

Доклад на тему:  
Компримирование углеводородных  
газов

**Компримирование** (от фр. *comprimer* — сжимать, сдавливать) — повышение давления газа с помощью компрессора.

Особое значение компримирование газов играет в технологических процессах нефтеперерабатывающих и химических заводов, где на компримирование расходуется около 40% мощностей в общем балансе заводских энергозатрат.

К наиболее емким по потреблению сжатых газов можно отнести предприятия органического синтеза — производства синтетического спирта, каучука и аммиака, а также производства полимеров.

Сырьем подобных производств служат газы, которые в процессе их технологических превращений необходимо сжимать до значительных давлений: 3-4 МПа при получении синтетического спирта и до 300 МПа при получении полиэтилена. До широко внедрения в процессе добычи нефти метода погружных насосов основным методом извлечения её из недр являлся компрессорный способ.

Открытие природных месторождений газа, необходимость доставки его в населённые пункты и в промышленные предприятия способствовали созданию очень протяженной и разветвленной сети газопроводов, транспорт газа по которым не мыслим без применения компрессоров высокого давления, развивающих большие подачи. Достаточно отметить, что через каждые 100-150 км газопроводов необходимо устанавливать компрессорные станции, перекачивающие до нескольких миллионов кубометров газа в сутки.

# Классификация компрессорных машин

Компрессорные машины классифицируют следующим образом:

## 1) По развиваемому давлению:

- вентиляторы – компрессорные машины сжимающие газ до избыточного давления не более 0,15 МПа;
- газодувки – компрессорные машины сжимающие газ до избыточного давления 0,2 МПа;
- компрессоры – компрессорные машины сжимающие газ до избыточного давления более 0,2 МПа.

В свою очередь, компрессоры подразделяются на три группы в зависимости от давления нагнетания:

- низкого давления (0,2 – 1 МПа);
- среднего давления (1 – 10 МПа);
- высокого давления (10 – 300 МПа).

## 2) По виду:

- динамические;
- объемные.

## 3) По характеристике сжимаемого газа:

- воздушные компрессорные машины;
- газовые компрессорные машины.

#### 4) По принципу действия:

- поршневые компрессоры;
- центробежные компрессоры;
- ротационные компрессоры.

В свою очередь поршневые компрессоры классифицируют следующим образом:

##### 4.1) По принципу действия:

- поршневые компрессоры с цилиндрами простого действия;
- поршневые компрессоры с цилиндрами двойного действия;
- поршневые компрессоры с дифференциальным цилиндром

##### 4.2) По числу ступеней сжатия:

- одноступенчатые поршневые компрессоры;
- двухступенчатые поршневые компрессоры;
- трехступенчатые и более поршневые компрессоры.

##### 4.3) По числу цилиндров:

- одноцилиндровые поршневые компрессоры;
- двухцилиндровые поршневые компрессоры;
- трехцилиндровые и более поршневые компрессоры.

##### 4.4) По числу рядов, в которых располагаются цилиндры:

- однорядные компрессоры;
- двухрядные компрессоры;

- многорядные компрессоры.

#### 4.5) По ориентации цилиндров в плоскости:

- угловые компрессоры;
- компрессоры с V – образным расположением цилиндров.

#### 4.6) Компрессоры со встречным (оппозитным) движением поршней

#### 5) По способу установки:

- стационарные компрессоры;
- передвижные компрессоры.

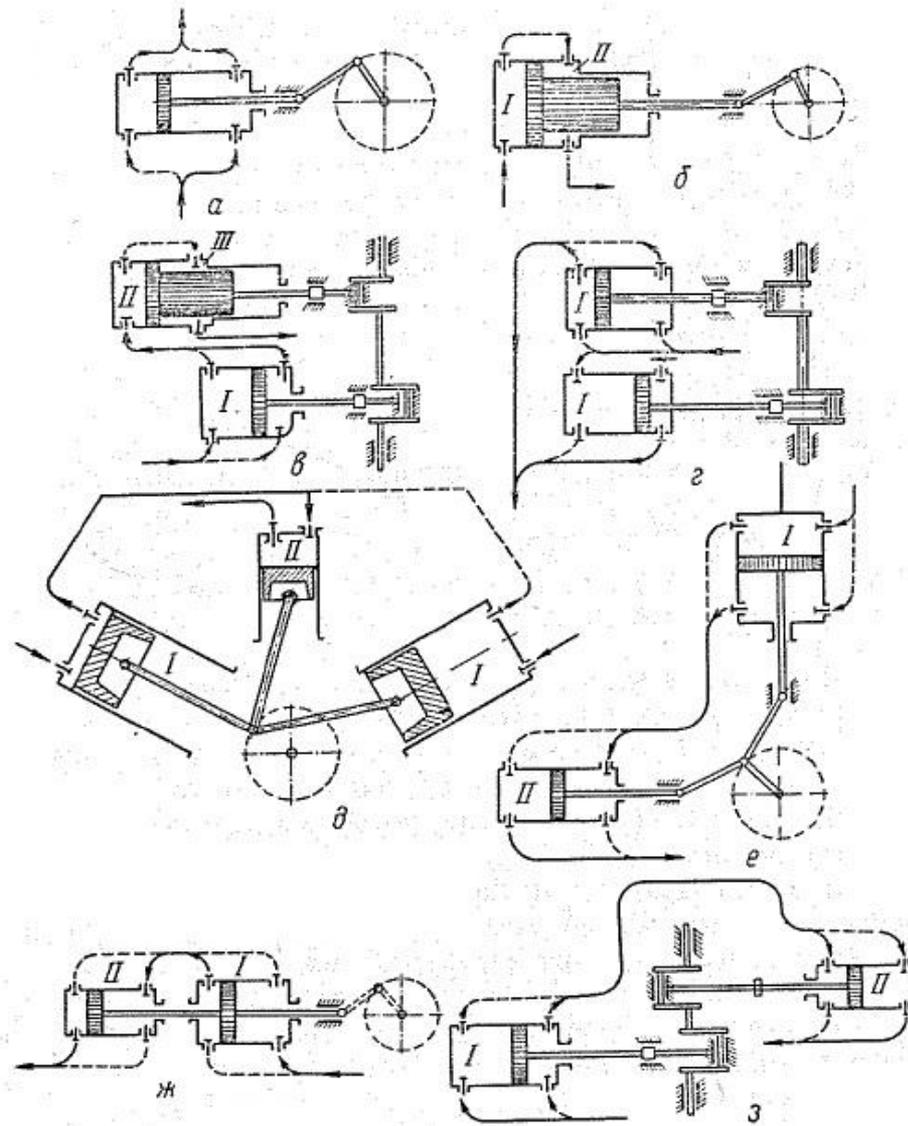
#### 6) По расположению рабочих органов:

