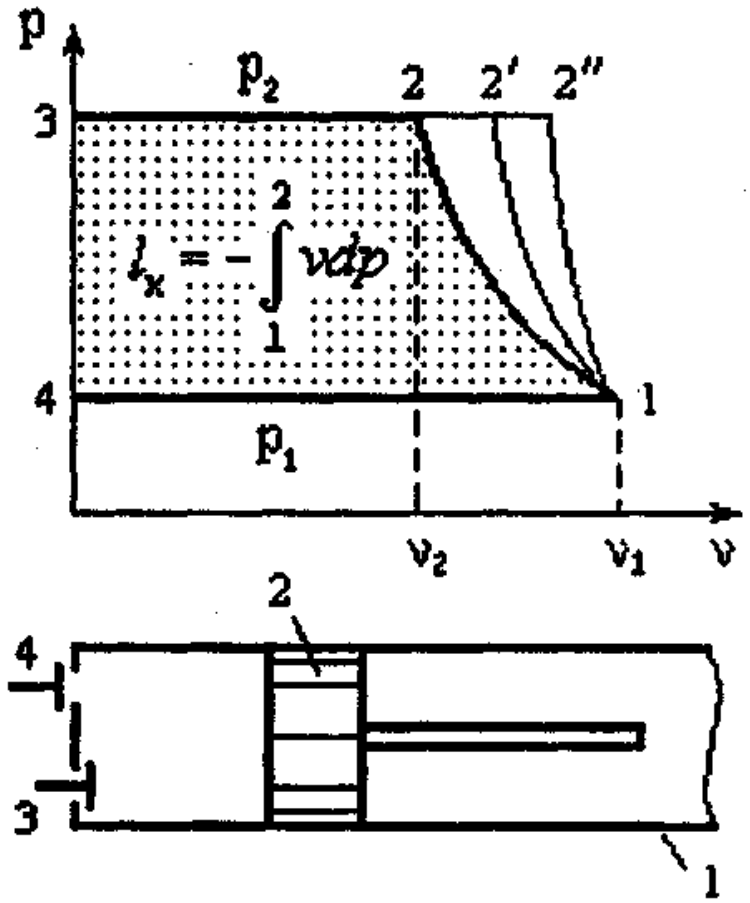
Принцип действия поршневого компрессора



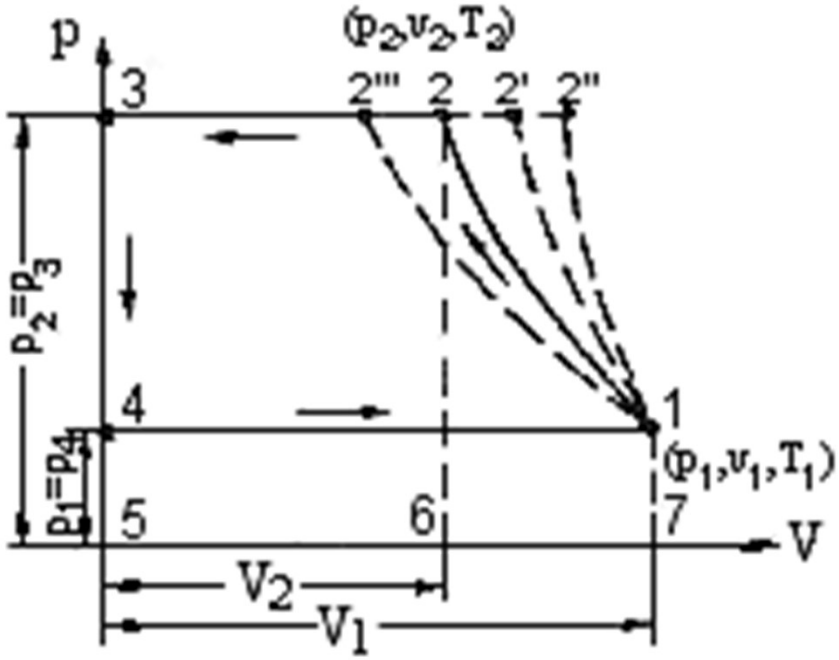
Поршневой компрессор простого действия

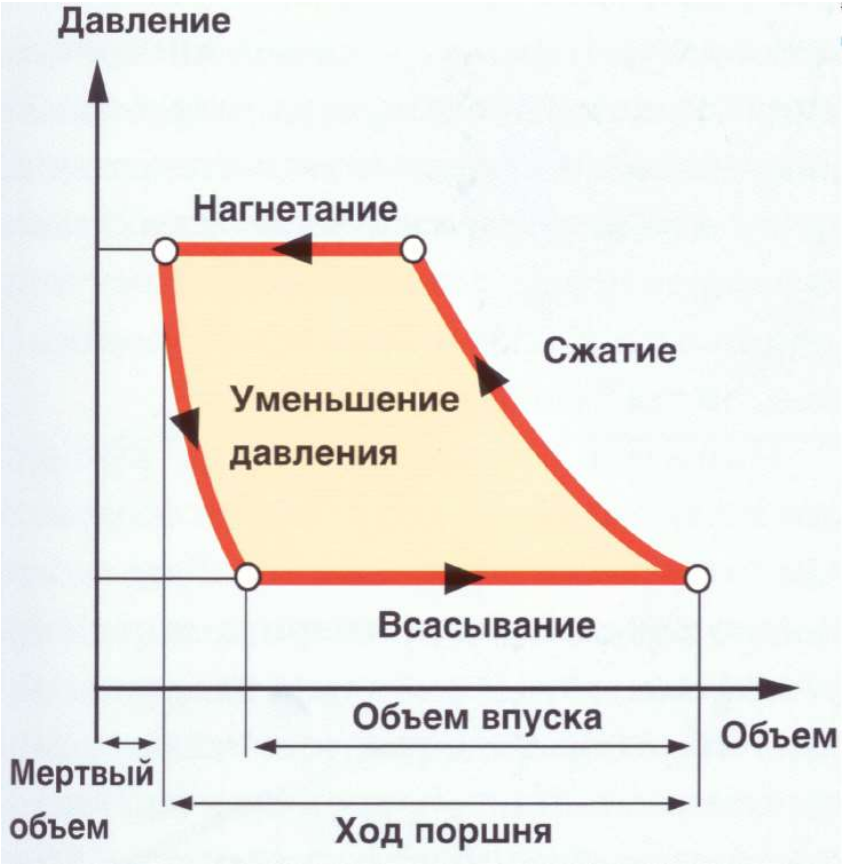
Компрессор, выполненный по такой конструктивной схеме, имеет одну рабочею камеру при одном поршне, всасывающие и нагнетательные клапаны установлены в крышке.


p
(p2,v2,T2)
3
2'''
2
2'
2''
p2=p3
4
1
p1=p4
(p1,v1,T1)
5
6
7
V
V2
V1
3
2
1

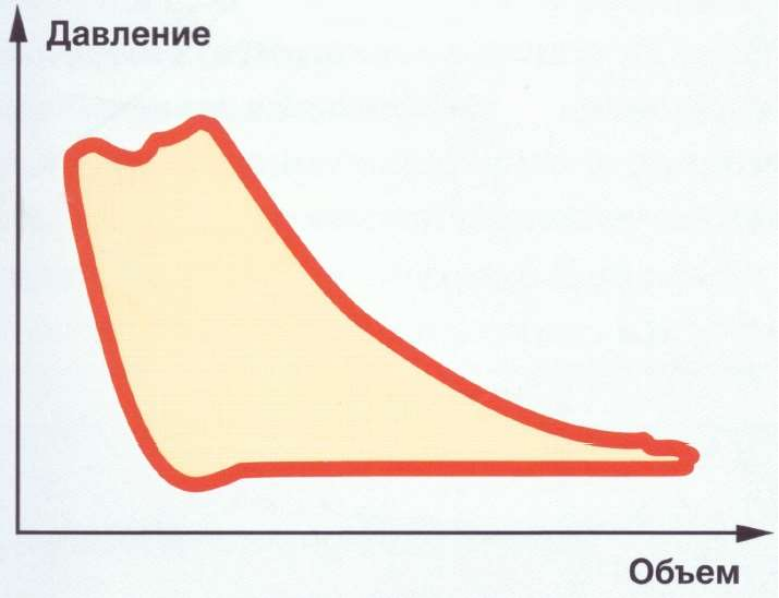

p
p2
2
2'
2''
3
$l_x = -\int_1^2 v dp$
4
1
p1
v2
v1
v
2
4
3
1

Работа сжатия газа от давления всасывания p_1 до давления нагнетания p_2 в цилиндре компрессора за время одного цикла характеризуется площадью индикаторной диаграммы, ограниченной линиями, которые соединяют точки *1-2-3-4*. В случае идеального процесса, когда исключены все непроизводительные потери энергии, затрачиваемая энергия равна полезной. Таким образом, индикаторная диаграмма в этом случае дает величину затрачиваемой и полезной работы.

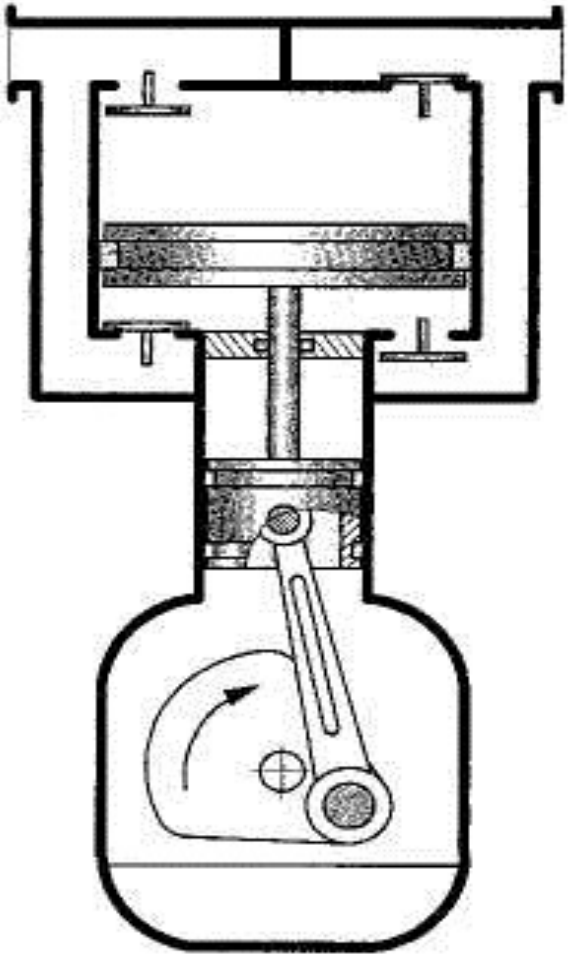




Идеализированная диаграмма работы ПК с самодействующими клапанами с учётом мертвого пространства



Реальная диаграмма работы ПК с самодействующими клапанами



Поршневой компрессор двойного действия

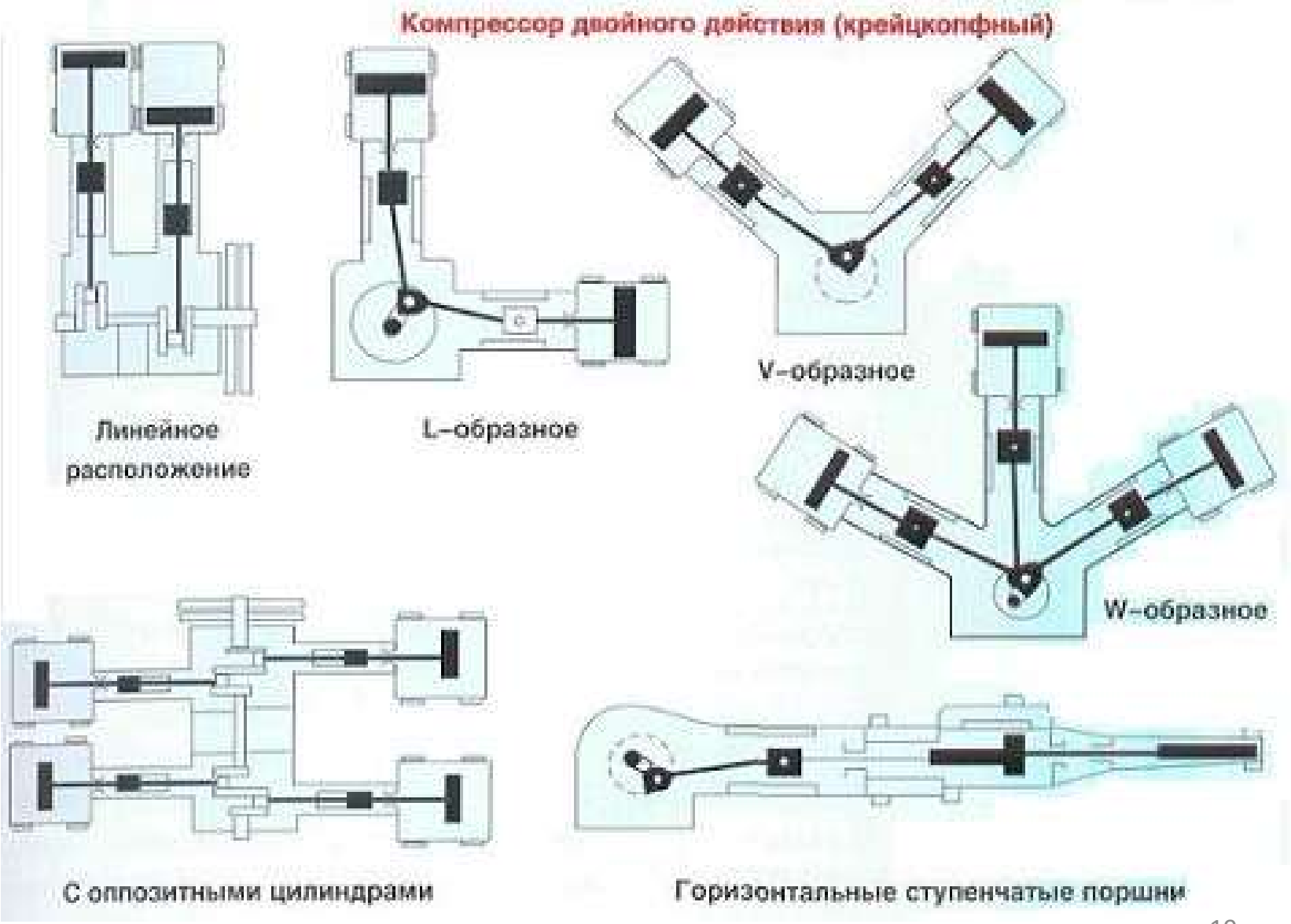
Компрессор, выполненный по такой конструктивной схеме, имеет две рабочие камеры при одном поршне, а всасывающие и нагнетательные клапаны установлены в обеих крышках. При ходе поршня вниз в верхней рабочей камере происходит процесс всасывания, а в нижней — процесс нагнетания. При движении поршня вверх сжатый воздух подается в напорную линию из верхней рабочей камеры, в то время как процесс всасывания осуществляется в нижней. Производительность компрессора двойного действия практически в два раза выше производительности компрессора традиционной конструкции при одинаковых объемах рабочих камер.

