

Тепловые двигатели и нагнетатели

Многоступенчатый компрессор

Лекция № 22

- Для получения газа высокого давления применяют многоступенчатые компрессоры, в которых сжатие газа осуществляется политропно в нескольких последовательно соединенных цилиндрах с промежуточным его охлаждением после каждого сжатия.

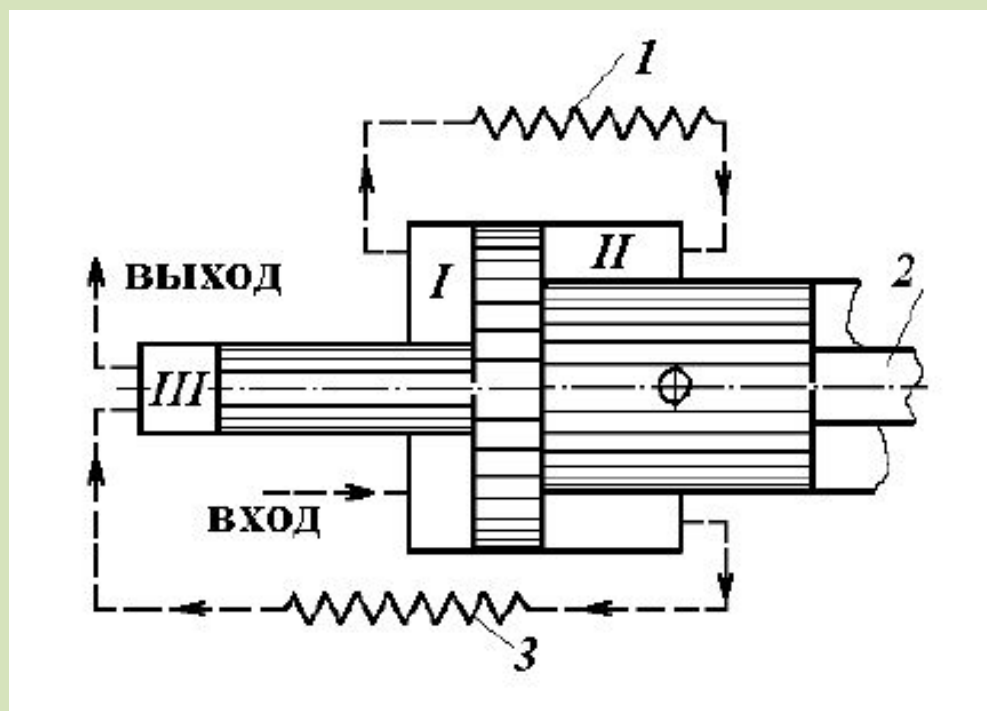
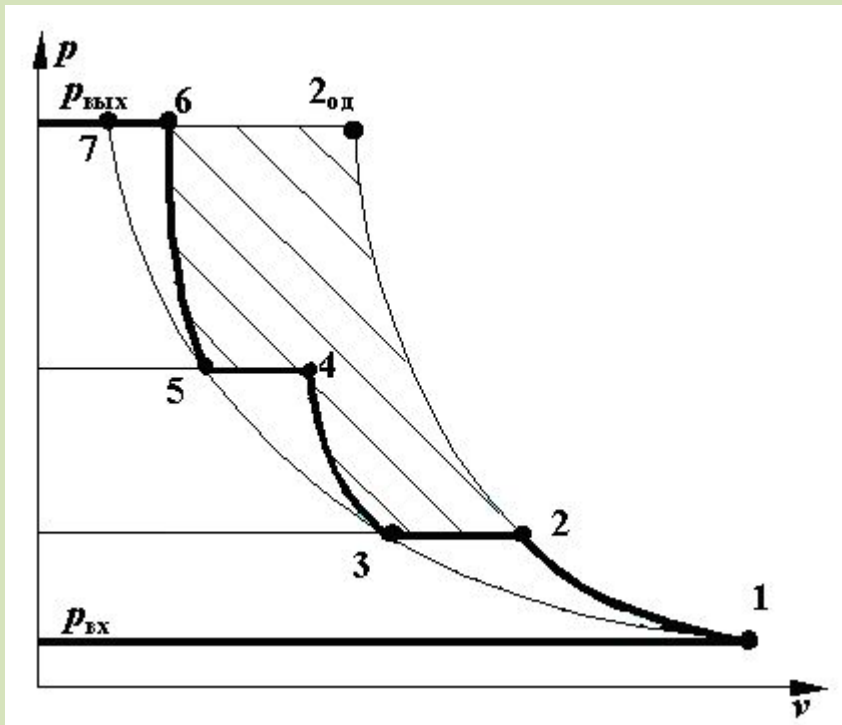