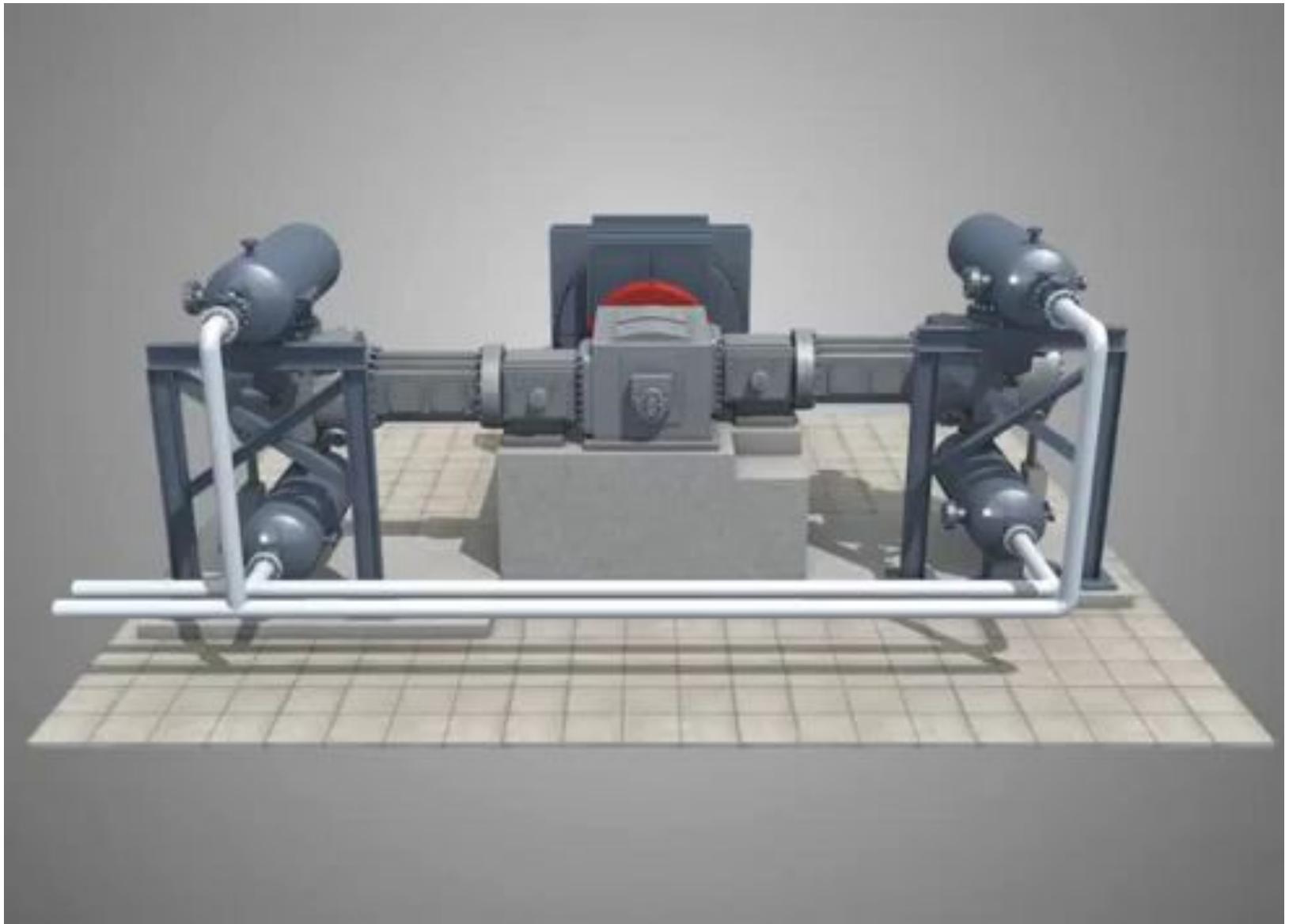
- горизонтальные компрессоры;
- вертикальные компрессоры;
- наклонные компрессоры.