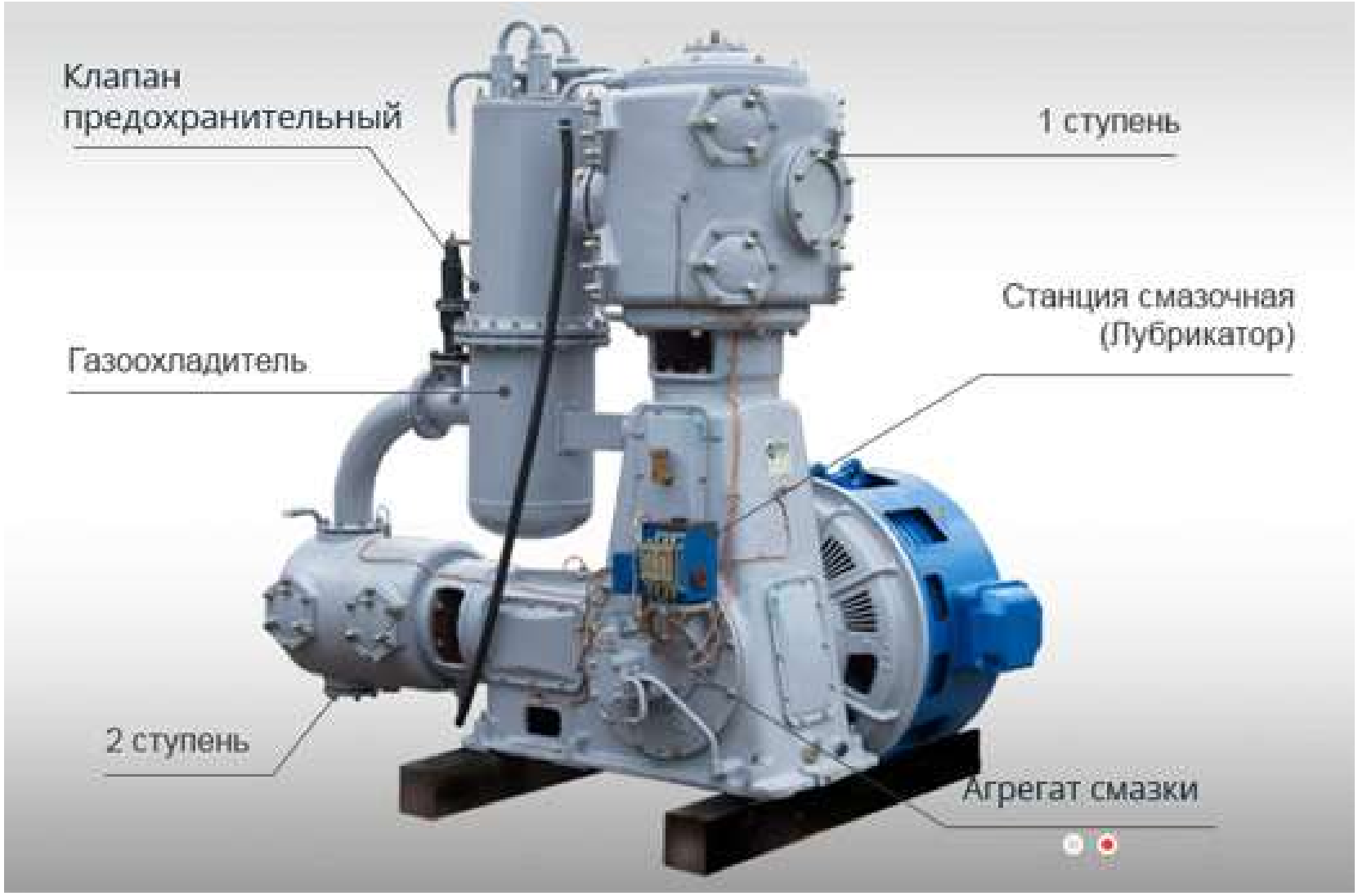
Установки поршневого типа стали особенно популярны благодаря сочетанию таких преимуществ, как удобство эксплуатации, высокие рабочие характеристики, длительный срок службы, небольшие габариты и многое другое. При этом данный вид компрессоров отлично подходит для любых видов работ с широким диапазоном значения необходимого давления.

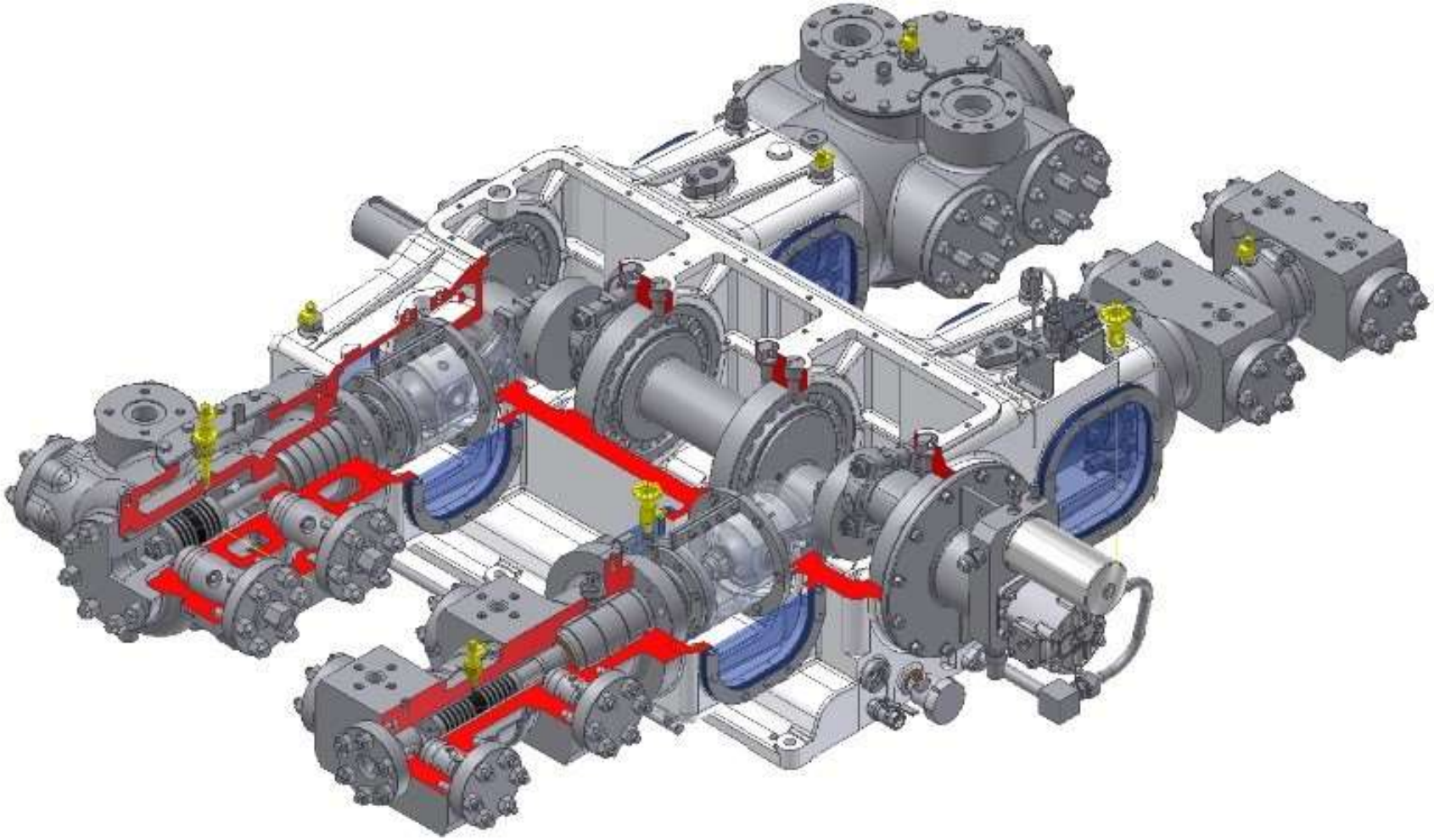
Поршневые компрессоры имеют свою классификацию и подразделяются на:

- двойного или одинарного действия;
- масляные и безмасляные;
- угловые, горизонтальные, вертикальные;
- с различным количеством цилиндров.

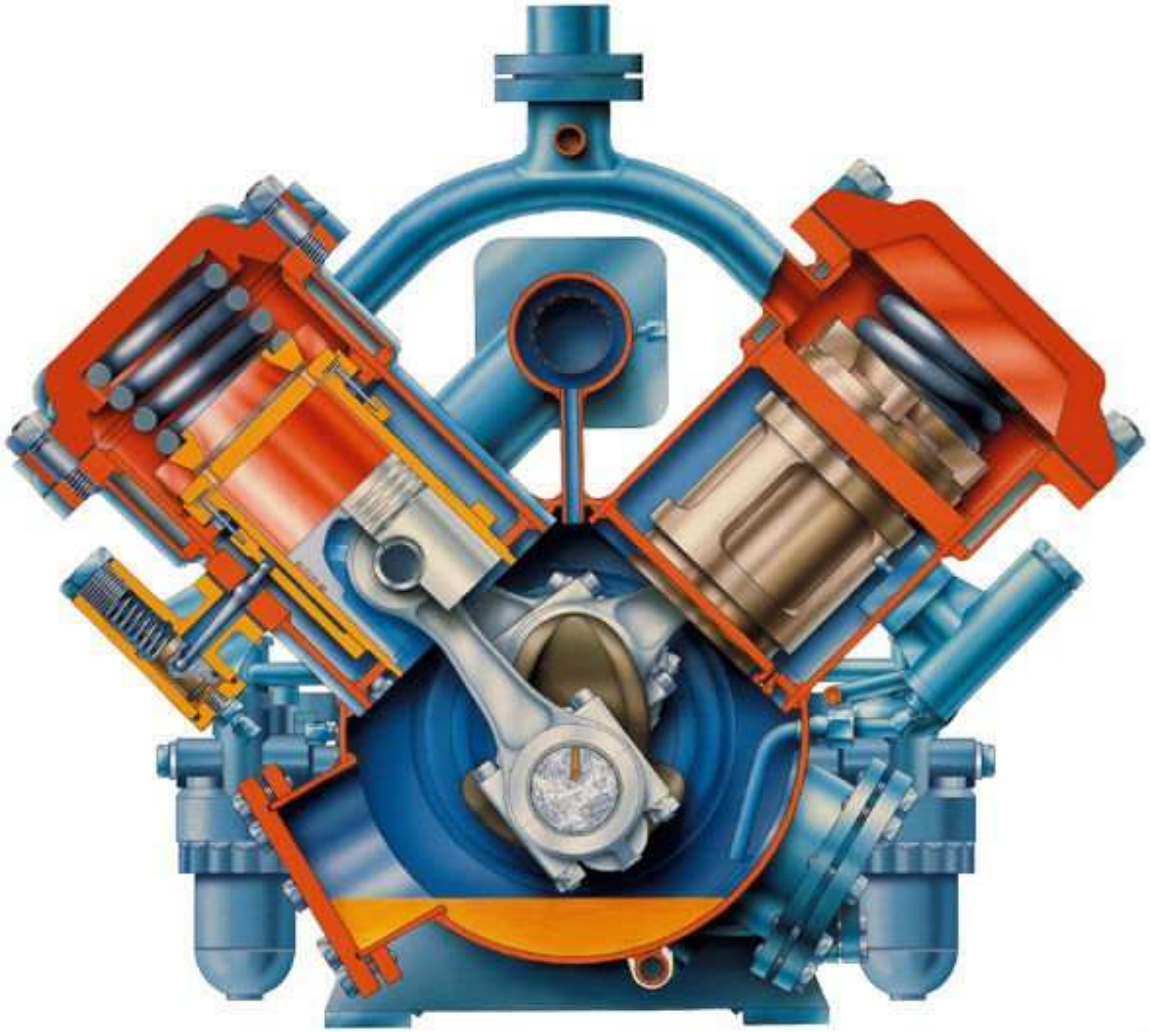
Компрессор одинарного действия
Вертикальное расположение
V-образное
W-образное
Ступенчатый поршень
(дифференциальный)


Компрессор двойного действия (крейцкопфный)
Линейное расположение
L-образное
V-образное
W-образное
С оппозитными цилиндрами
Горизонтальные ступенчатые поршни

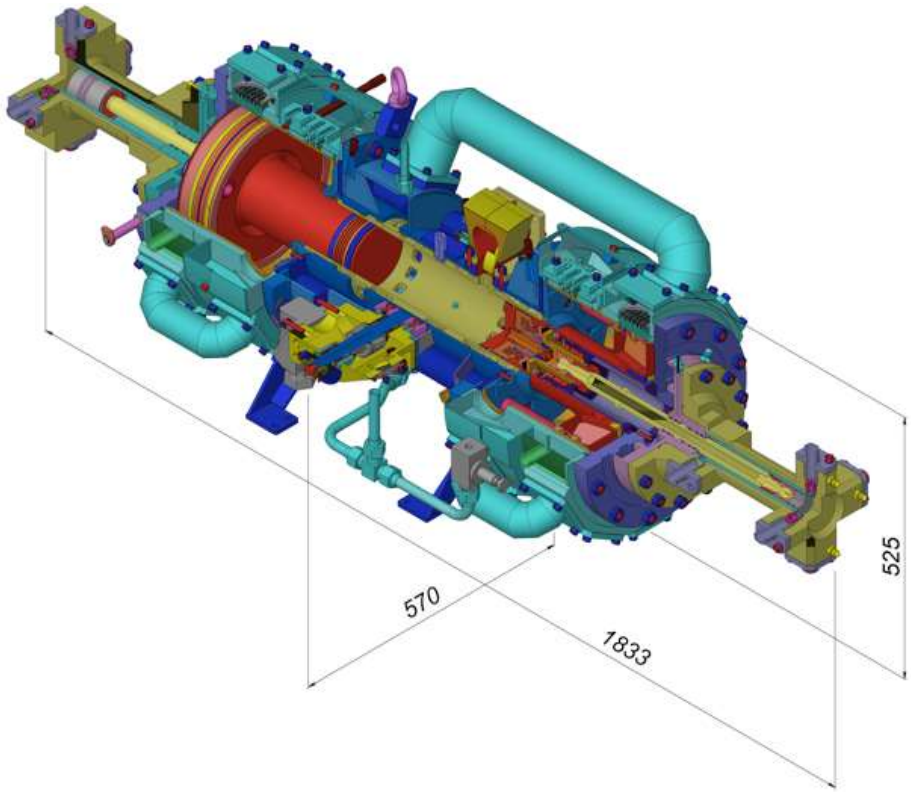

Клапан предохранительный
1 ступень
Станция смазочная (Лубрикатор)
Газоохладитель
2 ступень
Агрегат смазки



Оппозитный поршневой компрессор ЧКЗ



СПДК является высокоэффективным, автономным (не требует электростанции) компрессорным агрегатом для сжатия различных газов и позволяет решить проблемы обеспечения транспорта нетрадиционным моторным топливом; экологические проблемы сбросных газов и социальные задачи обеспечения теплогазоснабжения отдаленных объектов.

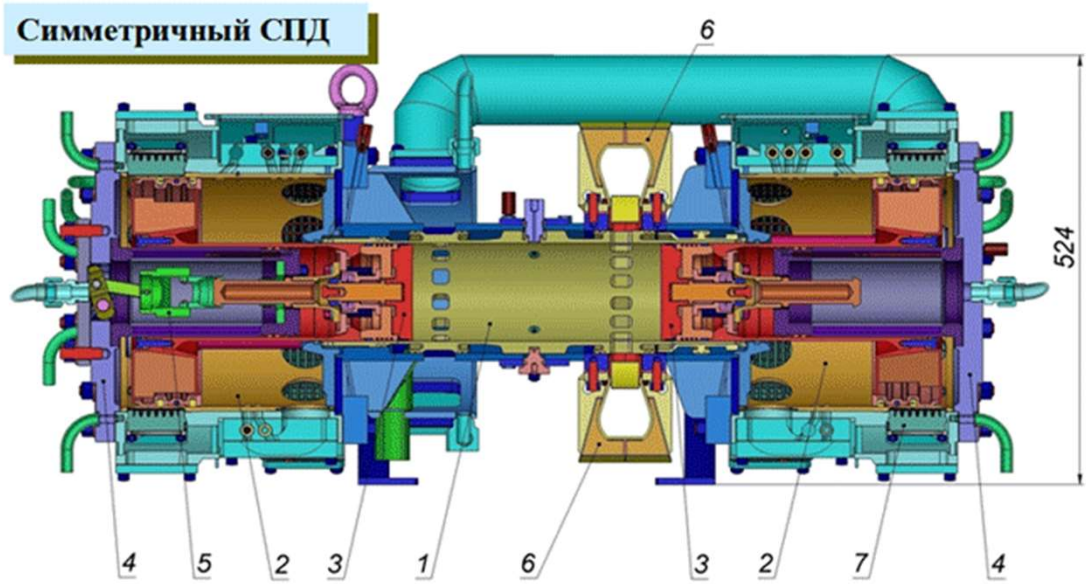


СПДК имеют малые габариты и массу, абсолютно уравновешены (не требуется фундамент), легкий и надежный пуск. Затраты на 1 м3 вырабатываемого сжатого воздуха или газа у СПДК в 1,5 – 2 раза ниже, чем у приводного компрессора равной производительности.