Схема трёхступенчатого поршневого компрессора с дифференциальным поршнем

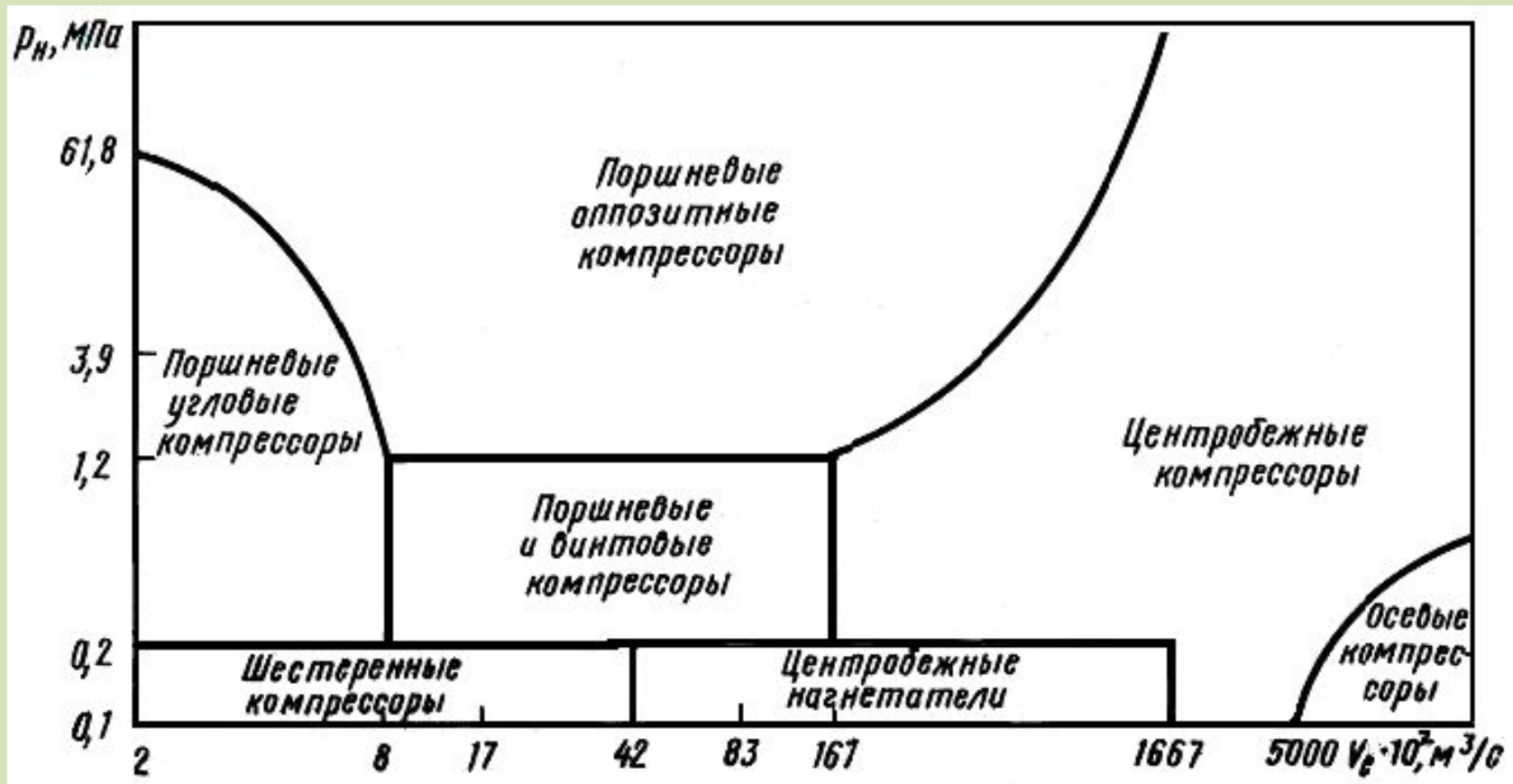
- Применение сжатия газа в нескольких цилиндрах понижает отношение давления в них и повышает **объемный КПД** компрессора.
- Промежуточное охлаждение газа после каждой ступени улучшает условие смазки поршня в цилиндре и уменьшает расход энергии на привод компрессора.