#### 7) По развиваемой производительности:

- малые компрессоры производительностью до  $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- средние компрессоры производительностью от  $0,015$  до  $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- крупные компрессоры производительностью более  $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

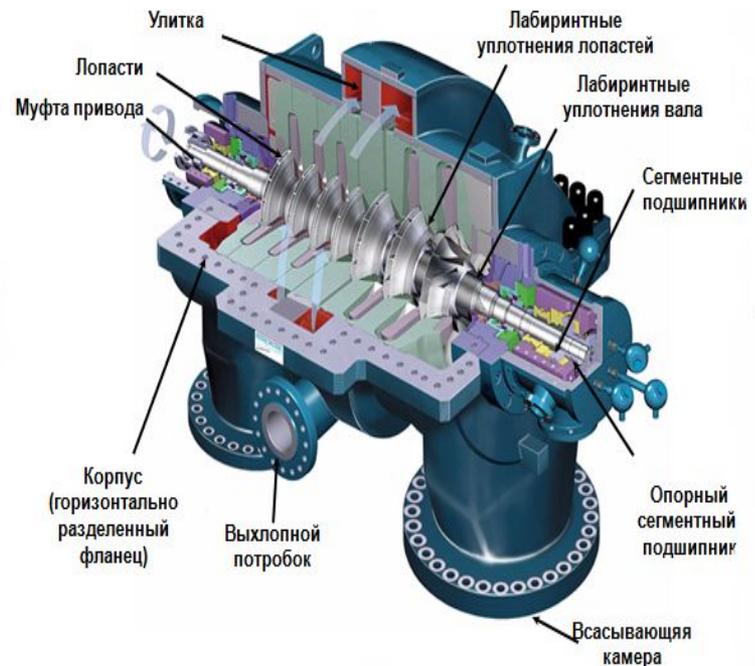
# Типы поршневых компрессоров





# Центробежный компрессор

Это компрессор, воздух или газ в котором сжимается за счет преобразования одного вида энергии в другой. Давление воздуха повышается за счет приобретения кинетической энергии от рабочих элементов компрессора, после чего кинетическая энергия преобразуется в энергию потенциальную (энергию сжатия)



На рисунке представлена схема промежуточной и концевой ступеней центробежного компрессора. Газ из **рабочего колеса 1** промежуточной ступени поступает в **диффузор 2**, затем в **обратный направляющий аппарат 3**, откуда забирается **рабочим колесом 5** последующей ступени через **диффузор 4** попадает в нагнетательную камеру (улитку). Комплекс **рабочее колесо-диффузор-обратный направляющий аппарат** и является ступенью центробежного компрессора.