Приводной двигатель – газовый дизель с воспламенением от сжатия.

Материалоёмкость СПДК в 3,8 – 6,5 раза меньше электроприводных компрессоров.

Сменные компрессорные ступени без смазки обеспечивают работу СПДК с произвольными давлениями всасывания и



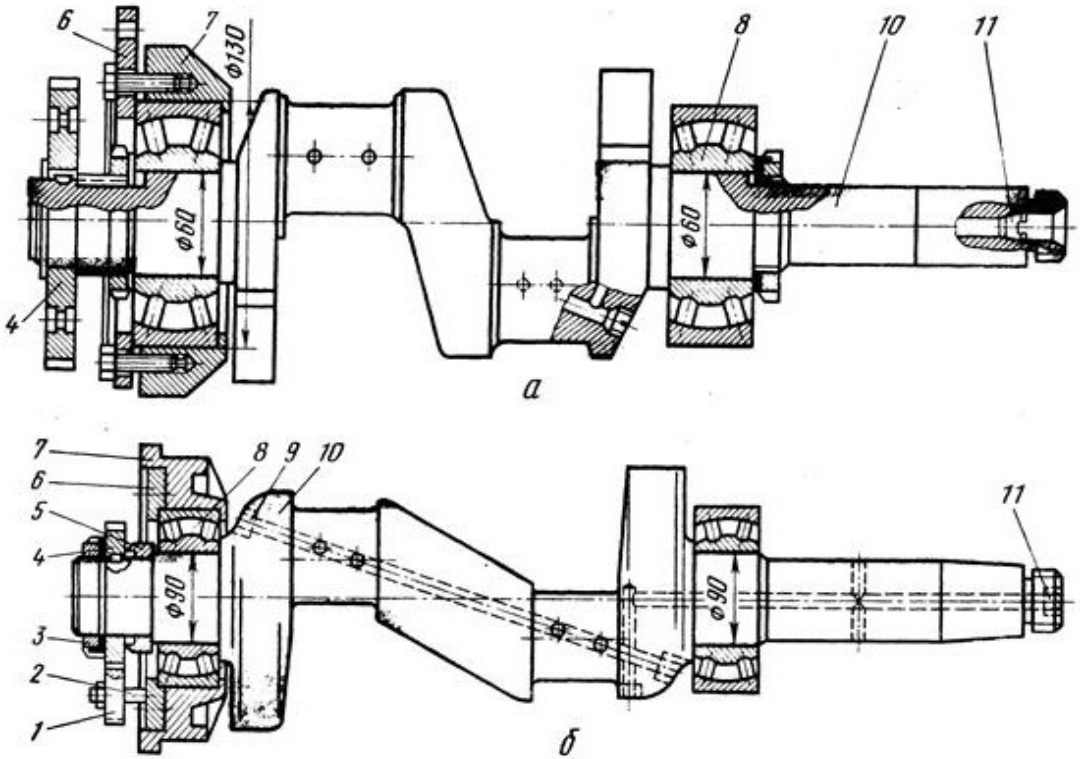
1-остов, 2-компрессоры, 3-поршни, 4-буферные крышки,
5-механизм пуска, 6-выхлопные патрубки, 7-клапаны.

4. Основные элементы ступени поршневого компрессора

Рассмотрим основные элементы ступеней и механизмов движения:

1.Коленчатый вал компрессора

Коленчатый вал – преобразовывает один тип механического движения в другой, а именно: поступательное во вращательное.



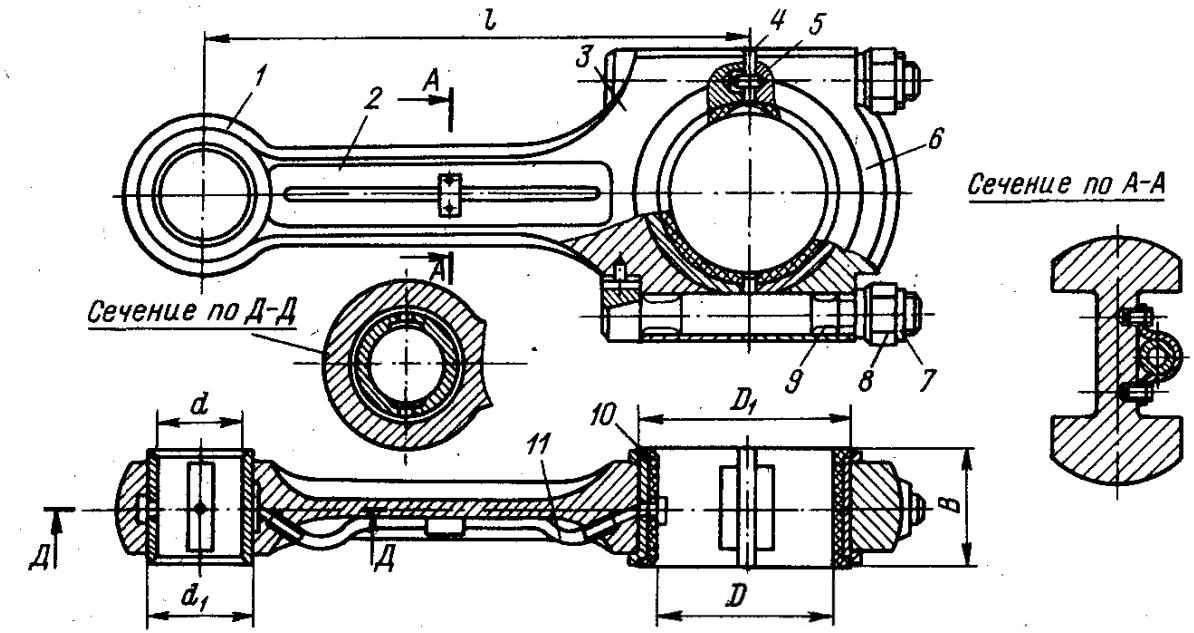
1-шестерня промежуточная ; 2-валик промежуточной шестерни; 3-гайка; 4-шестерня привода маслонасоса; 5-упорное кольцо; 6-крышка корпуса; 7-корпус подшипника; 8-подшипник качения; 9-заглушка; 10-коленчатый вал; 11-пробка.

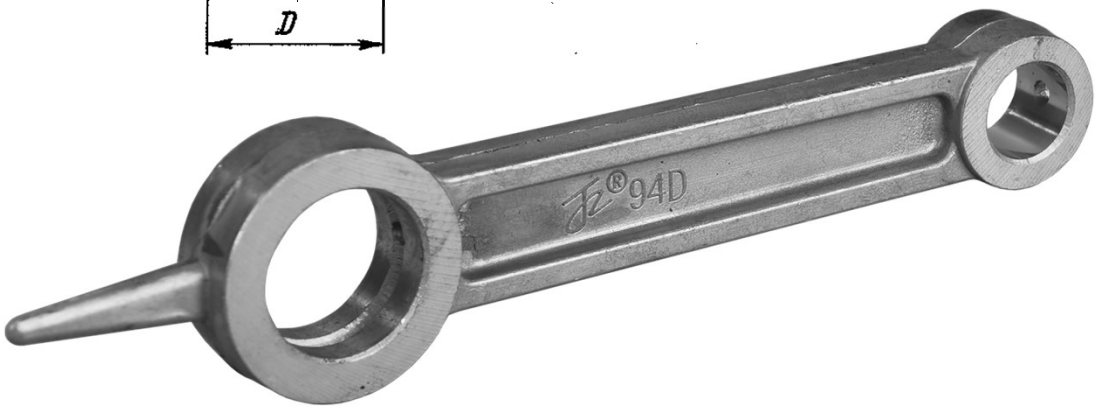
На щеках вала имеются литые съемные противовесы, которые служат для уравновешивания сил и моментов инерции.

В некоторых малых компрессорах применяются консольные или эксцентриковые валы, двухколенные. Валы выполняют цельноковаными, штампованными или литыми. Для компрессоров с принудительной смазкой коленчатые валы изготавливают со специальными просверленными масляными каналами. При смазке разбрызгиванием на валу (иногда на шатунах) устанавливают захватывающие устройства.

Для коленчатых валов применяют высококачественную углеродистую сталь 40, 45 или легированную сталь 40Х с последующей термообработкой. Поверхность шатунных и коренных шеек доводят до твердости 48-62HRC.

Шатуны, предназначены для преобразования вращательного движения коленчатого вала в возвратно-поступательное движение поршня (крейцкопфа) в поршневых компрессорах служит шатун. В зависимости от конструкции и назначения компрессора применяют различные типы шатунов. Наиболее распространенные из них представлены на рисунке.





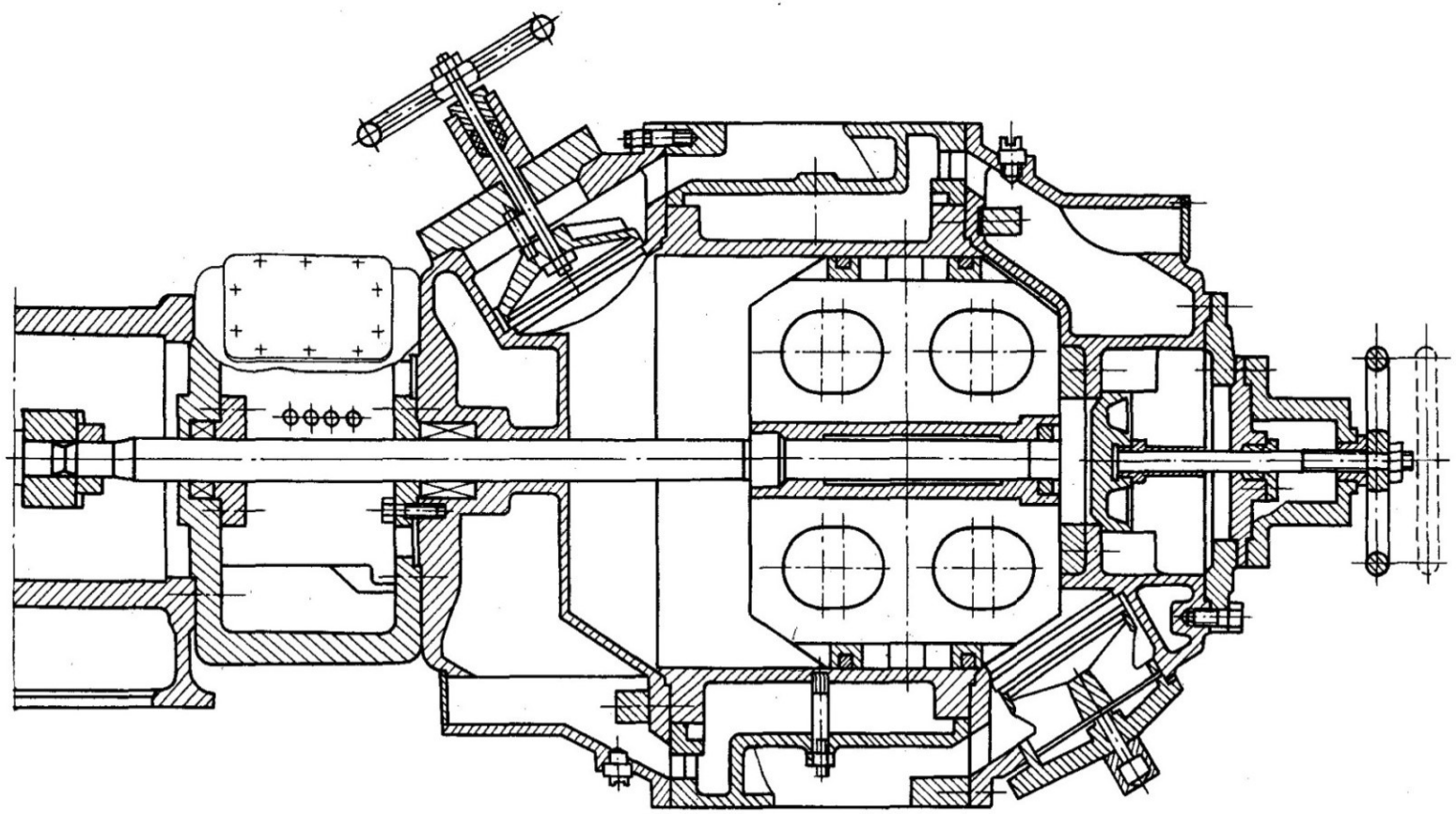
Цилиндр поршневого компрессора

Конструктивные формы цилиндров весьма многообразны и определяются следующими основными факторами: схемой компрессора, величиной максимального рабочего давления, устройством охлаждения, родом сжимаемого газа. При проектировании учитывают материал цилиндров, а также оборудование завода-изготовителя. Цилиндры и крышки всех компрессоров для давлений до 7 МПа обычно изготовляются путем отливки из серого или легированного чугуна; до 12 МПа — из магниевого (высокопрочного) чугуна с шаровидным графитом; до 25 МПа — из стали; для давлений до 40 МПа цилиндры выполняют коваными из углеродистой стали, для более высоких давлений — коваными из легированной стали.

Цилиндры должны быть достаточно жесткими. Их деформации усиливают износ рабочей поверхности зеркала цилиндра, поршня и поршневых колец и вызывают необходимость в увеличении зазора между цилиндром и поршнем.

У бескрейцкопфных компрессоров последнее увеличивает унос масла из картера. У компрессоров с воздушным охлаждением цилиндры выполняются одностенными и имеют на внешней поверхности продольные или кольцевые ребра. Они имеют меньшую жесткость, чем двустенные с водяным охлаждением.

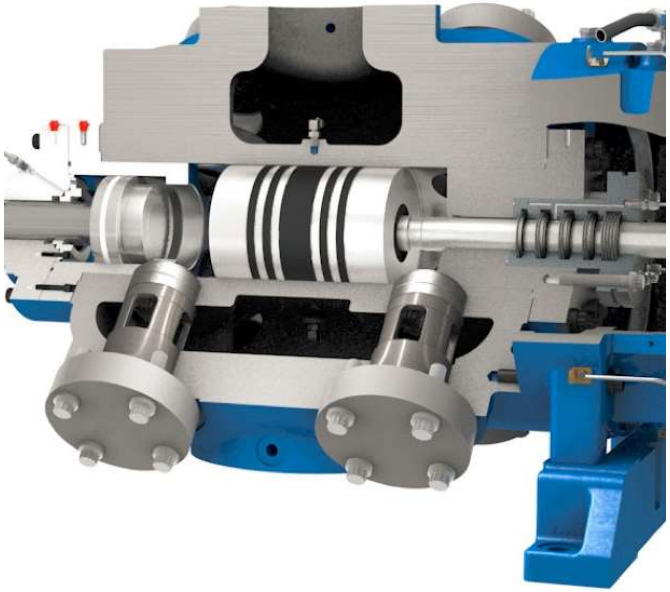
Для уменьшения деформации цилиндра шпильки крепления его крышки должны быть расположены близко к стенке цилиндра. Цилиндры оппозитных компрессоров с водяным охлаждением выполняются обычно двустенными с водяной полостью в кольцевом пространстве между внутренней и внешней стенками.



Цилиндр оппозитного компрессора

Чугунные цилиндры компрессоров кроме рабочей полости имеют водяную рубашку, клапанные коробки и каналы, соединяющие их со всасывающим и нагнетательным патрубками, и представляют собой сложные отливки. Рабочая поверхность цилиндров должна обладать высокой износоустойчивостью. Поэтому в чугунных и в стальных цилиндрах, материал которых склонен к образованию задиров, устанавливают втулки, отлитые из перлитного чугуна, обладающего более высокими антифрикционными свойствами и улучшенной структурой. Толщину втулок выбирают минимальной по условиям изготовления и сборки: при средних диаметрах — 8—10 мм и при больших — 16—25 мм. Смазка рабочей поверхности цилиндров (в случае принудительной подачи масла) осуществляется через штуцеры, ввинчиваемые в стенку цилиндра (втулки). Места установки штуцеров и их число зависят от размеров цилиндра, его расположения (вертикально, горизонтально) и типа поршня.