Многоступенчатое сжатие в компрессоре:

$1-2$, $3-4$, $5-6$ – процессы политропного сжатия в отдельных ступенях; $2-3$, $4-5$ – процессы в промежуточных охладителях; $1-2'$ – процесс сжатия до конечного давления без промежуточного охлаждения; $1-3-5-7$ – условная изотерма

- Разные типы компрессоров имеют разные технико-экономические характеристики, чем и определяется их использование.



Области применения компрессоров

1. Особенности конструкций поршневых компрессоров

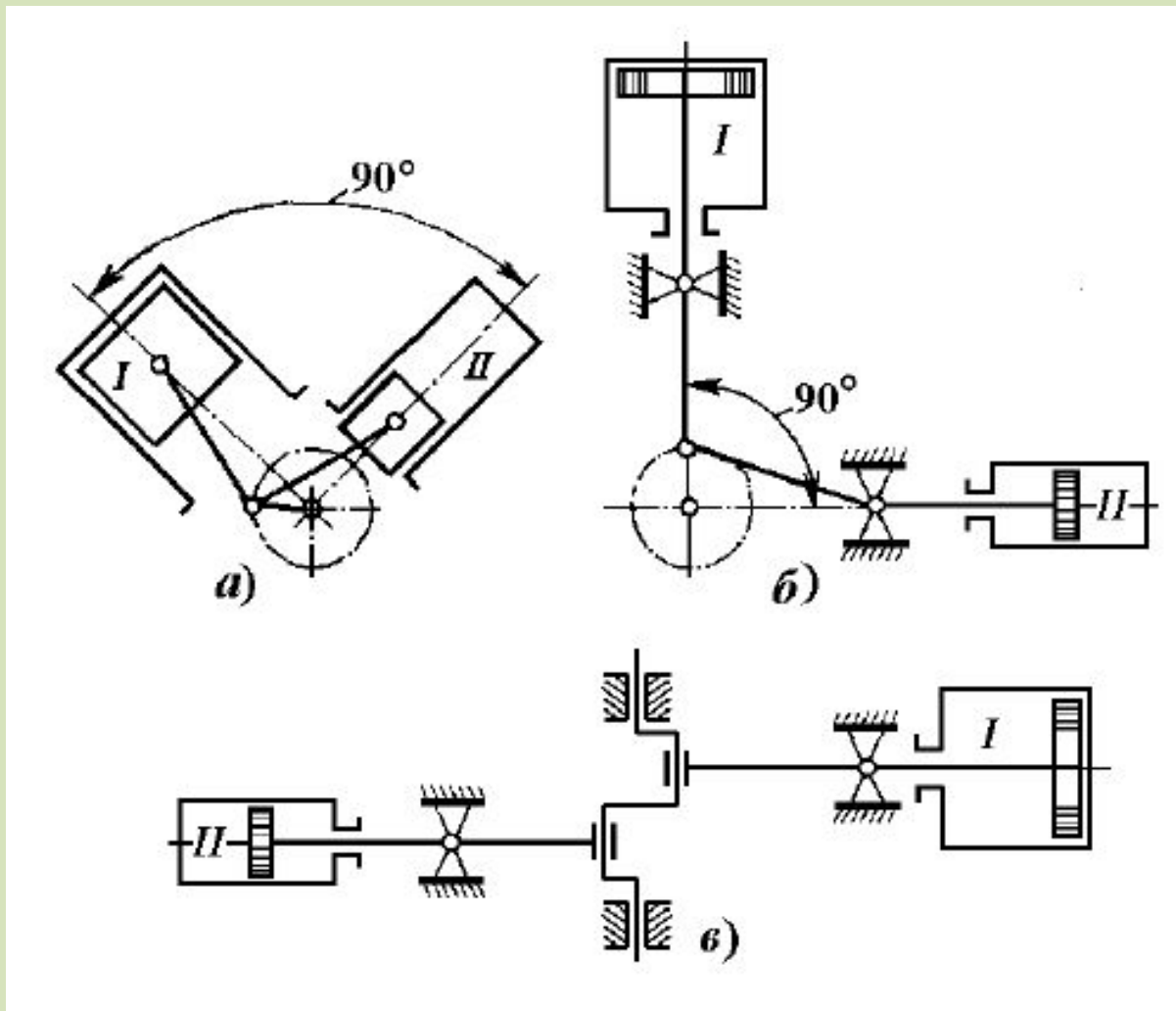
- Многоступенчатые компрессоры выполняются в трёх основных конструктивных вариантах:

□ 1) со ступенями сжатия в отдельных цилиндрах;

- 2) с дифференциальными поршнями и несколькими ступенями сжатия в одном цилиндровом блоке;

- 3) комбинированные.