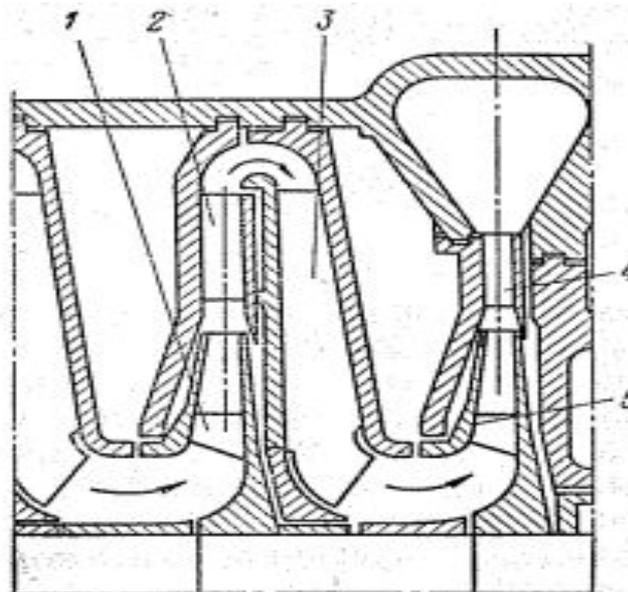


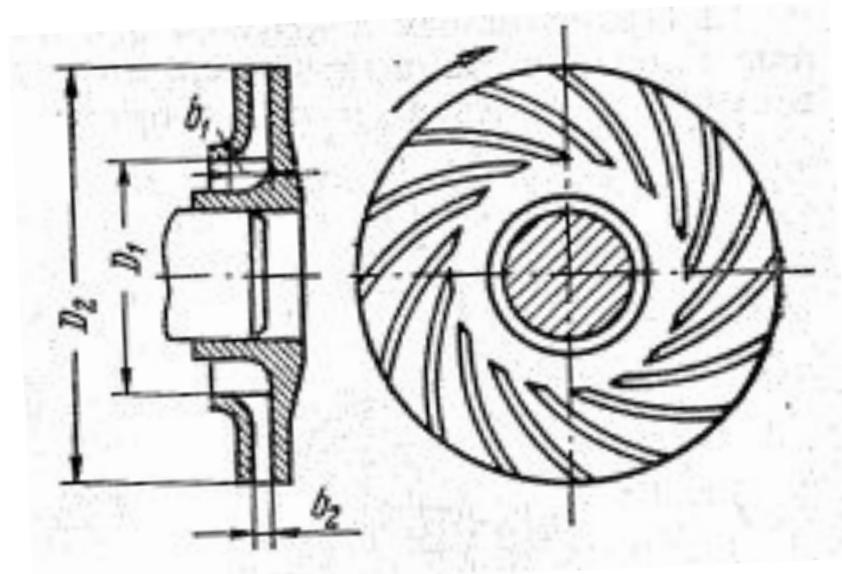
Схема промежуточной и концевой ступеней центробежного компрессора: 1,5- рабочее колесо, 2,4- диффузор, 3- обратный направляющий аппарат

# УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- Основными элементами центробежного компрессора являются:
- корпус,
- рабочее колесо,
- диффузор,
- обратный направляющий аппарат.

# Рабочее колесо

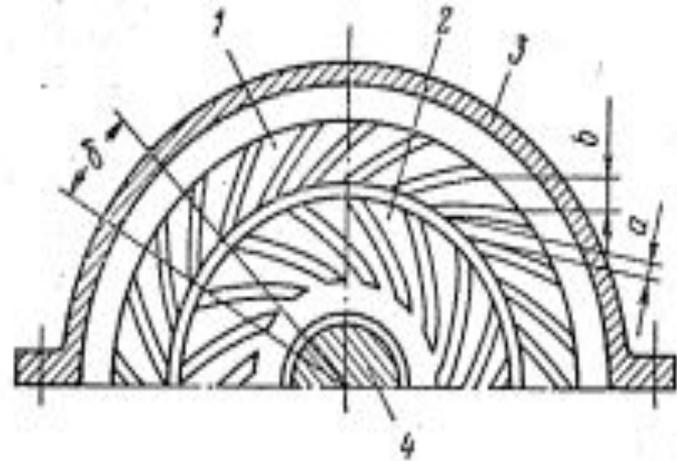
Рабочие колеса ЦК имеют лопатки, загнутые назад на 40-50 градусов, число лопаток варьируется от 10 до 28. На рисунке изображено рабочее колесо центробежного компрессора. На современных компрессорах рабочие колеса, как правило, закрытые. Окружные скорости на выходе из рабочего колеса 250-300 м/с (для выбора окружных скоростей, обеспечивающий макс. КПД пользуются критерием Маха. Это отношение абсолютной скорости газа на выходе из рабочего колеса к скорости звука в газе). Установлено, что для достижения наилучших характеристик необходимо, чтобы число Маха находилось в пределах 0,55-1,0.



# Диффузор

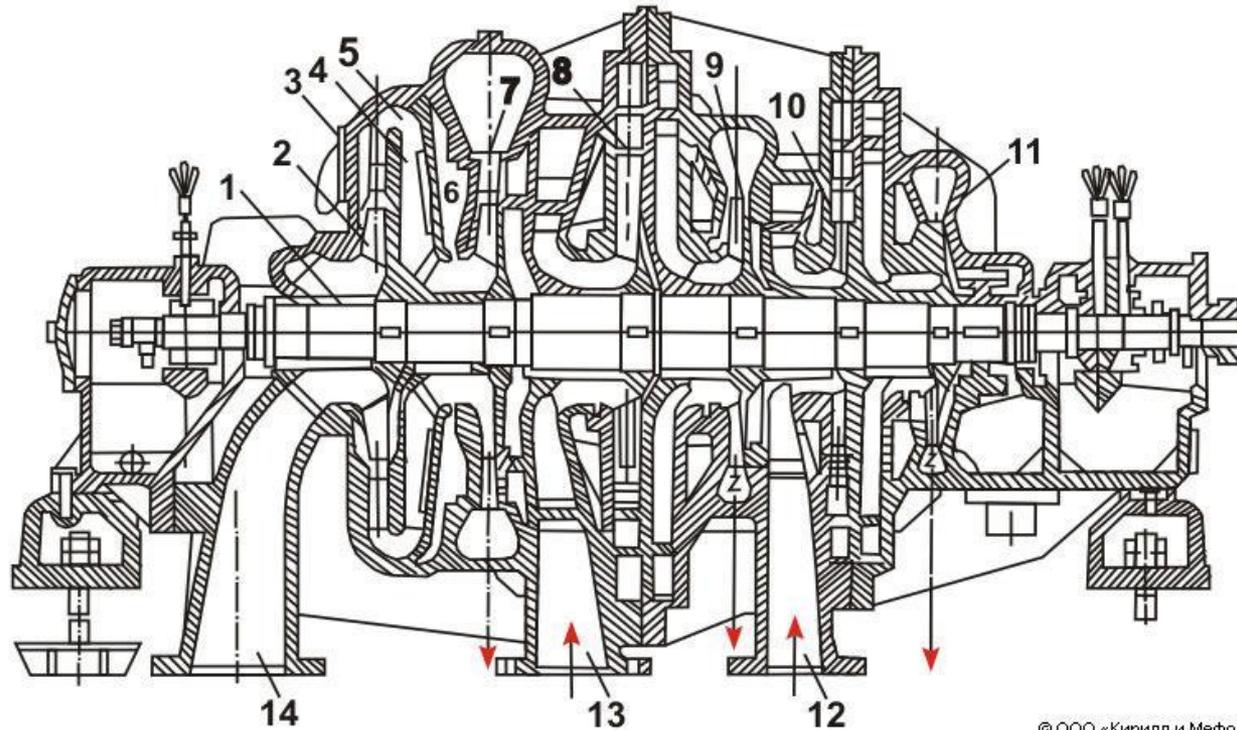
В **диффузоре компрессора** снижается скорость движения сжатого газа, вследствие чего повышается пьезометрический напор, т.е. увеличивается потенциальная энергия потока.