Применяемые в поршневых компрессорах поршни могут быть разделены на три группы: тронковые, дисковые и дифференциальные. Тронковые поршни применяются в ступенях одностороннего действия и соединяются с шатуном посредством поршневого пальца. Тронковые поршни первой и второй ступеней обычно выполняют с двумя уплотняющими кольцами, обращенными к плоскости сжатия, и двумя маслосъемными кольцами, предназначенными для удаления излишков масла, попадающего из картера при смазке разбрызгиванием. Избыток масла на поверхности цилиндра вызывает его перерасход, образование нагара на клапанах и в трубопроводах, отложение продуктов разложения масла в ресивере, что может явиться причиной взрывов в пневматических установках.

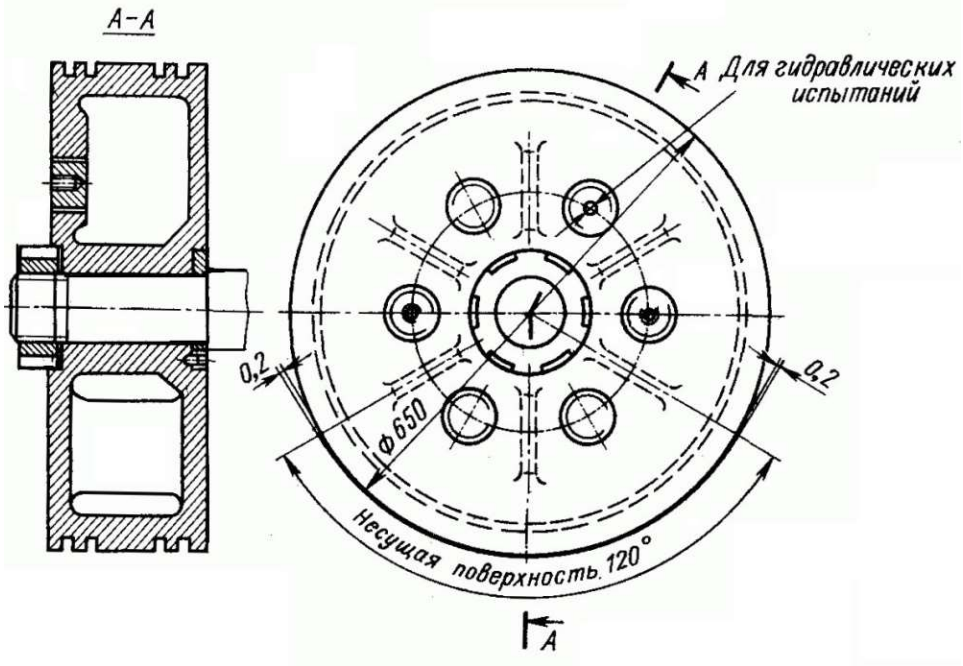


Маслосъемные кольца предпочтительнее размещать между уплотняющими кольцами и поршневым пальцем. При этом достигается лучшая смазка опорной поверхности поршня и более полный съем избытка масла. Перед маслосъемными кольцами на поршне делают кольцевые проточки с несколькими радиальными сверлениями по окружности для стока масла внутрь поршня. Такие же сверления для стока масла делают в канавке нижнего маслосъемного кольца.

В качестве материала для изготовления тронковых поршней применяют чугун СЧ25 или СЧ30 и специальные алюминиевые сплавы. Для алюминиевых поршней характерны меньшая масса и меньший коэффициент трения, однако они уступают чугунным износостойкостью. Все поршни подвергают старению.

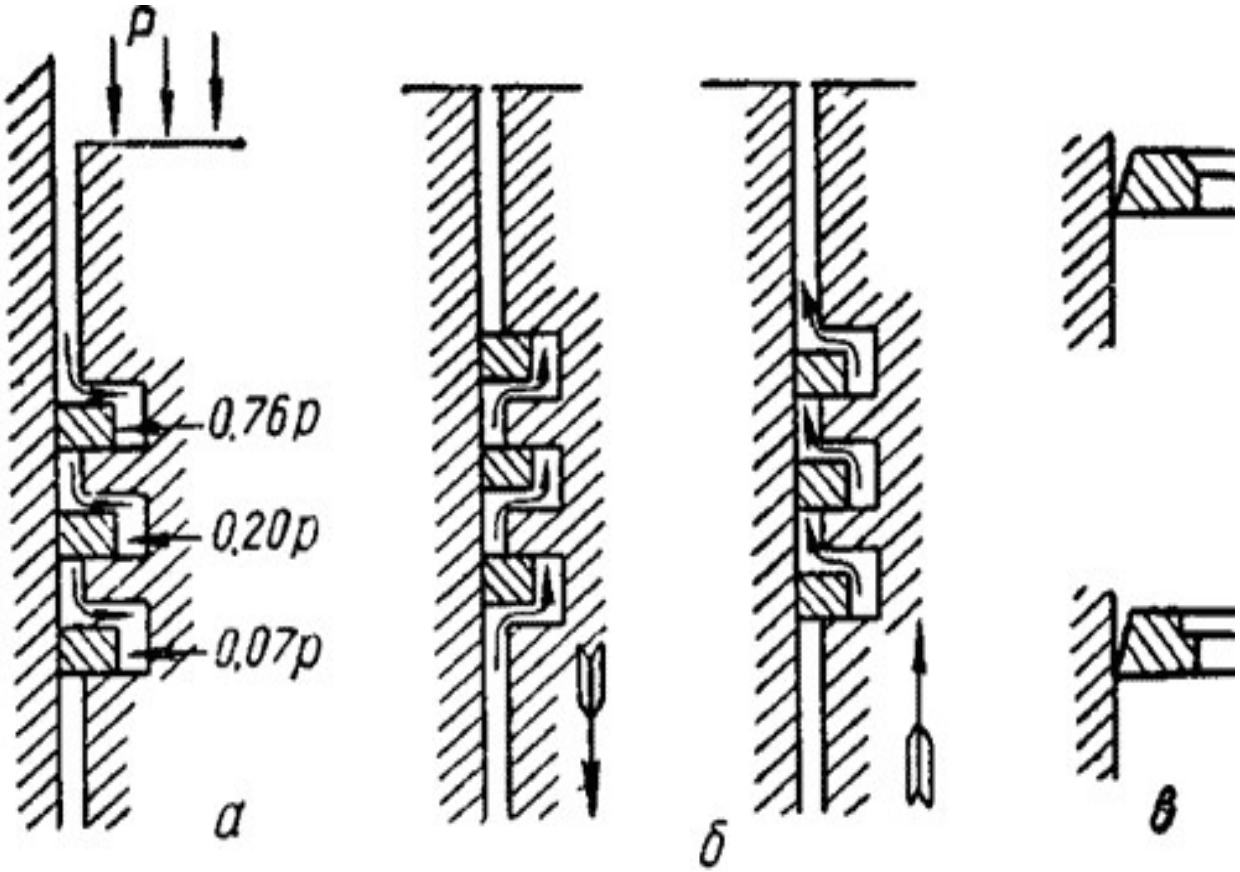
Дисковые поршни применяются только у крейцкопфных машин. Литые чугунные поршни делают полыми, а днища связывают между собой ребрами. Во избежание возникновения линейных напряжений и усадочных раковин ребра не доходят до внутренней цилиндрической поверхности, образующей стенки поршня.

Чугунные поршни применяют главным образом на второй и последующих ступенях компрессора, если нужно увеличить массу поршня для уравновешивания силы инерции. Для ступеней низкого давления дисковые поршни выполняют сварными из стали или отливают из алюминиевых сплавов. Масса тех и других примерно составляет 0,6 массы чугунных поршней при прочих равных условиях. Для горизонтальных компрессоров поршни большого диаметра снабжают специальной несущей поверхностью. Для обеспечения возможности теплового расширения поршня несущую поверхность ограничивают углом 90° или 120°, обрабатывая этот участок по размеру цилиндра. Поршни с большими (более 1000 мм) диаметрами и массами подвешиваются на штоке. Подвеска поршня уменьшает износ и устраняет одностороннюю выработку поверхности цилиндра под влиянием веса поршня. При меньших диаметрах поршней рабочие поверхности заливают баббитом. У чугунных поршней заливка облегчает приработку, снижает износ и способствует восстановлению изношенной поверхности, а у стальных, кроме того, предотвращает надиры.



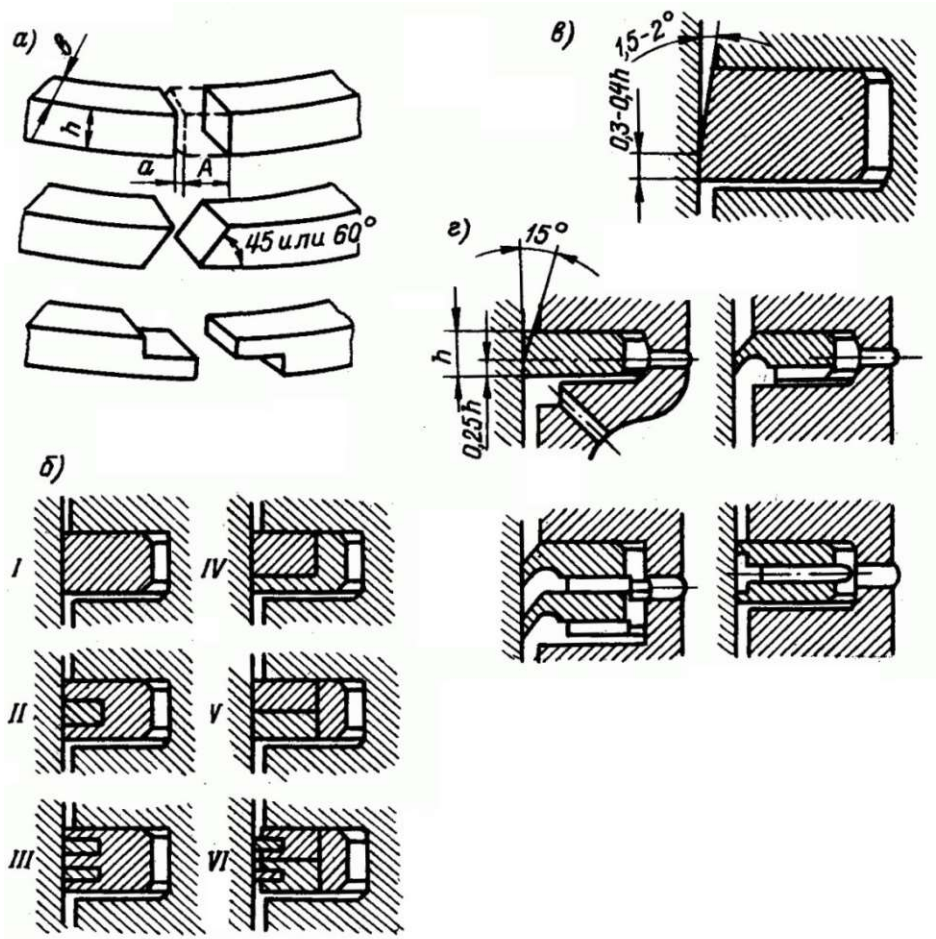
Поршневые кольца — это незамкнутые кольца, которые с небольшим зазором (до нескольких сотых долей миллиметра) посажены в канавках на внешних поверхностях поршней в поршневых машинах.

Назначение поршневых колец - препятствовать утечке газа из полости сжатия. Уплотняющий эффект колец основан на плотном прилегании их к зеркалу цилиндра и к стенкам канавок поршня и на лабиринтном действии набора колец. Поршневые кольца являются наиболее ответственной деталью поршня. Дефекты в работе поршневых колец отражаются на производительности, мощности и надежности работы компрессора. Поршневое кольцо выполняется с прорезью (замком) и в свободном состоянии имеет размер больше диаметра цилиндра. Потому, находясь в цилиндре, кольцо оказывает давление на его стенки в силу естественной упругости материала. В канавку поршня кольцо посажено с зазором.



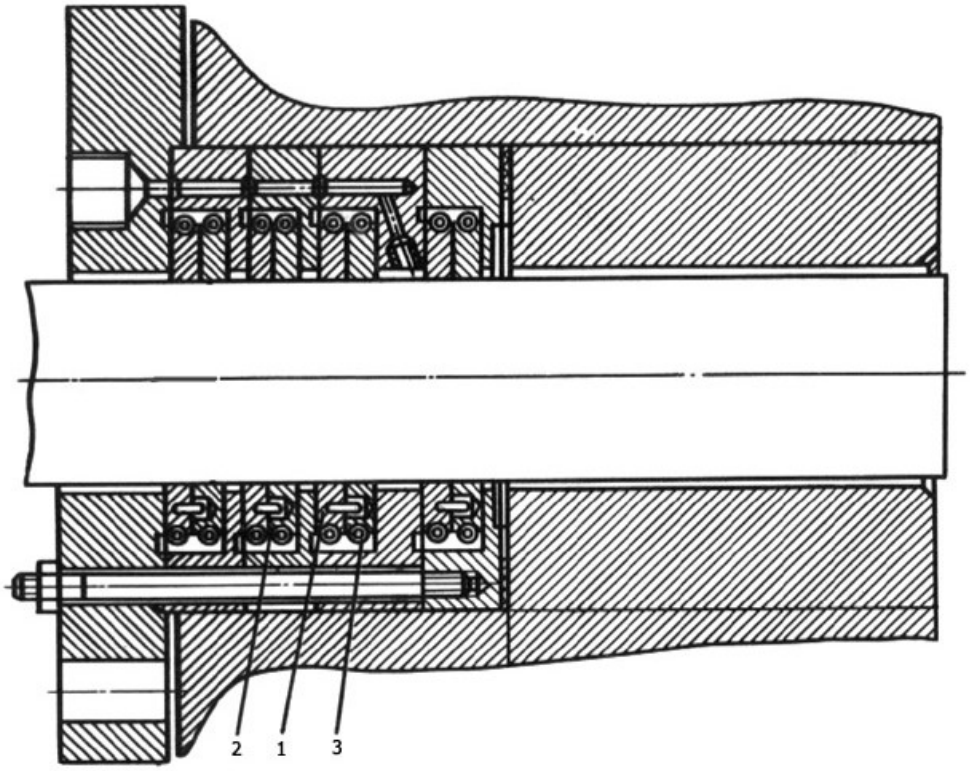
При работе компрессора под действием разности давлений перед кольцом и позади него зазор выбирается и кольцо оказывается прижатым к боковой поверхности канавки со стороны меньшего давления. Давление, действующее на внутреннюю поверхность кольца, приблизительно равно давлению перед кольцом. Оно превышает среднее давление, действующее на внешнюю поверхность кольца, и создает дополнительное усилие, прижимающее кольцо к зеркалу цилиндра.

Конструкции колец, используемых в уплотнении компрессоров со смазкой цилиндров, изображены на рисунке. Замок колец может быть прямой, наклонный к плоскости кольца и внахлестку. В металлических кольцах любого диаметра замок выполняется прямым или под углом в 45°. Кольца с замком внахлестку более дорогие, и их рекомендуется использовать только в особых случаях.