- **Компрессоры первого типа** могут иметь несколько цилиндров, расположенных *в один ряд (рядное расположение)* или *более сложную общую компоновку (угловое, V-образное, оппозитное расположение цилиндров)*.
- Схемы таких компоновок приведены на следующем слайде. Каждая из приведённых компоновок имеет свои преимущества и недостатки, значение которых возрастает или уменьшается в зависимости от предназначения будущей машины.

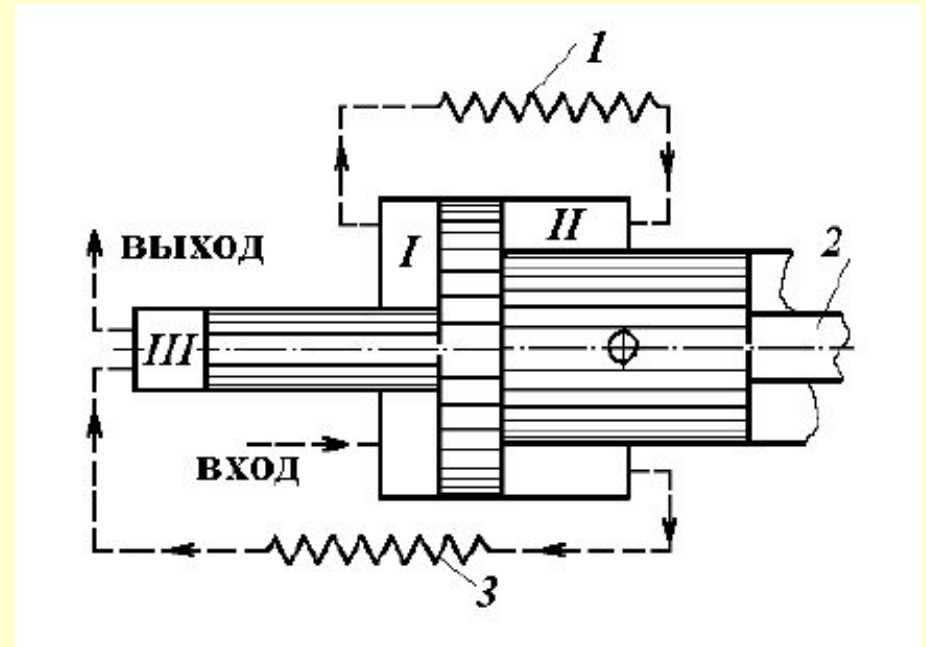
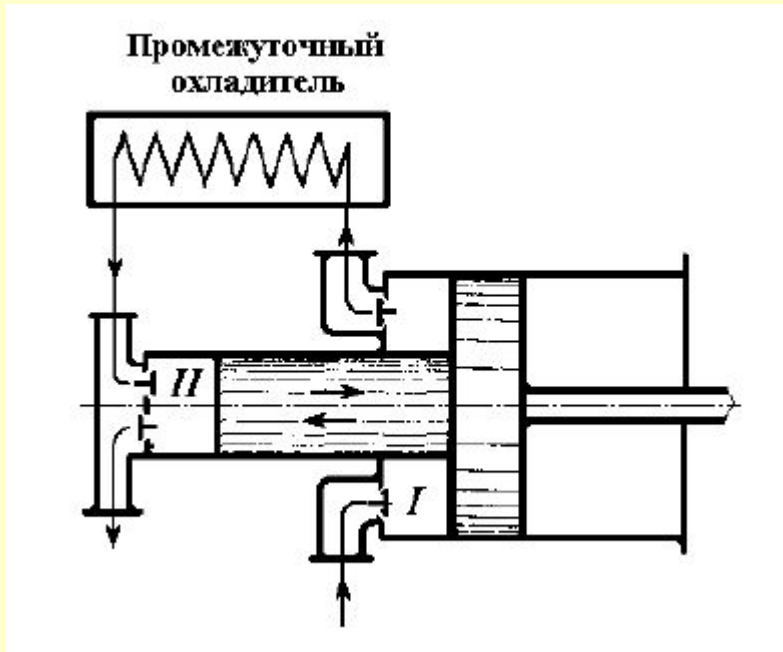