**Диффузоры** могут быть  
-безлопаточные  
-лопаточные



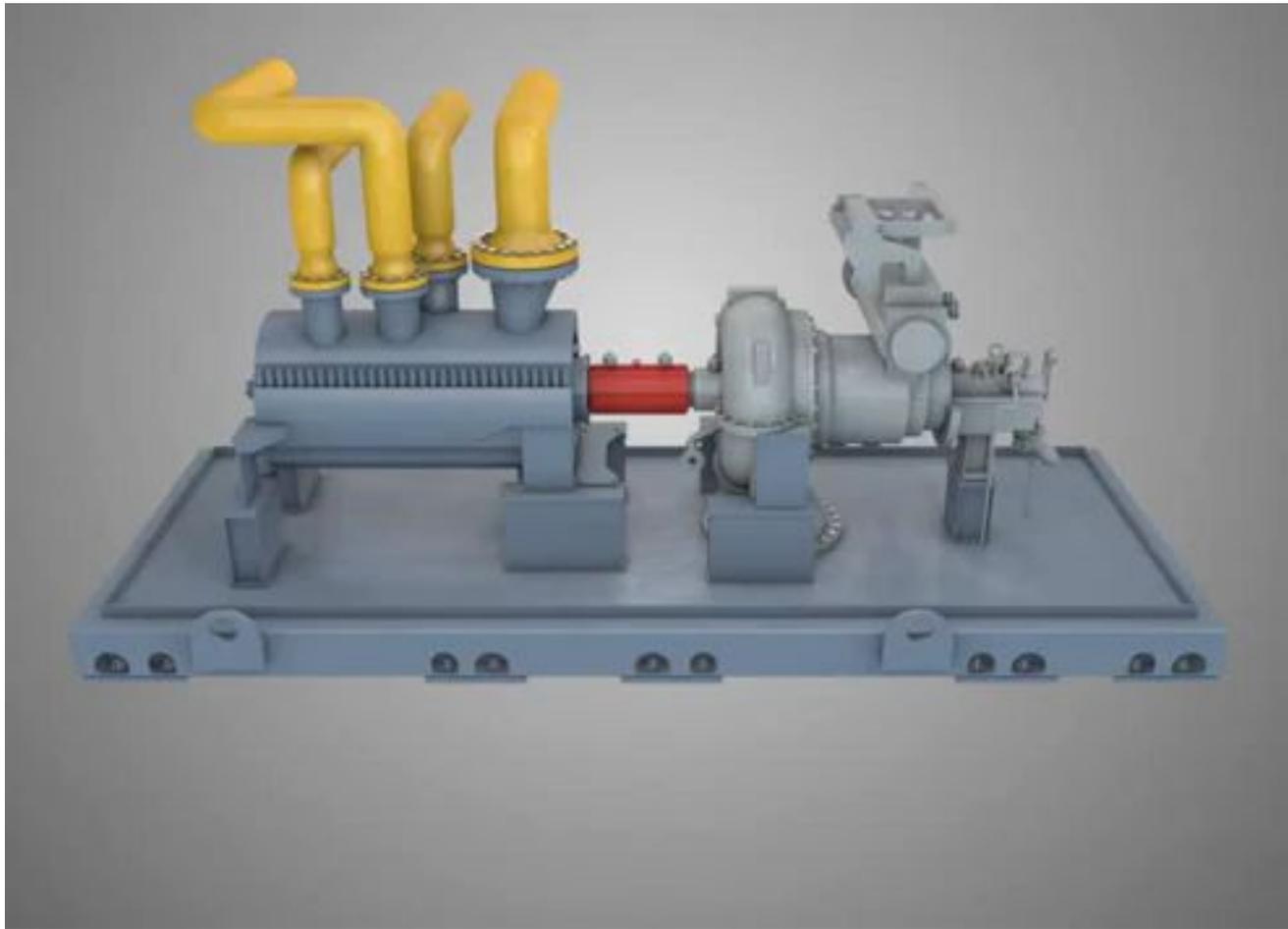
Диффузор: 1- Диффузор, 2- Рабочее колесо, 3- Корпус, 4- Вал

## Центробежный компрессор



© ООО «Кирилл и Мефодий»

Центробежный компрессор: 1 — вал; 2, 6, 8, 9, 10 и 11 — рабочие колеса; 3 и 7 — кольцевые диффузоры; 4 — обратный направляющий канал; 5 — направляющий аппарат; 12 и 13 — каналы для подвода газа из холодильников; 14 — канал для всасывания газа.