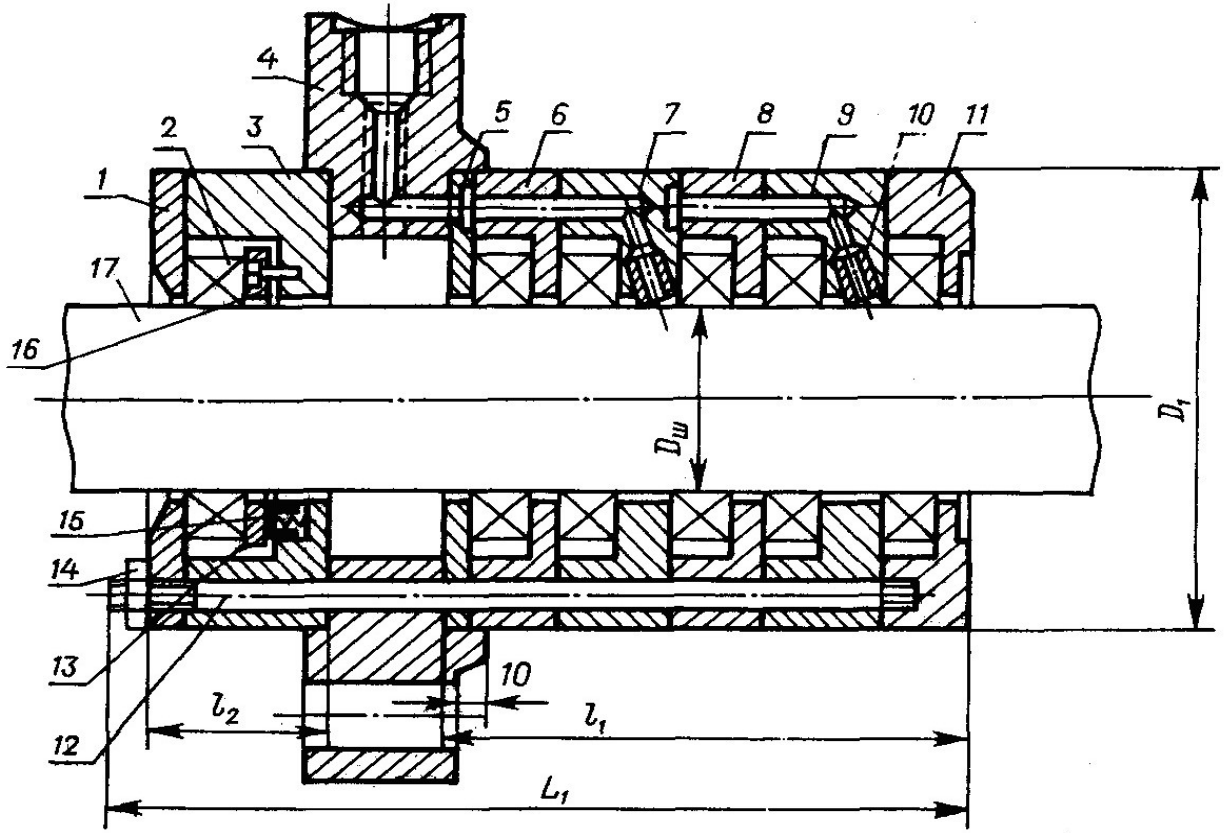
Сальники поршневого компрессора

Сальник (он же радиальный уплотнительный манжет вала) – специальное устройство, которое предназначается для уплотнения вращающихся соединений деталей компрессора



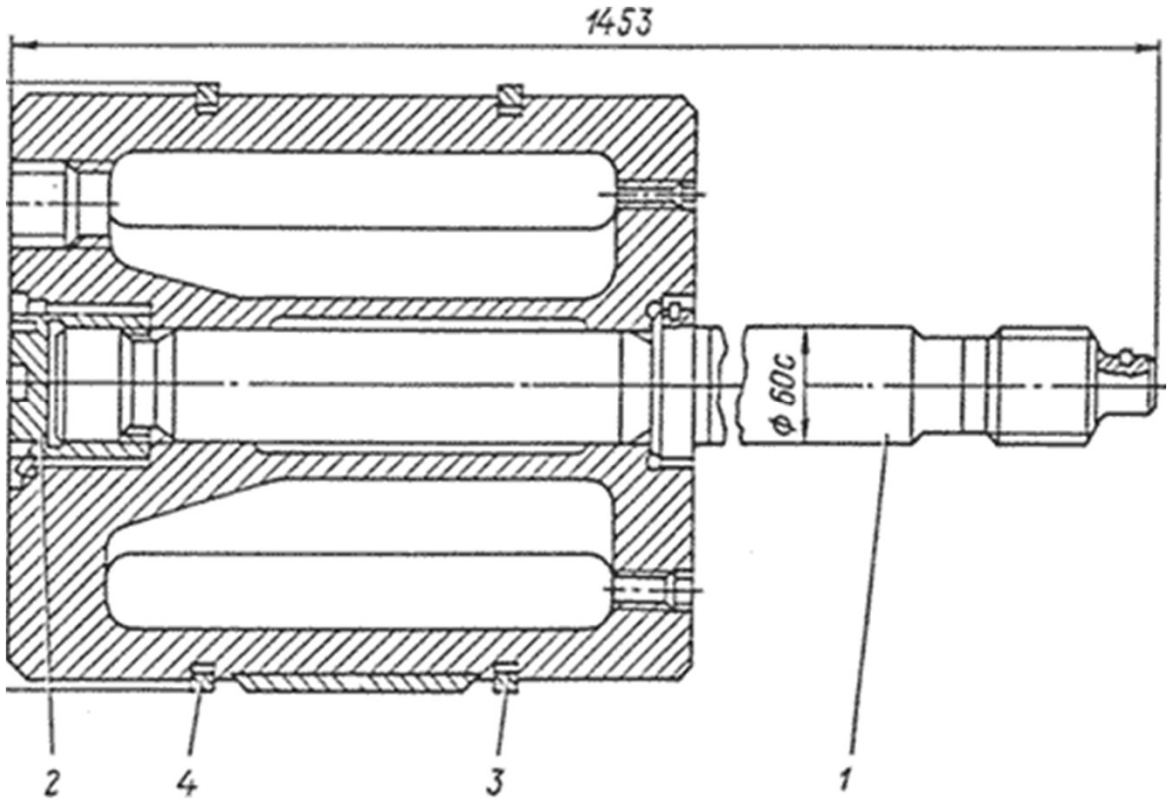
Сальниковые уплотнения в поршневых компрессорах применяется для уплотнения штоков, а иногда и плунжеров ступеней высокого давления. На утечки влияют зазор и коэффициент вязкости, при уменьшении зазора с 0,1 до 0,01 мм утечки уменьшаются в 1000 раз. Смазывание зазора жидкостью большей вязкости резко снижает утечки. В компрессорах применяются главным образом самоуплотняющиеся сальники. Действие их основано на том, что полное давление газа на внешнюю поверхность уплотняющего элемента создает радиальное давление на шток, большее, чем сниженное давление в зазоре между этим элементом и штоком. Вследствие этого уплотняющий элемент всегда прижат к штоку.

Самоуплотняющиеся сальники выполняются манжетными и металлическими. Металлические сальники являются основным типом уплотнения штока. Их выполняют с плоскими и коническими уплотняющими элементами. Сальники с плоскими уплотняющими элементами используются для давлений до 2,0 МПа. Для более высоких давлений устанавливаются дополнительные осевые пружины в камерах со стороны полости цилиндра, которые прижимают кольца сальника друг к другу и к торцевой стенке камеры. При сжатии токсичных или взрывоопасных газов газ отводится во всасывающий трубопровод или выводится наружу, а сальник дополняется камерой. Эту камеру, уплотняющую небольшой перепад давлений, выполняют более компактной, иногда с мягкой набивкой.



1 – камера; 2 – уплотняющий элемент; 3 – камера отвода газа; 4 – фланец; 5 – шайба промежуточная; 6, 7, 8, 9, 11 – камеры; 10 – трубка; 12 – шпилька; 13 – пружина; 14 – гайка; 15 – упорное кольцо; 16 – винт; 17 – шток. Сальник штока с плоскими уплотняющими элементами

Штоком называют деталь, применяемую для соединения поршня с крейцкопфом. Типичная конструкция применяемых штоков приведена на рисунке.



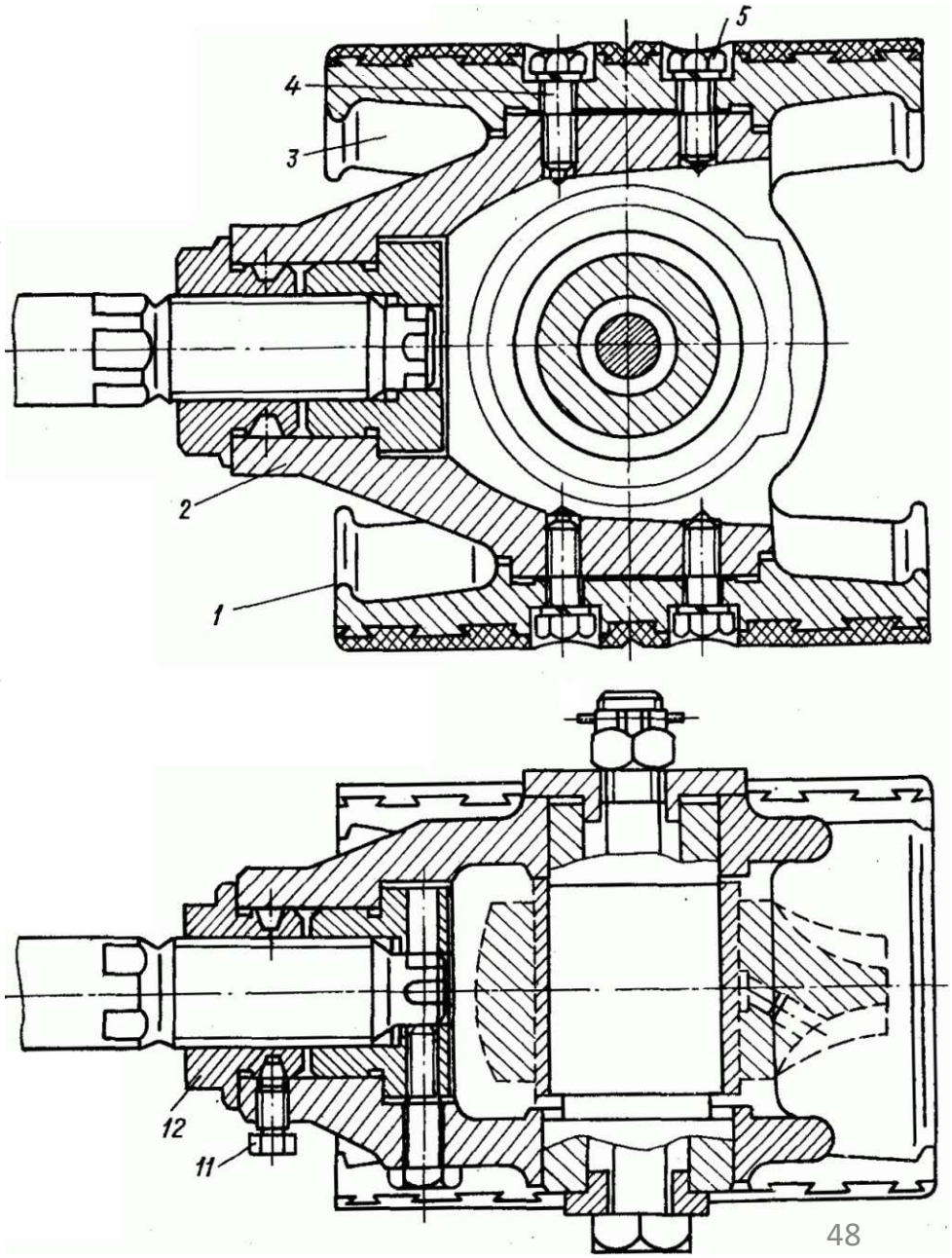
В современных конструкциях компрессоров применяют в основном односторонние штоки, которые представляют собой цилиндрическую деталь с участками различного сечения по длине. На переднем конце штока (со стороны крейцкопфа) выполнена резьба, с помощью которой он закрепляется в резьбовом отверстии крейцкопфа. Для фиксации поршня на штоках предусматривают упорный цилиндрический бурт и специальную гайку, навинчиваемую на задний конец штока (со стороны поршня) до упора в торцевую поверхность поршня. Особое внимание необходимо уделять фиксации гайки, самоотвинчивание которой может привести к серьезной аварии.

Гайка, навинченная на шток, фиксируется на поршне только при условии, что поршень в свою очередь зафиксирован на штоке, так как в противном случае возможно самоотвинчивание гайки с одновременным проворачиванием поршня. Если поршень не зафиксирован, то самоотвинчиваиие гайки предотвращают стопорением ее на штоке. Для этого на штоке предусматривают паз, в который отгибают закраину гайки, выступающую над ее торцевой поверхностью.

Штоки изготовляют из сталей 36, 40, 38ХА. Иногда применяются легированные стали с более высокими механическими свойствами. Штоки, подлежащие азотированию, изготовляют из сталей 32 ХМ10А, 38 ХМ10А или 35Х10А.

Крейцкопфы

Крейцкопфы применяют при сжатии газов в ступенях двойного действия, а также в компрессорах с тронковыми поршнями малого диаметра. Различают два основных типа крейцкопфа: закрытый и открытый (закрытый тип характеризуется расположением верхней головки шатуна внутри корпуса крейцкопфа; крейцкопфы открытого типа применяют в сочетании с вильчатым шатуном, головка которого охватывает крейцкопф снаружи). Для крупных компрессоров чаще всего применяют крейцкопфы со съемными башмаками. Одна из конструкций крейцкопфа закрытого типа со съемными башмаками представлена на рисунке Башмаки 1 и 3 залиты баббитом и имеют по концам клиновидные скосы с уклоном 1 : 50 для создания масляного клина.



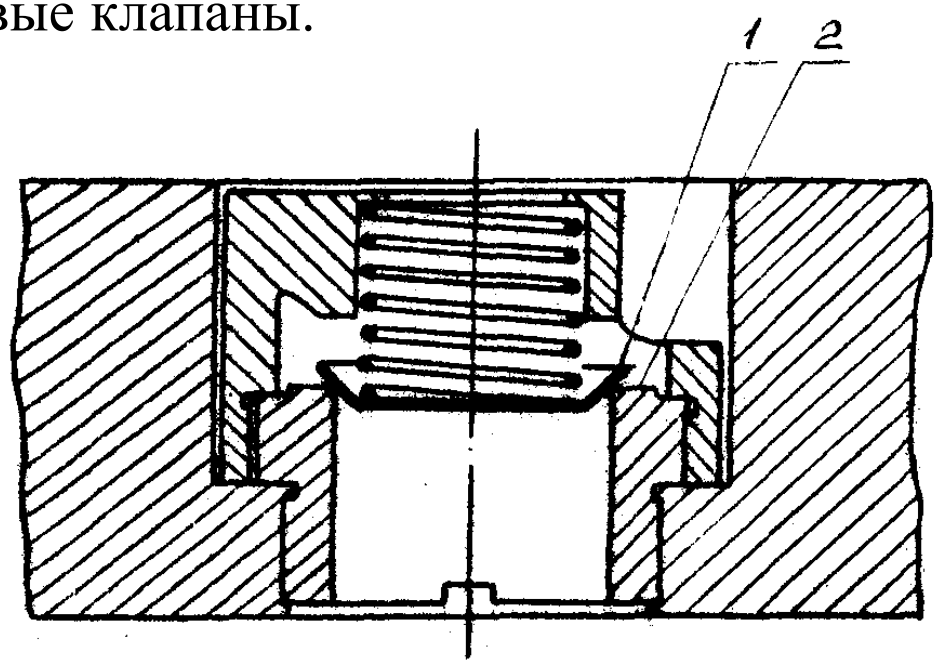
Крепление башмаков к корпусу крейцкопфа 2 осуществляется болтами 4, зафиксированными от отвинчивания пружинными шайбами 5. При монтаже эти болты заливаются баббитом. Соединение крейцкопфа со штоком осуществляется с помощью двух гаек 11 и 1 Для изготовления крейцкопфов со съемными башмаками применяют следующие основные материалы: чугун марки СЧ20 и сталь 25Л-Ш (корпус крейцкопфа); чугун марки СЧ18 с заливкой трущейся поверхности баббитом марки Б16 или алюминиевый сплав марки АК5М7; сталь 20 и 45 (палец крейцкопфа).