Компоновочные схемы многоступенчатых поршневых компрессоров: *a* – V-образная компоновка; *б* – угловая схема; *в* – горизонтальная оппозитная схема

- **Например**, *при жёстких ограничениях на производственные площади наилучшим вариантом будет рядная схема*, а *при установке компрессоров очень большой производительности и для высокого давления – оппозитная схема*, поскольку она позволяет легко динамически уравновесить машину с помощью противовесов на коленчатом валу.

- **Машины второго типа** **могут иметь поршни** **одностороннего или двустороннего действия.** **Возможна и комбинация этих принципов.**

Схемы компрессоров с дифференциальными поршнями

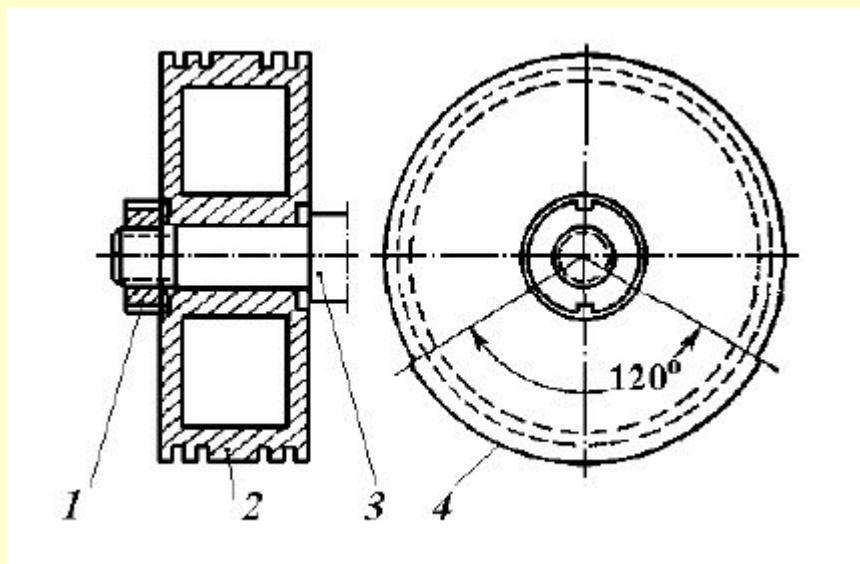


Двухступенчатый компрессор с дифференциальным поршнем одностороннего действия

Схема трёхступенчатого поршневого компрессора с дифференциальным поршнем: 1 – охладитель 1-й ступени; 2 – шток; 3 – охладитель 2-й ступени

- **В первом случае компрессор** имеет поршень *одностороннего действия*.
- **Во втором** – дифференциальный поршень *двустороннего действия*. При такой конструкции цилиндр первой ступени с помощью сальникового уплотнения между крышкой и штоком делается герметичным.
- Чтобы разгрузить поршень от боковых усилий, а значит уменьшить износ цилиндра, часто применяют специальный подшипник для прямолинейного движения, который называют **ползуном** или **крейцкопфом**.
- **Крейцкопф** жестко сочленяется с поршнем и через подвижное сочленение с помощью плавающего пальца – с шатуном. *На крупных ДВС также применяют крейцкопфы.*

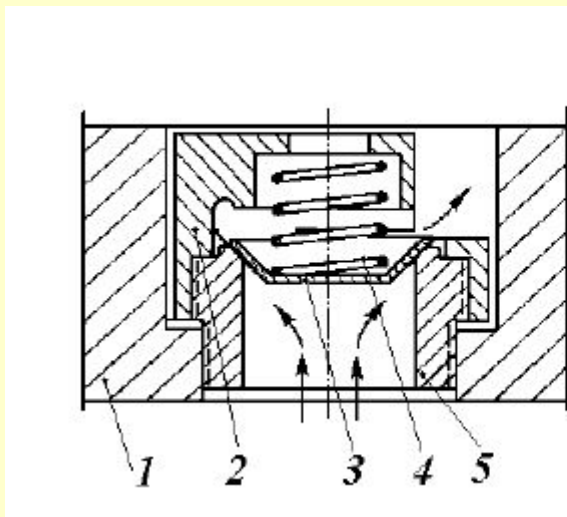
- **В крейцкопфных компрессорах** применяют поршни **дискового типа**, отличающиеся **малой толщиной**, достаточной только для размещения поршневых колец.
- На прижимной стороне диаметр поршня делается несколько большим.