# Характеристики

Давление в зависимости от количества ступеней:

-Центробежные одноступенчатые компрессоры- до 0,4 Мпа

-Четырехступенчатые компрессоры- до 2,0 Мпа

-Многоступенчатые компрессоры- до 10 Мпа

Производительность

-16...30000 м<sup>3</sup>/мин

# Компрессорные станции

- Компрессорные станции предназначены для:
- 1) транспортировки природного газа по магистральным газопроводам;
- 2) компримирования нефтяных газов при газлифтной добыче нефти;
- 3) сбора и транспорта попутного нефтяного газа;
- 4) компримирования попутного нефтяного газа в технологии газоперерабатывающих заводов (ГПЗ);
- 5) закачки газа в пласт при разработках газоконденсатных месторождений с применением сайклинг-процесса.



## Компрессорная станция газоперерабатывающего завода

Обычно процесс компрессии газа предшествует другим процессам переработки: масляной абсорбции, низкотемпературной абсорбции, низкотемпературной конденсации и низкотемпературной ректификации. Эти процессы проходят при повышенных давлениях. Компримирование газа необходимо также для дальнейшего транспортирования отбензиненного газа по магистральным трубопроводам. Поэтому в состав любого ГПЗ входит одна или несколько компрессорных станций, объединяемых в компрессорные службы или компрессорные цехи.

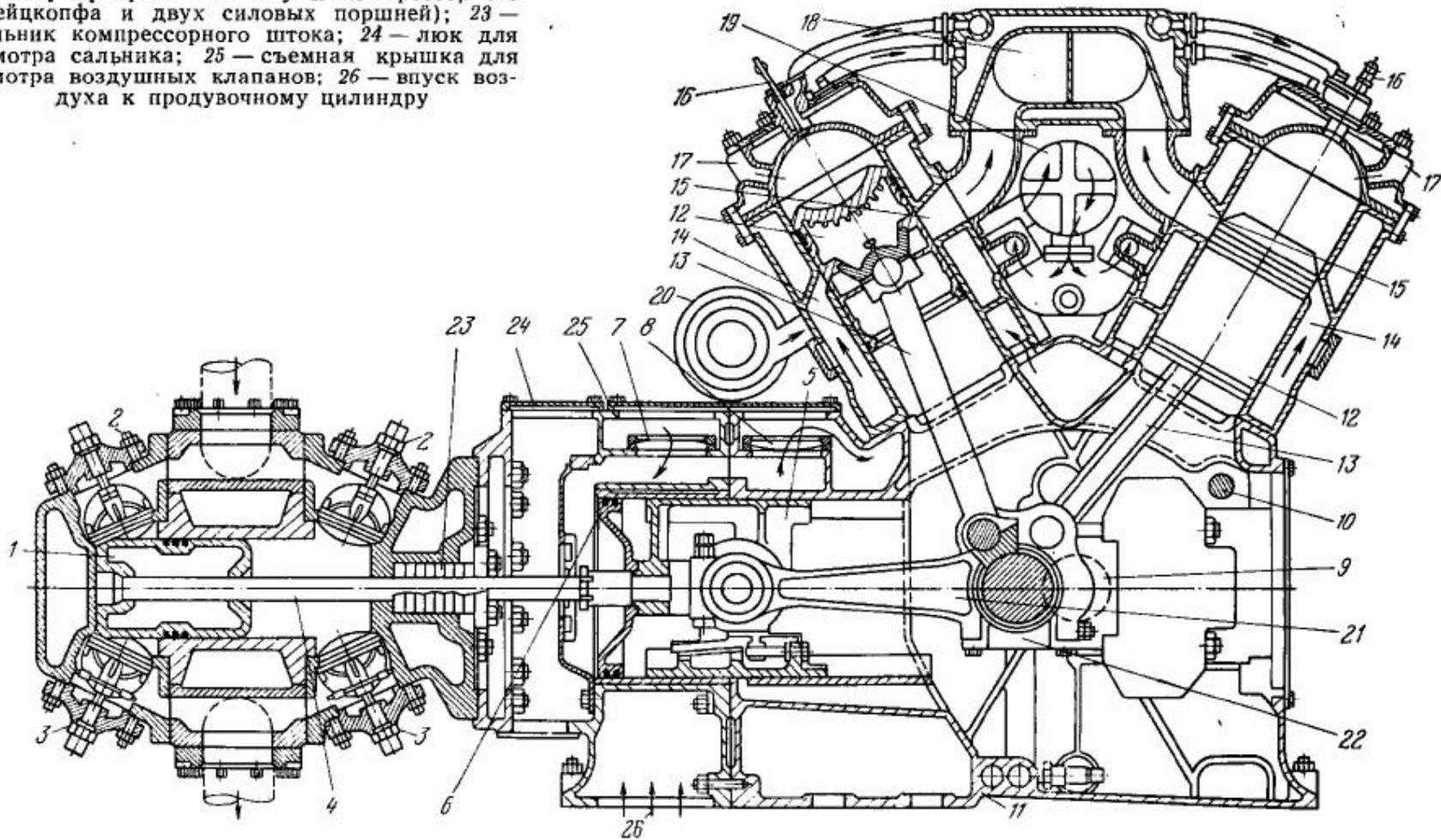
В состав компрессорной станции входят:

- 1) машинный зал с технологическими компрессорами;
- 2) системы циркуляции и охлаждения умягченной воды;
- 3) блок охлаждения и сепарации газа;
- 4) отделение пусковых воздушных компрессоров;
- 5) блок регенерации отработанных масел.