Клапаны

В современных компрессорах для управления всасыванием и нагнетанием применяет самодействующие клапаны, состоящие из замыкающего органа, выполненного в виде тарелки или пластины, седла, ограничителя подъема и пружины. Клапаны принадлежат к наиболее ответственным узлам компрессора и должны отвечать следующим требованиям: иметь достаточно большую эквивалентную площадь, необходимую, чтобы потери энергии в них были минимальными, обладать способностью быстро открываться при небольшом избыточном давлении, обеспечивать своевременность закрытия в конце всасывания и нагнетания, быть плотными в закрытом состоянии, иметь малый объем мертвого пространства, обладать прочностью и износоустойчивостью. Чем выше частота вращения компрессора, средняя скорость поршня и плотность газа, тем труднее создать клапан, полностью отвечающий всем этим требованиям.

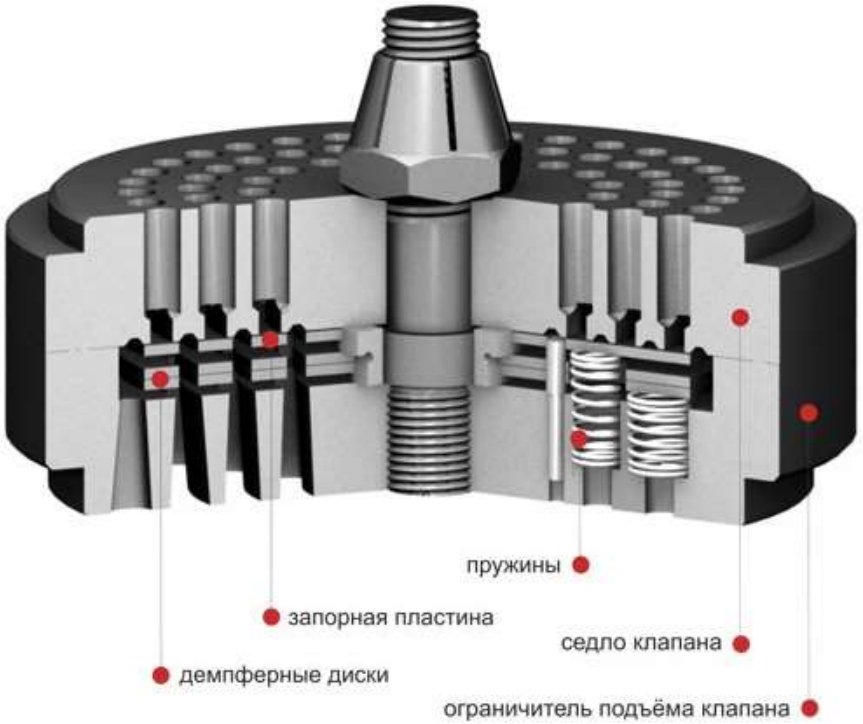
Основные типы самодействующих клапанов поршневых компрессоров:

1. Дисковые и кольцевые клапаны;
2. Полосовые (ленточные) клапаны;
3. Тарельчатые клапаны;
4. Прямоточные клапаны;
5. Лепестковые клапаны.



Дисковые и кольцевые клапаны

Дисковые и кольцевые клапаны применяются на ступенях низкого, среднего и высокого давления. Запорным органом данного типа клапанов является одна или несколько кольцевых концентрических пластин толщиной 1-3 мм, лежащих на узких кольцевых седлах. Как правило, все пластины имеют одинаковые геометрические параметры и высоту подъема, которая регулируется установкой определенного ограничителя. Пластины поднимаются с седла усилием от разности давлений до и после клапана, а посадка осуществляется за счет пружин.



Беспружинный клапан Машиностроительный холдинг

К достоинствам дисковых и кольцевых клапанов относится:

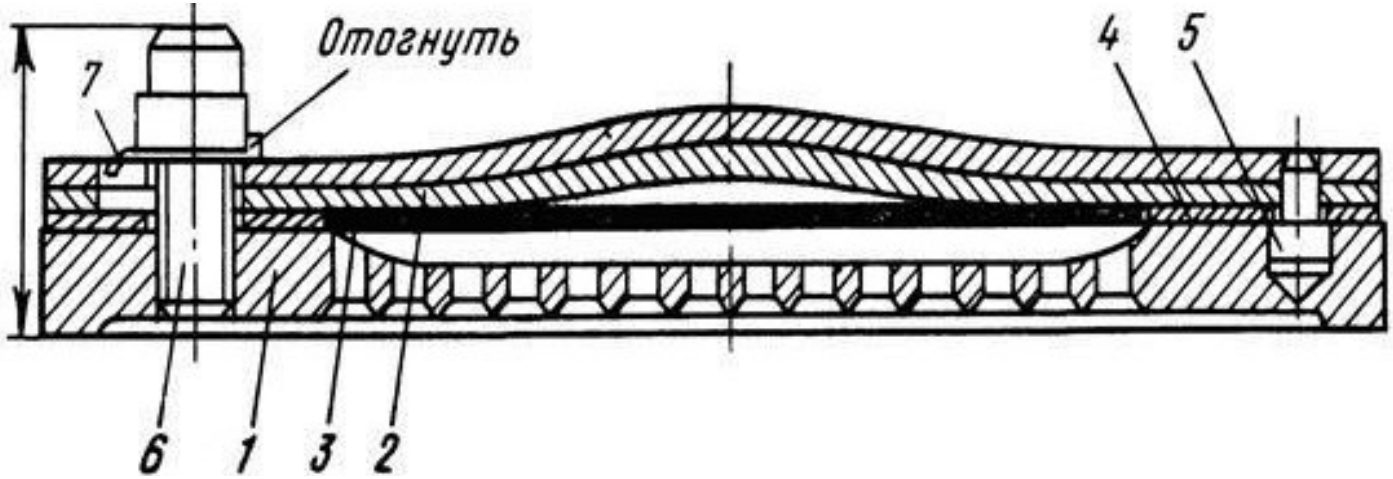
1. Успешно используются практически на всех ступенях компрессоров, т.е. в широком диапазоне разности давлений;
2. Сравнительно простая форма деталей не требует специализированного оборудования. Применение универсального оборудования обеспечивает небольшую стоимость изготовления. Есть возможность устранения дефектов в условиях эксплуатации;
3. Данный тип позволяет обеспечить высокую надежность клапанного узла. При качественной технологии изготовления деталей ресурс кольцевых и дисковых клапанов достигает 6000 часов и более.

К недостаткам можно отнести:

1. Значительные потери на проталкивание газа;
2. Значительная величина мёртвого пространства в самом клапане, что приводит к снижению коэффициента производительности компрессора;
3. В кольцевых клапанах необходимо обеспечить синхронное движение пластин-колец. Так как массы каждого кольца разные, то требуется обеспечить определенное соотношение между жесткостью пружин для каждого кольца;
4. Для дисковых клапанов со стальными пластинами, особенно больших размеров и при большом ходе, не соблюдается плоскопараллельное движение. Поэтому на практике происходят удары при посадке на седло и ограничитель не по плоскости, а отдельными точками, что приводит к преждевременному износу в местах контакта.

Полосовые клапаны

В свободном состоянии пластины этих клапанов прилегают к седлу, при наличии разности давлений выгибаются по контуру углублений в ограничителе подъема и открывают прямоугольные каналы в седле клапана для прохода газа, в соответствии с рисунком. Проходящий газ делится на два потока и протекает через контуры в виде сегментов. Эти сегментообразные щели являются проточными каналами с определенной площадью щели. Подъем пластины полосовых клапанов примерно равен подъему пластины кольцевых клапанов и составляет 1…5 мм.



Полосовой нагнетательный клапан компрессора АУ200
1 - седло; *2* - розетка; *3* - пластина; *4* – ограничитель перемещения пластины; *5* - штифт; *6* - болт; *7* - шайба стопорная

К достоинствам полосовых клапанов относится:

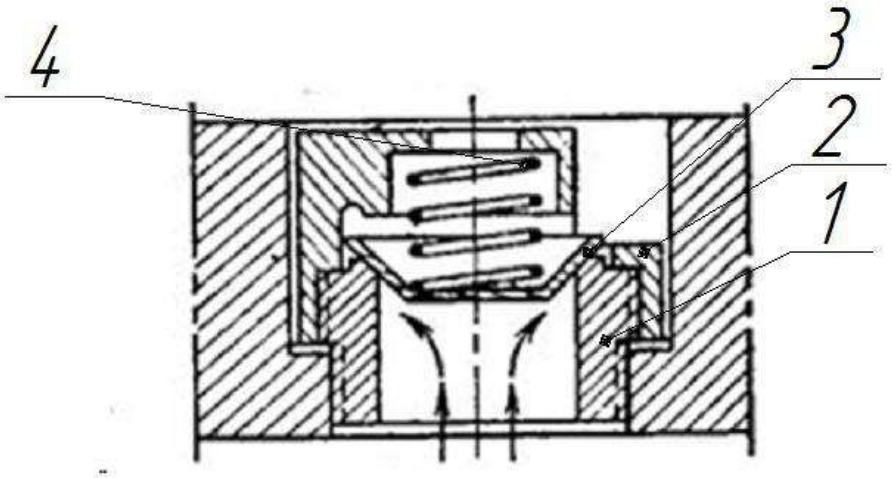
1. Самопружинящий закрывающий орган обеспечивает упрощение конструкции клапана, узел которого состоит только из 3-х элементов;
2. По сравнению с кольцевыми клапанами в полосовых клапанах коэффициент гидравлического сопротивления меньше. Это снижение обусловлено увеличенным, по сравнению с кольцевыми клапанами, проходным сечением, что снижает скорость течения газа;
3. Мертвое пространство полосового клапана в 1,5- 2 раза меньше, по сравнению с кольцевым клапаном;
4. Малая масса пластин обеспечивает незначительную инерционность в период открытия и закрытия;
5. Простая технология изготовления позволяет проводить ремонт в условиях эксплуатации.

К недостаткам можно отнести:

1. Полосовые клапаны, как правило, используются на первых 2-х ступенях. Это связано с малой толщиной пластин. Использование при больших перепадах возможно только при увеличении толщины пластин;
2. Герметичность полосовых клапанов ниже, чем кольцевых;
3. Имеются смещения в процессе движения пластин относительно поверхности седла;
4. При заданной герметичности, число варьируемых параметров полосового клапана снижается до двух – толщина и ход.
5. Полосовые клапаны рекомендуется применять для высокооборотных компрессоров, только для ступеней низкого давления и компрессоров малой производительности.

Тарельчатые клапаны

Сферические тарельчатые клапаны нашли широкое применение в компрессорах высокого давления в свободнопоршневых дизель-компрессорах. На рисунке показан тарельчатый клапан поршневого компрессора малой производительности.



Тарельчатый клапан компрессора малой производительности.
1 – седло, *2* – розетка, *3*- тарелочка, *4*- пружина

Штампованная из листа тарелочка имеет сферическую форму. Седло в выходящей части канала имеет также плавные обводы. В открытом клапане образуется диффузорный кольцевой канал. Коэффициент гидравлического сопротивления данного вида клапанов в несколько раз меньше по сравнению с кольцевыми клапанами или полосовыми. Максимальная высота подъема тарелочки лежит в пределах 1-2 мм.

К достоинствам тарельчатых клапанов относится:

1. Клапаны могут быть использованы на ступенях высокого давления и быстроходных компрессорах, благодаря малой массе закрывающего элемента и достаточной его жесткости;
2. Контактная поверхность тарелочки быстро прирабатывается к седлу, и, тем самым, обеспечивается хорошая герметичность клапана;
3. Коэффициент сопротивления сферических тарельчатых клапанов значительно меньше, чем у кольцевых и полосовых клапанов;
4. Простота сборки клапана позволяет производить перенастройку клапан на параметры, наиболее приемлемые для данного компрессора, с учетом особенностей его работы.

К недостаткам можно отнести:

1. Сложность изготовления деталей клапана. В условиях эксплуатации ремонт происходит либо заменой клапана, либо заменой отдельных деталей;
2. Относительно небольшой ресурс в пределах 500-1000 часов;
3. В ступенях низкого давления устанавливается сравнительно большое число клапанов, что снижает надежность клапанного узла;
4. При наклонном положении клапана возможно возникновение несимметричное обтекания клапана.

Прямоточные клапаны

Схема прямоточного клапана представлена на рисунке. Газ, проходя по каналам в седле, отгибает пластину и, почти не отклоняясь, выходит из клапана. В связи с движением газа параллельно пластине снижается усилие, действующее на пластину. Поэтому характерной особенностью данного типа клапанов является колебательное движение пластин.

Основными рабочими элементами клапана являются упругая пластина и седло-ограничитель. На рабочей поверхности седла имеются прямоугольные пазы, которые служат проточными каналами. На тыльной стороне седла отфрезерован скос, служащий поверхностью ограничителя отгиба пластины. Профиль этой поверхности близок к профилю изогнутой пластины при течении газа. Самопружинящая пластина зажимается по П-образному контуру между примыкающими друг к другу седлами.

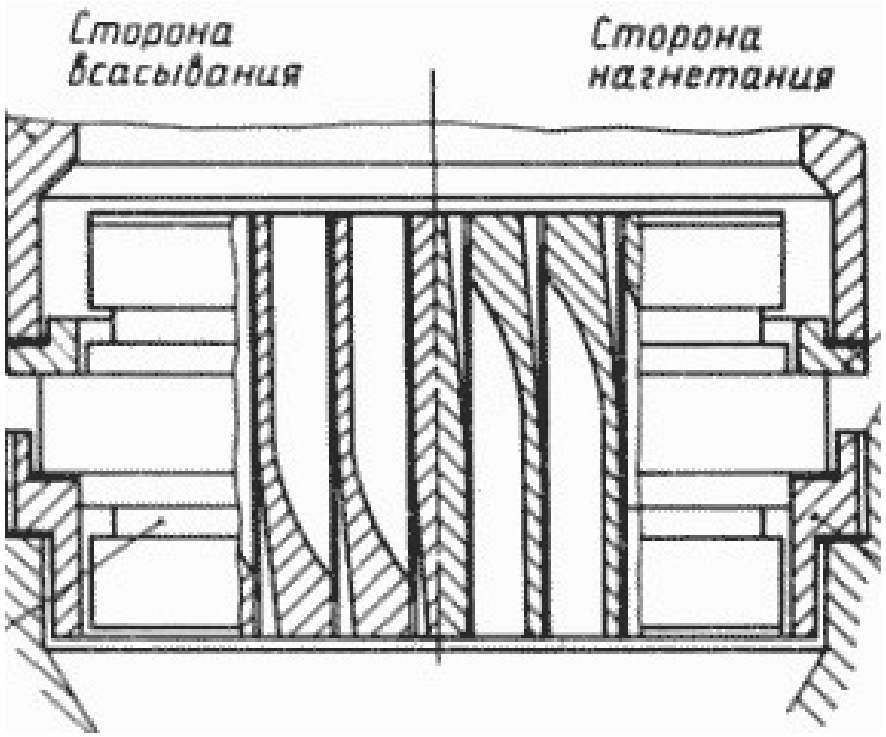


Схема проточной части прямоточного клапана

Прямоточные клапаны рекомендуется применять в компрессорах производительностью более 3 м^3/мин и частотой вращения вала менее 750 об/мин с максимальным перепадом давления до 4 МПа.

К достоинствам прямоточных клапанов относится:

1. Эквивалентная площадь прямоточных клапанов в 2-2,5 раза больше, чем у кольцевых, соответственно это ведет к снижению газодинамических потерь в 4-5 раз. Также снижается температура нагнетания и удельный расход энергии;
2. Малая инерционность закрывающего элемента позволяет повысить скорость движения поршня;
3. Невысокая себестоимость клапана при массовом производстве.
4. Малые гидравлические потери

К недостаткам можно отнести:

1. Требования к высокой точности обработки поверхности. Тонкая пластина чувствительна к шероховатостям на поверхностях седла и ограничителя;
2. Сложная технология изготовления и сборки рабочих элементов клапана;
3. Значительное мертвое пространство по сравнению с другими типами клапанов.