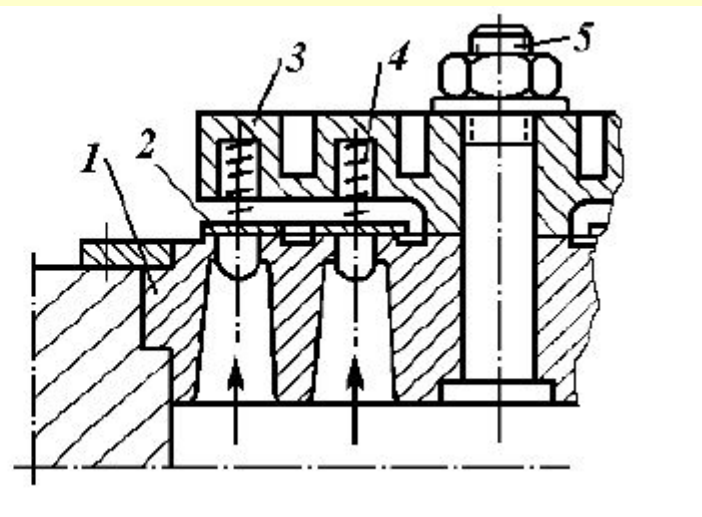
- **Поршень дисковый:** 1 – прижимная гайка; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – опорная поверхность

- Для правильной организации цикла в компрессоре важное значение **имеет работа клапанов**. **Клапаны** должны обеспечивать плотное и плавное закрытие цилиндра, долговечную и малошумную работу и др.

Схемы основных конструкций клапанов, применяемых в компрессорах



Клапан тарельчатый: 1 – корпус компрессора; 2 – прижимная гайка; 3 – тарелка; 4 – пружина; 5 – седло



Клапан пластинчатый: 1 – седло; 2 – кольцевая пластина; 3 – упорный диск; 4 – пружина; 5 – стяжной болт

- **Для нормальной работы компрессора необходимо вспомогательное оборудование,** обеспечивающее промежуточное и окончное охлаждение, сглаживание толчков давления, особенно при небольшом числе цилиндров, сепарацию сжатого газа от паров и капель смазывающего масла и др.
- **Общая схема компрессорной установки должна включать** трубопроводы, подводящие и отводящие охлаждающую воду, которая должна отдавать свою теплоту в окружающую среду в брызгальном бассейне или градирне.
- **Чтобы вода циркулировала в контуре охлаждения,** нужны циркуляционные насосы (рабочий и резервный), вентили и др.

- Особое значение имеет применение выходного ресивера (ёмкость большого объёма), предназначенного для сглаживания пульсаций давления.
- Направлять сжатый газ сразу в ресивер нельзя, поскольку он несёт с собой пары и мельчайшие капли масла и поэтому взрывоопасен.
- Для удаления этого масла служит маслоуловитель.
- В маслоуловителях обычно используют силу инерции, закручивая поток как и в циклоне.

- Бывают **маслоуловители** с *рыхлой засыпкой* или *заполненные мятой проволокой*, работающие как фильтры.
- **Маслоуловители** часто ставятся не только на выходе из компрессора, но и между ступенями, перед промежуточными охладителями газа.
- Обычно это трубчатые газо-водяные рекуперативные теплообменники.
- Несмотря на принимаемые меры по маслоудалению, полностью очистить газ не удаётся, и поэтому обычно ресиверы располагают вне цеха, так как они взрывоопасны.