На отечественных ГПЗ производительностью по газу в пределах 0,5 – 1 млрд. м<sup>3</sup>/год наибольшее применение получили газомоторные поршневые компрессоры 10ГК и 10ГКН. Моторная часть газомоторных компрессоров всех модификаций одной и той же конструкции, что позволяет с малыми затратами и в чрезвычайно короткие сроки заменять компрессорные цилиндры одного размера цилиндрами другого размера, превращая компрессор из одноступенчатого в многоступенчатый и наоборот.

# Разрез углового газомоторкомпрессора 10ГК1/55-125

1 — поршень компрессорного цилиндра; 2 — приемные клапаны; 3 — выкидные клапаны; 4 — поршневой шток компрессора; 5 — крейцкопф; 6 — поршень для сжатия продувочного воздуха; 7 — всасывающий воздушный клапан; 8 — выкидной воздушный клапан; 9 — коленчатый вал агрегата; 10 — вал вспомогательного привода; 11 — дно картера; 12 — поршень силового цилиндра; 13 — шатун силового цилиндра; 14 — окно для впуска продувочного воздуха; 15 — окно для выхлопа продуктов горения; 16 — газовпускной клапан; 17 — запальная свеча; 18 — выхлопной коллектор; 19 — холодильник для смазочного масла; 20 — центробежный насос для подачи охлаждающей воды; 21 — шатун компрессора, соединяющий крейцкопф с коленом основного вала; 22 — мотылевый подшипник на колене вала (к нему прикреплены шатуны компрессорного крейцкопфа и двух силовых поршней); 23 — сальник компрессорного штока; 24 — люк для осмотра сальника; 25 — съемная крышка для осмотра воздушных клапанов; 26 — впуск воздуха к продувочному цилиндру



# Дросселирование

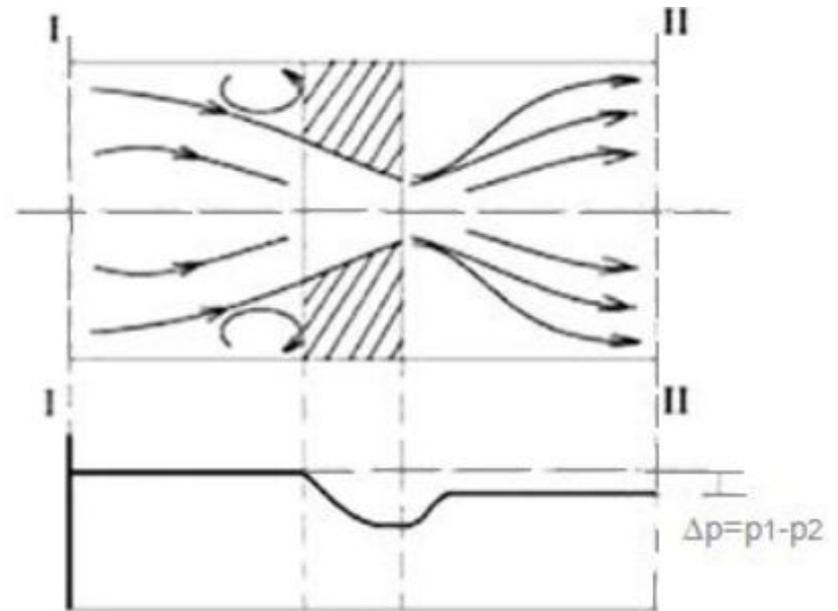
## Эффект Джоуля-Томсона

Течение газа под действием перепада давления сквозь дроссель называется дросселированием.

Английские ученые Джоуль и Томсон в 1852÷1862 г.г. обнаружили и изучили явление изменения температуры при прохождении газа через дроссель. Это явление названо эффектом Джоуля-Томсона.

Эффект Джоуля-Томсона называется положительным, если газ в процессе дросселирования охлаждается ( $\Delta T < 0$ ), отрицательным, если газ нагревается ( $\Delta T > 0$ ).

Коэффициент, определяемый как изменение температуры при изменении давления, называется коэффициентом Джоуля-Томсона



# Компрессоры в составе ГПЗ



- 1) пункт приема и подготовки газа;
- 2) компрессорные станции;
- 3) технологические установки для очистки газа от сернистых соединений;
- 4) установка для очистки от двуокиси углерода;
- 5) установки газофракционирования;
- 6) установки отделения гелия, этана;
- 7) установки производства серы;
- 8) установки стабилизации и переработки газового конденсата нефтестабилизации;
- 9) вспомогательные объекты, товарные парки, службы водо-, паро- и электроснабжения.