Лепестковые клапаны

Лепестковые клапаны относятся к тем типам конструкций клапанов, в которых гибкая запорная пластина является самопружинящей, чем достигается высокая собственная частота колебаний клапана и компактность конструкции, в соответствии с рисунком. Запорная спрофилированная пластина с одной стороны имеет заделку, а с другой свободна. В данном типе клапана поток направлен перпендикулярно клапану. Клапаны имеют весьма разнообразную форму пластин.

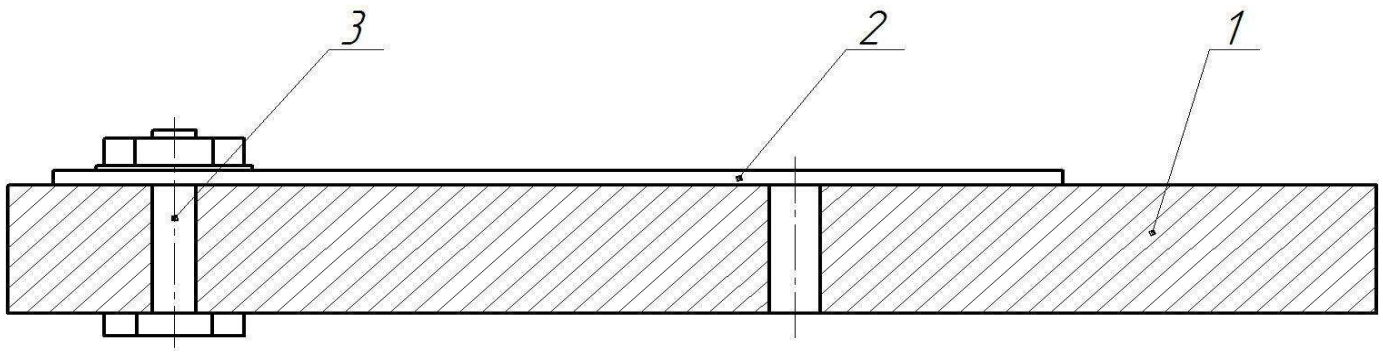


Схема лепесткового клапана. *1*-седло клапана; *2* – пластина; *3* – стяжной болт

К достоинствам лепестковыхклапанов относится:

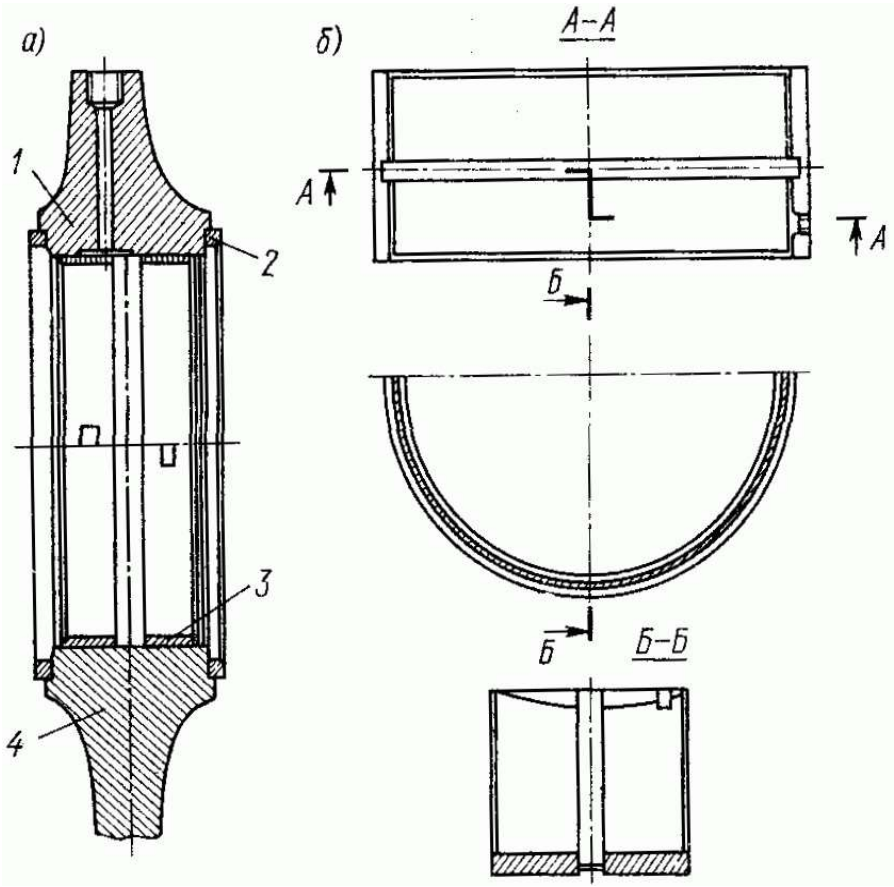
1. Простота конструкции;
2. Высокая плотность в закрытом состоянии;
3. Компактность и очень малое мертвое пространство, что особенно важно, небольших компрессоров с малым ходом поршня и высоким отношением давлений.

К недостаткам лепестковым клапанам следует отнести небольшое проходное сечение, что обуславливает применение этих клапанов только на небольших машинах.

Коренные подшипники

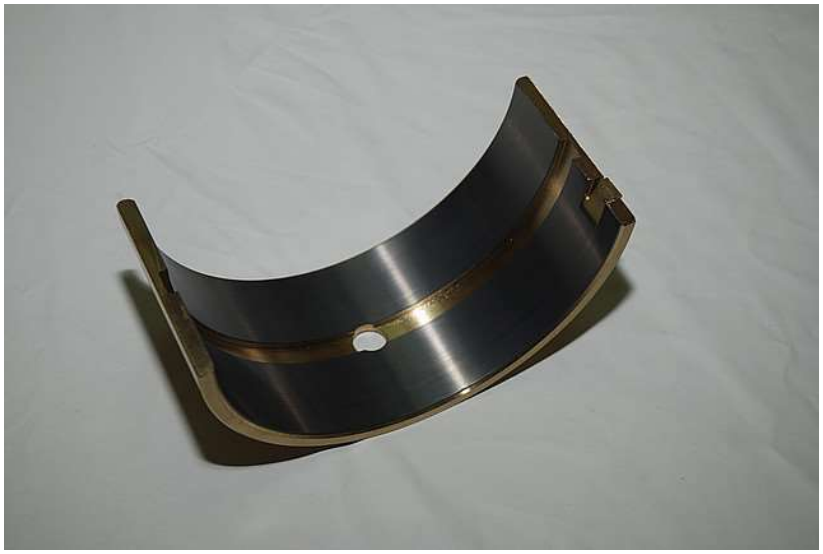
Коренные подшипники служат для восприятия нагрузок от переменных поршневых сил. Подшипники, на которые опирается коленчатый вал, называются коренными. В соединениях шатуна с коленчатым валом и пальцем крейцкопфа или поршня устанавливаются подшипники, называемые шатунными. Для многоколенных валов, как правило, применяют подшипники скольжения, воспринимающие большие по величине нагрузки. В отличие от подшипников скольжения со статической нагрузкой, подшипники поршневых компрессоров воспринимают переменную во времени по величине и направлению нагрузку.

Характерная для современных компрессоров конструкция **коренного подшипника** скольжения показана на рисунке. Она состоит из корпуса 4, крышки и разъемного тонкостенного вкладыша 3. Если подшипник воспринимает дополнительной осевые усилия, то по торцам устанавливаются разъемные кольца-накладки 2, покрытые слоем баббита. Корпус, как правило, отливается совместно со станиной. Крышка служит не только для закрепления вкладышей, но и вместе с корпусом придает им правильную цилиндрическую форму. Для этого крышка выполняется жесткой и во избежание смещений фиксируется тносительно станины.



Вкладыш состоит из двух одинаковых элементов — полуцилиндров. Наибольшее распространение получили тонкостенные вкладыши, толщина которых равна (0,024-0,05) d, где d - диаметр шейки вала. Такие вкладыши не имеют прокладок в плоскости разъема, обрабатываются с высокой точностью и контролируются в калибрах. В свободном состоянии внутренняя и наружная поверхности вкладышей не являются цилиндрическими, а в собранном — внешняя поверхность вкладышей точно повторяет цилиндрическую поверхность корпуса подшипника, что обеспечивает правильную форму зазора, необходимого для образования масляного клина. В плоскости разъема корпуса и крышек предусмотрены выемки, в которые в процессе монтажа подшипника входят фиксаторы вкладышей, что препятствует осевым смещениям и проворачиванию вкладышей в процессе работы.

Вкладыши выполняются двухслойными или трехслойными. В двухслойных вкладышах на бронзовую основу наносится слой баббита толщиной 0,3—0,8 мм; в трехслойных - основа стальная, на которую наносятся последовательно слои бронзы и баббита Б2, отличающегося малой склонностью к выкрашиванию и высокими антифрикционными свойствами. При повышенных масляных зазорах находят применение сталеалюминевые вкладыши. Для стальных каленых или азотированных валов вкладыши выполняются стальными с заливкой свинцовистовой бронзой (толщина заливки 2—2,5 мм). Благодаря правильной геометрической форме износ тонкостенных вкладышей весьма мал и срок их службы достигает 30—50 тыс. ч. К достоинствам тонкостенных вкладышей следует также отнести простоту сборки, взаимозаменяемость, низкую стоимость, малую массу.



5. Разновидности систем смазки поршневых компрессоров.

В поршневых компрессорах различают две самостоятельные системы смазки: смазку цилиндров и сальников и смазку механизм движения.

Смазка цилиндров и сальников. Применяют три способа смазки цилиндров: разбрызгиванием масла из картера, вводом распыленного масла в струю всасываемого газа и подачей масла под давлением непосредственно на рабочую поверхность цилиндра.

Смазка цилиндров разбрызгиванием масла из картера применяется в компрессорах бескрейцкопфного типа. Масло захватывается из картера противовесами коренного вала и разбрызгивается; поверхности цилиндра, открываемой поршнем. При следующих оборотах вала масло увлекается поршнем и наносится на остальную - часть рабочей поверхности цилиндра. Основным недостатком этого способа является отсутствие регулирования расхода масла.

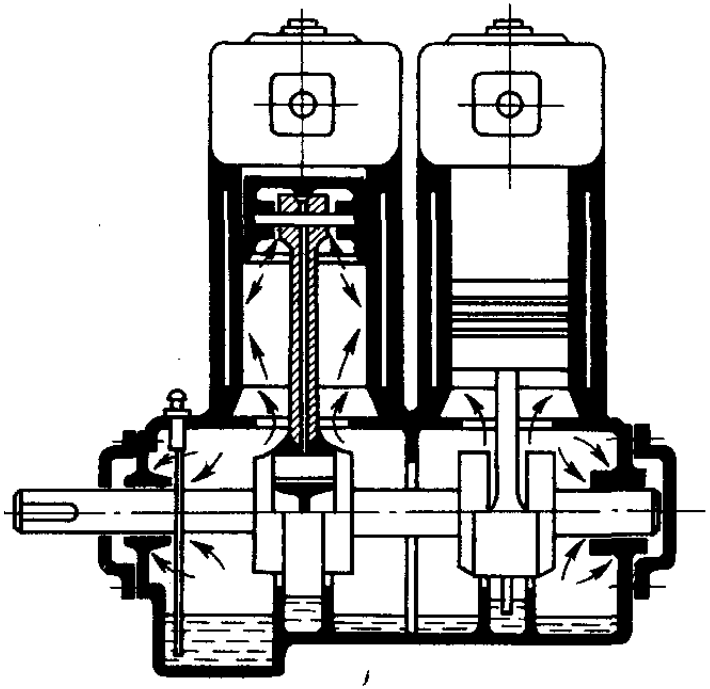


Схема смазки цилиндров поршневого компрессора

Смазка вводом распыленного масла в струю всасываемого га применяется в многоступенчатых компрессорах бескрейцкопфного типа для смазки цилиндров высокого давления, которые не примыкают к картеру. С этой целью часть газа засасывается в цилиндры через полость картера, которая во время работы компрессор постоянно заполнена масляным туманом. При этом способе смазки распыленное в газе масло не все попадает на рабочую поверхность цилиндров. Кроме того, тесный контакт с некоторыми газами снижает качество масла.

Самой совершенной и распространенной является смазка цилиндров и сальников под давлением. Масло подается многоплунжерными насосами, называемыми лубрикаторами. У горизонтальных компрессоров масло в цилиндры подводится в верхней точка при большом диаметре цилиндра делается два дополнительна боковых ввода. Цилиндры вертикальных компрессоров также имеют один или несколько вводов масла. Количество вводов зависит от размеров цилиндра. Вводы располагают на равных расстояниях по окружности в .плоскости среднего положения верхнего поршневого кольца.

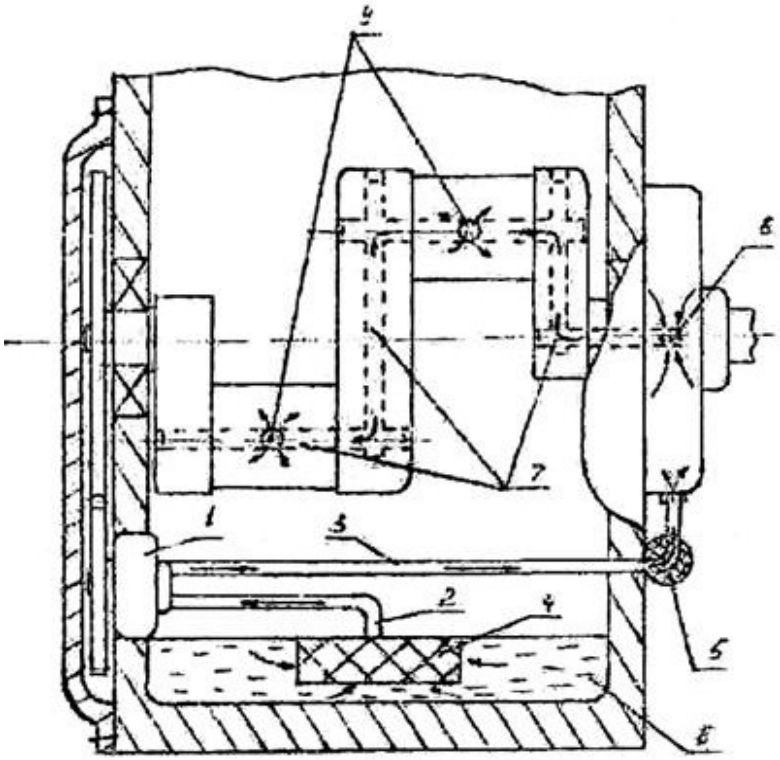
В сальниках ступеней низких давлений делают один подвод масла, а в сальниках ступеней высоких давлений—два или три подвода.

Лубрикатор приводится в работу от коленчатого вала компрессора через червячный редуктор или от самостоятельного электродвигателя. Кроме того, для смазки в пусковой период лубрикатор имеет приспособление, позволяющее приводить плунжеры в работу от руки.