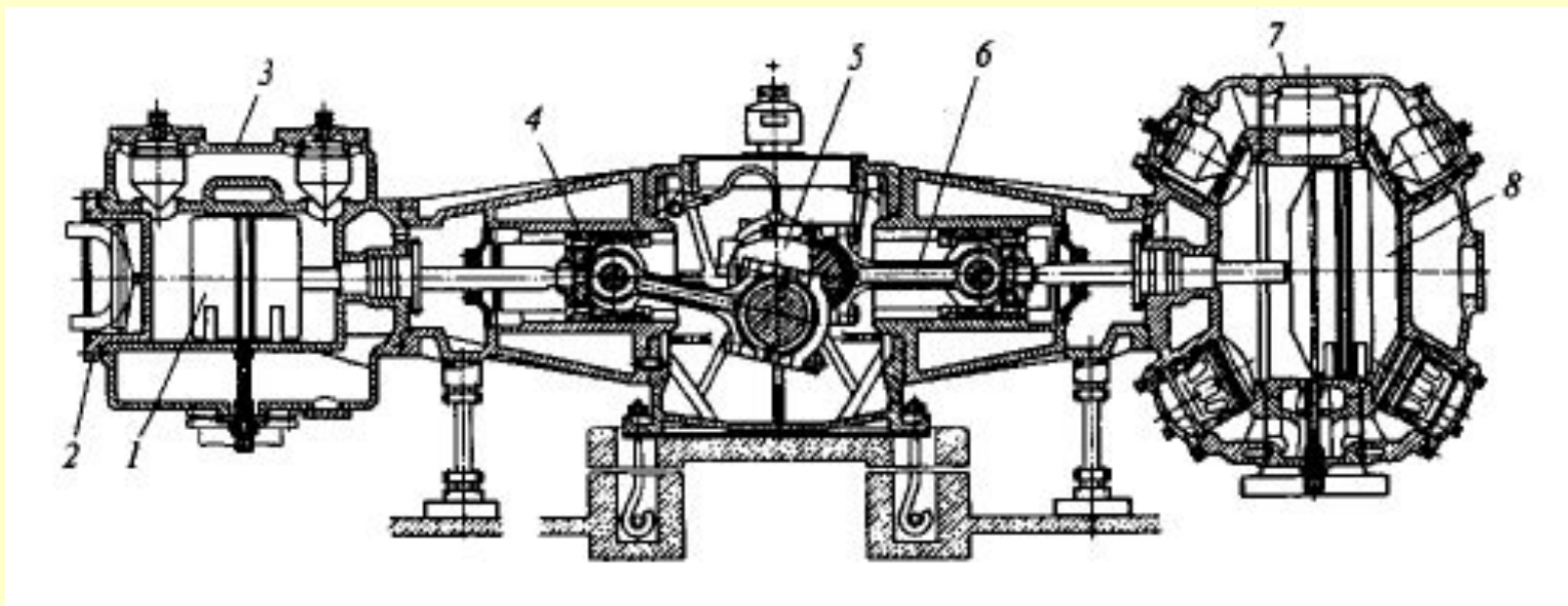
- На всасывающем патрубке всегда устанавливается воздушный фильтр. Обычно это масляные фильтры, где воздух проходит сквозь рыхлый, смоченный маслом материал или сетчатую решётку.
- Между ступенями и на ресивере устанавливают предохранительные клапаны (грузовые или пружинные), а также термометры и манометры для регистрации параметров газа, масла и воды в системе охлаждения.
- На крупных компрессорных станциях обычно устанавливают 2 – 4 (два рабочих, один резервный) компрессора, работающих параллельно. Это обеспечивает большую надёжность и манёвренность по подаче. При этом все измерительные приборы делаются дистанционными и их показания выводятся на общий щит управления и контроля.

- Для удовлетворения запросов потребителей заводы выпускают различные компрессоры стандартизованного номенклатурного ряда, построенного на основе унификации деталей, что удешевляет машины.

2. Устройство оппозитного компрессора

- Типичная конструкция оппозитного компрессора с подачей $100 \text{ м}^3/\text{мин}$ при $p_{\text{ВЫХ}} = 0,9 \text{ МПа}$, $n = 500 \text{ об/мин}$, с приводом от электродвигателя с номинальной мощностью $N_e = 630 \text{ кВт}$.

- Типичная конструкция оппозитного компрессора с подачей $100 \text{ м}^3/\text{мин}$ при $p_{\text{ВЫХ}} = 0,9 \text{ МПа}$, $n = 500 \text{ об/мин}$, с приводом от электродвигателя с номинальной мощностью $N_e = 630 \text{ кВт}$.

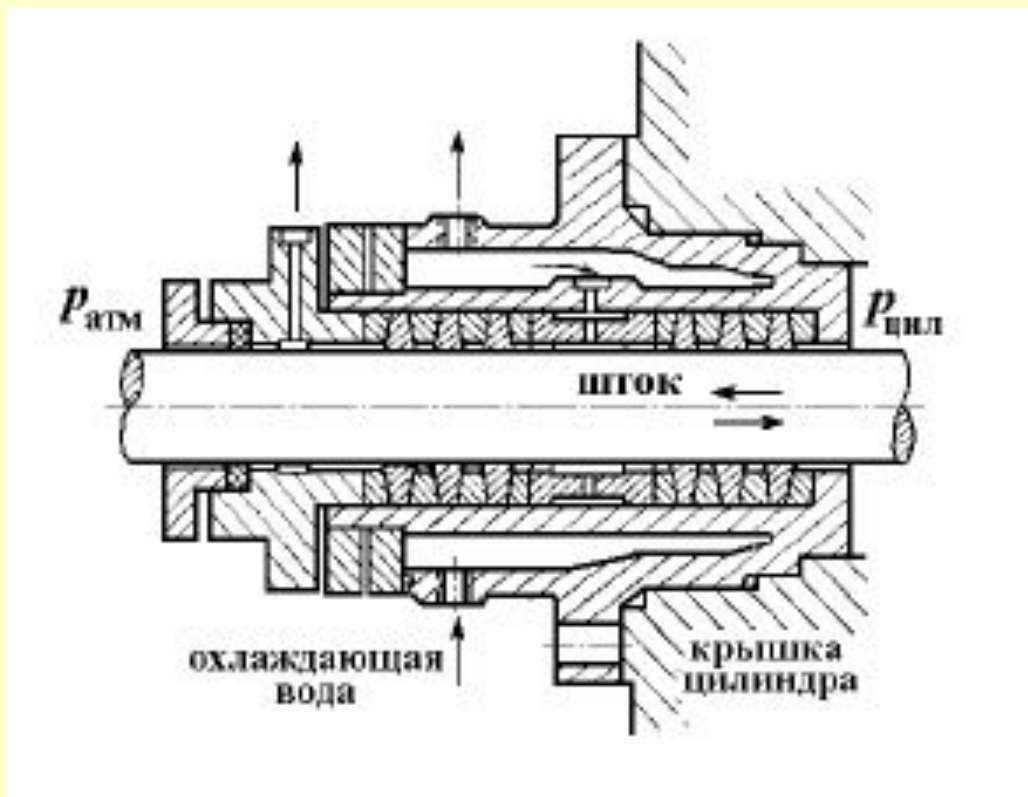


- **Оппозитный** **четырёхступенчатый** **поршневой компрессор:** 1 – поршень ступени высокого давления; 2 – крышка цилиндра; 3 – корпус с рубашкой охлаждения; 4 – крейцкопф; 5 – коленчатый вал; 6 – шток; 7 – цилиндр низкого давления; 8 – "мёртвый" объём цилиндра.

- Цилиндры компрессора литые чугунные (легированные чугуны применяют при $p_{\text{ВЫХ}} < 8$ МПа).
- Часто цилиндры делаются вставными в корпус, где организуется водяная охлаждаемая рубашка. Здесь же отлиты гнёзда для клапанных коробок, куда вставляются автоматические пружинные клапаны тарельчатого типа.
- Цилиндры компрессора двойного действия (рабочие полости с обеих сторон поршня).
- В них установлены по два всасывающих и два выпускных клапана.
- Цилиндры имеют штуцеры для подвода смазки.

- Поршни дискового типа с уплотняющими поршневыми кольцами и жёстким креплением штока.
- Обычно – поршни чугунные, реже – стальные, бывают и из алюминиевого сплава.
- В местах прохода штока сквозь крышку цилиндра установлены сальники, не позволяющие газу выходить из цилиндра.

- Для набивки сальников используют пропитанный графитовой мазью асбестовый шнур, а при высоких давлениях делают сальники из конических разрезанных чугунных колец.



Устройство сальникового уплотнения штока

- В корпусе компрессора расположены коленчатый вал и шатуны, связанные с крейцкопфами.
- Каждый крейцкопф имеет плавающий палец, обеспечивающий шарнирное соединение с шатуном. Шток закреплён с поршнем жестко.
- Корпус машины монтируется на тяжёлом фундаменте, поскольку, как и в ДВС, здесь есть внешняя неуравновешенность, хотя и гораздо меньшая, чем у рядных машин.