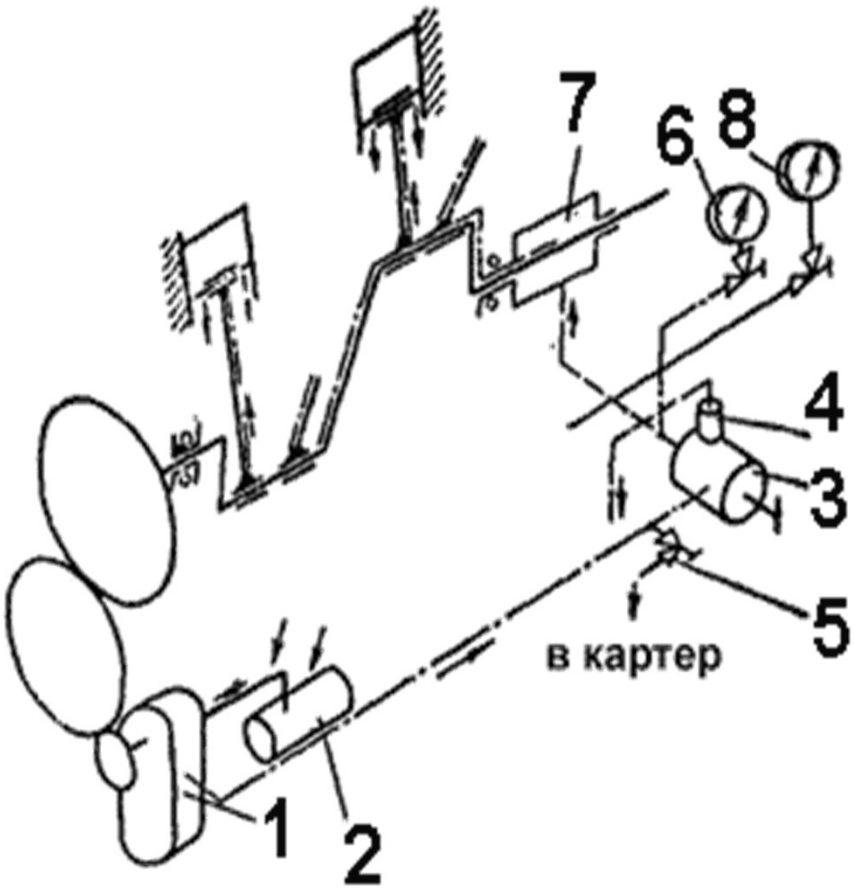
Смазка механизма движения. Масло подводится к трущимся поверхностям механизма движения разбрызгиванием или принудительно.

Смазку разбрызгиванием применяют в небольших компрессорах, предназначенных для кратковременной работы. Масло заливают до определенного уровня в картер компрессора. Над уровнем масла при вращении коленчатого вала образуется туман из распыленных капель. Некоторые капли по сверлениям в подшипниках попадают на трущиеся поверхности. Такая смазка не обеспечивает достаточного отвода тепла, а также требует строгого контроля за уровнем масла в картере. Кроме того, масло в процессе работы не фильтруется, постепенно загрязняется, что влечет за собой преждевременный износ машины.

Принудительная система смазки механизма движения осуществляется по замкнутому кольцу и называется циркуляционной. Последовательными элементами циркуляционной системы смазки являются: маслосборник—насос—фильтр—холодильник—места смазки—маслосборник. В некоторых небольших и средних компрессорах в качестве маслосборника используют поддон картера; маслохолодильник отсутствует. Циркуляционные системы смазки снабжают перепускным клапаном для регулирования давления масла и манометрами, которые обычно устанавливают до фильтра и после него. По разности показаний манометров судят о степени загрязнения фильтров.



Принудительная система смазки поршневого компрессора



На рисунке приведена схема смазки V-образного четырехцилиндрового аммиачного компрессора с коренными подшипниками качения. Масло от насоса *1* через фильтр тонкой очистки *3* подводится к сальнику *7*, по сверлениям в коленчатом валу подается к кривошипным и головным подшипникам шатунов. Давление масла после фильтра перед подачей к местам смазки контролируют по манометру *6*. На компрессоре имеется манометр *8*,показывающий давление в картере. По разности давлений масла (в картере и после фильтра) судят о работе масляного насоса. Масляный насос приводится во вращение от коленчатого вала через систему шестерен, масло всасывается из картера через фильтр грубой очистки *2*. Для регулирования давления масла предусмотрен ручной перепускной вентиль 5, через который можно сбросить часть масла после насоса в картер компрессора.

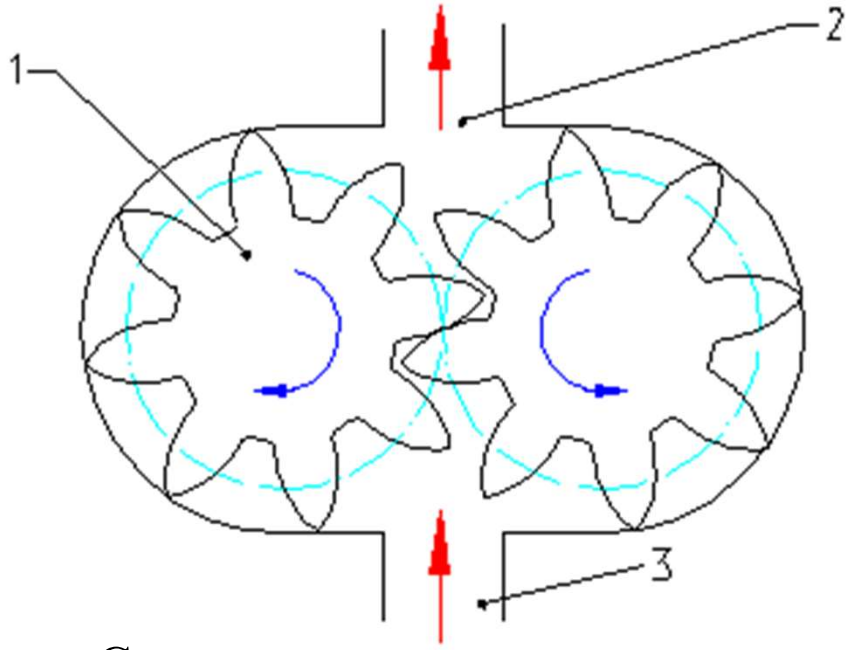


Схема шестеренчатого насоса

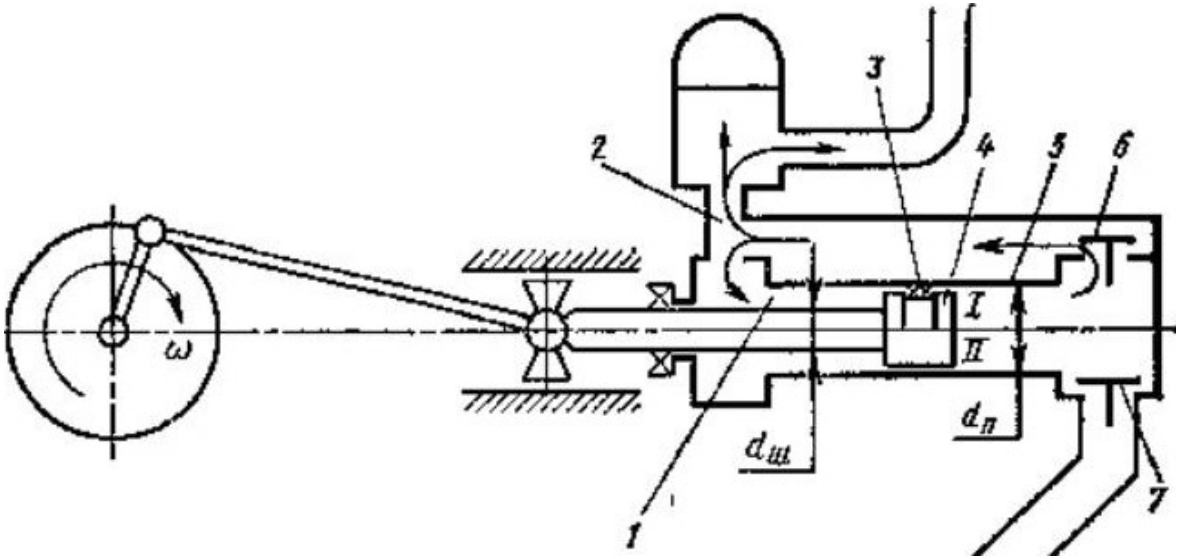
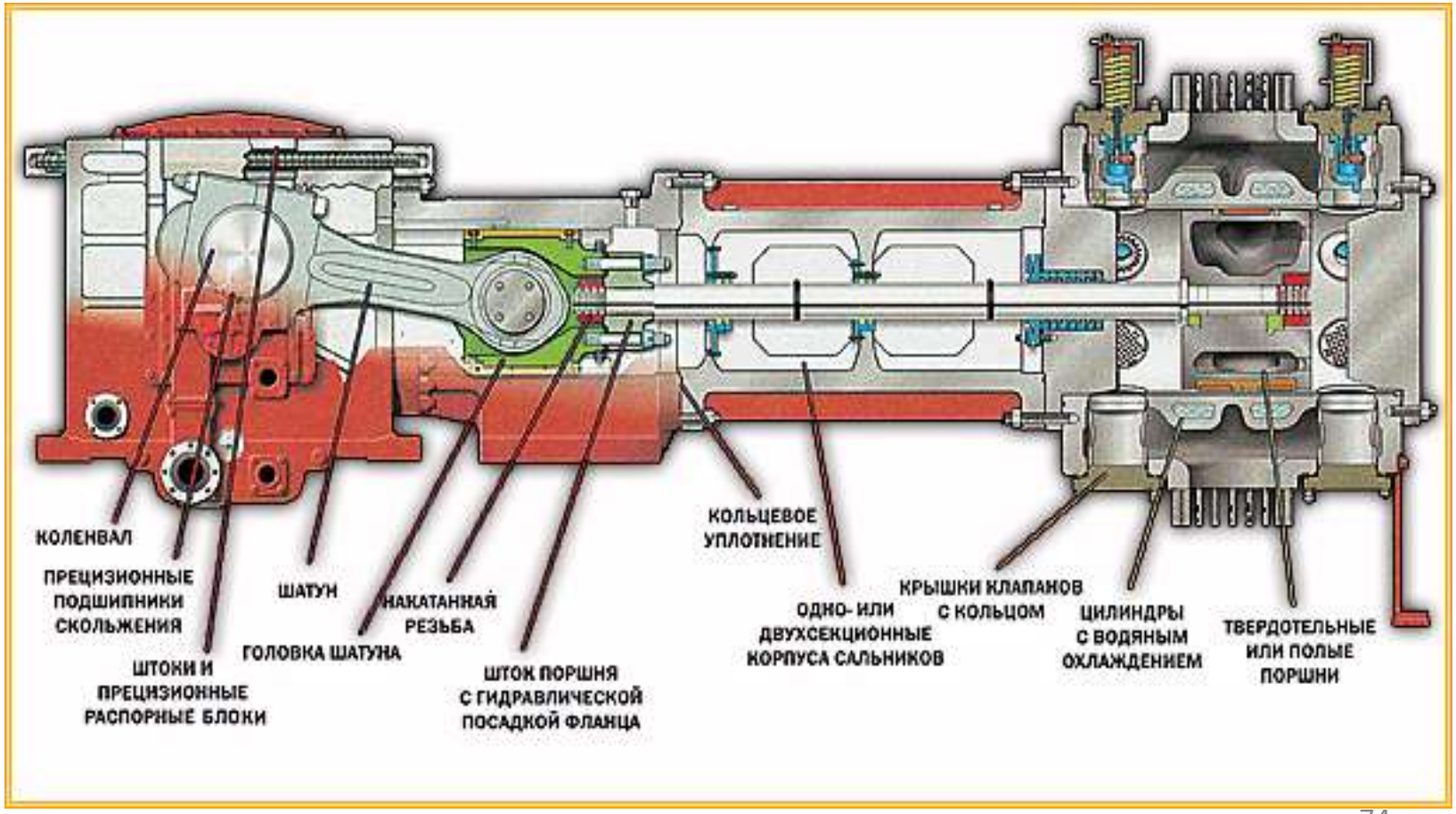


Схема поршневого насоса

Кривошипно-шатунные механизмы подразделяются на крейцкопфные (передача движения от крейцкопфа к поршню производится с помощью штока) и бескрейцкопфные (поршень одновременно выполняет функции крейцкопфа и должен иметь хорошо развитую боковую поверхность).



6. Регулирование производительности поршневых компрессоров

По характеру изменения производительности различают следующие виды регулирования: 1) прерывистое, осуществляемое периодическим прекращением подачи; 2) ступенчатое; 3)плавное.

Регулирование может быть ручным или автоматическим. Первое применяют в случаях, когда изменение производительности требуется редко, и при условии наличия дежурного персонала у КУ. Когда производительность компрессора превышает расход газа, давление в нагнетательной сети растет, при недостаточной производительности давление падает. Кратковременное несоответствие между производительностью компрессора и расходом газа сглаживается ресивером, установленным на нагнетательной магистрали.

Регулирование периодическими остановками компрессора осуществляется двумя способами: остановками двигателя и отсоединения компрессора от двигателя. Регулирование остановками двигателя производится при мощности привода, как правило, до 250 кВт. При данном способе регулирования использование синхронного двигателя затруднительно вследствие сложности его пуска. Применяют асинхронные двигатели: короткозамкнутые, запускаемые с непосредственным включением в сеть или с переключением со звезды на треугольник, и с фазным ротором, запускаемые с последовательным включением ступеней сопротивления.

Регулирование отсоединением компрессора от двигателя имеет преимущество в том, что пуск компрессора не вызывает таких толчков тока в сети, как совместный пуск с электродвигателем. Оно применимо для двигателей значительной мощности, в частности для синхронных электродвигателей.

По экономичности регулирование отсоединением компрессора от двигателя уступает регулированию остановками двигателя.

Регулирование изменением частоты вращения является наиболее экономичным, что обусловлено следующим: 1) работа механического трения сокращается почти пропорционально уменьшению производительности; 2) при уменьшении частоты вращения уменьшаются скорости газа в клапанах и трубопроводах; 3) более интенсивное охлаждение газа в цилиндрах и промежуточных газоохладителях.

Регулирование воздействием на коммуникацию.

Существует два способа регулирования путем перекрытия всасывания: отключение всасывания и дросселирование на всасывании. В первом случае регулирующий орган сразу перекрывает всасывающую линию, причем компрессор переходит на работу вхолостую, регулирование при этом прерывистое. При втором способе регулирующий орган перекрывает всасывающую линию частично.

Отключение всасывания. Прекращение подачи газа после перекрытия всасывающей магистрали происходит не мгновенно. Подача, постепенно уменьшаясь, продолжается еще несколько оборотов за счет газа, отсасываемого из пространства между всасывающим клапаном и регулирующим органом. В промышленности изготавливают устройства для автоматического регулирования производительности, путем отключения всасывания.

Дросселирование на всасывании. Дросселирующие устройства, применяемые для такого регулирования производительности, выполняют в виде клапана, шибера или задвижки и располагают перед всасывающим патрубком компрессора. Уменьшая проходное сечение дросселя, увеличивают его сопротивление и, следовательно, снижают давление газа, поступающего в цилиндр компрессора.

Перепуск с нагнетания на всасывание. Регулирование перепуском с нагнетания на всасывание может производиться: свободным и дроссельным перепусками. Первый способ осуществляется полным открытием перепускного вентиля или клапана с переводом компрессора на холостой ход. При втором способе перепуск сжатого газа производится через частично открытый вентиль, чем достигается плавное изменение производительности.

Регулирование воздействием на клапаны цилиндра. При регулировании воздействием на клапаны цилиндра изменение производительности достигается частичным или полным возвратом газа из полости цилиндра во всасывающий патрубок. Наиболее распространенным способом такого регулирования является отжим всасывающих клапанов, но иногда, вместо использования рабочих клапанов, для этой цели в цилиндре устанавливают специальные перепускные клапаны.

Аналогично возврату газа из цилиндра на всасывание возможно регулирование возвратом газа из нагнетательного патрубка в цилиндр. Однако такое регулирование не применяют, так как плотность нагнетаемого газа выше, чем всасываемого, и в клапанах возникают большие потери энергии.

Регулирование перепускными клапанами. Для предотвращения негативного влияния на рабочие клапаны компрессора, выпуск избытка газа производят через перепускные клапаны, предназначенные для сообщения рабочей полости цилиндра с полостью всасывания.

Перепускные клапаны располагают либо в конце цилиндра вместе со всасывающими и нагнетательными, либо в промежуточном положении по длине цилиндра так, что клапанное окно перекрывается поршнем.

Регулирование присоединением дополнительных полостей (мертвых пространств). Дополнительные полости выполняют постоянного или переменного объема и располагают либо непосредственно в цилиндре, либо в отдельных баллонах, соединенных с рабочей полостью цилиндра. Последовательное присоединение к цилиндру полостей постоянного объема дает ступенчатое регулирование производительности. Для осуществления плавного регулирования применяют полости переменного объема.

Клапаны, соединяющие дополнительные полости с полостями цилиндров, открываются вручную, пневматическим, электрическим или гидравлическим путем.

@KVIHT

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

Спасибо за внимание