# Цепочка газопереработки



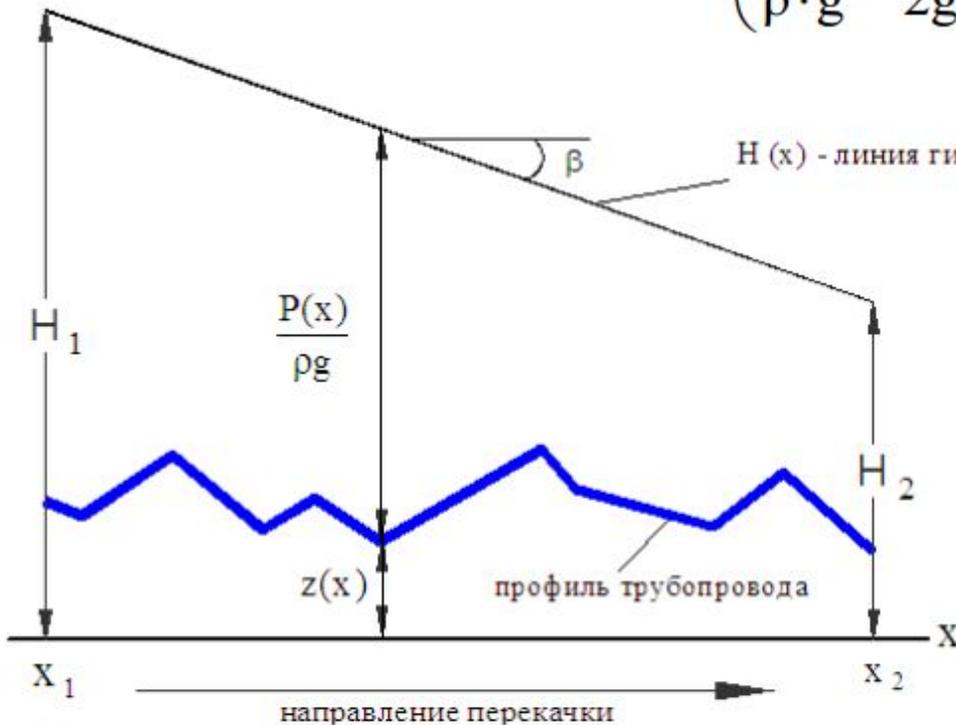
# Подготовка газа перед компримированием

Перед приемкой углеводородов в транспортную систему обязательно проводится проверка их соответствия требованиям нормативных документов:

- измерение объема и массы;
- измерение температуры и давления;
- определение плотности;
- определение содержания механических примесей;
- определение содержания воды;
- измерение кинематической вязкости;
- определение состава газа и содержания его компонентов;
- измерение сжимаемости газа (предотвращение гидратообразования).

# Уравнение Бернулли

$$\left( \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right) = h_{1-2} = h_{\tau} + h_{\text{м}}$$



$$H = \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \text{ - полный напор, [м]}$$

$$\frac{P}{\rho g} \text{ - пьезометрический напор, [м]}$$

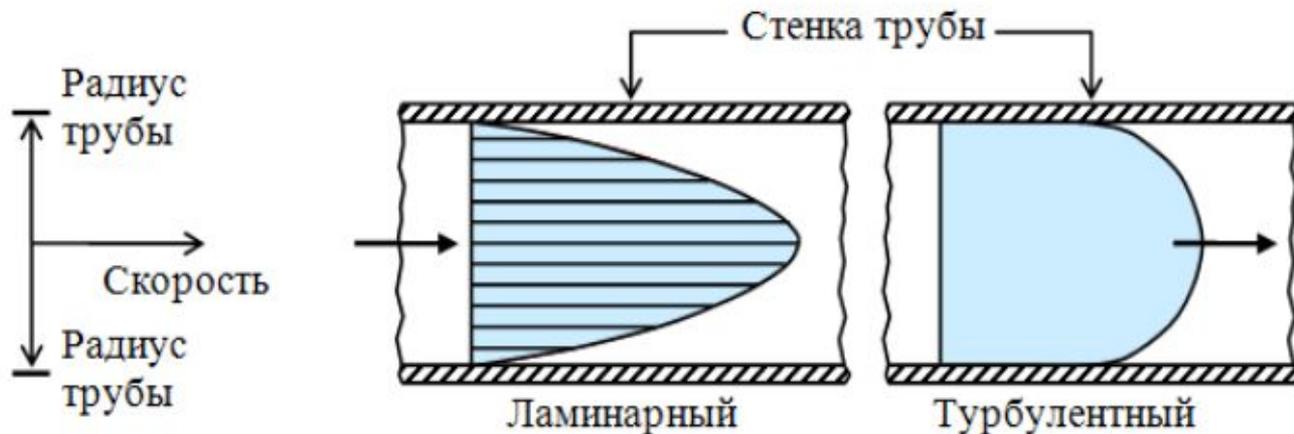
$$\frac{v^2}{2g} \text{ - скоростной напор, [м]} \quad v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$z \text{ - геометрический напор, [м]}$$

Основное уравнение гидравлики – уравнение Бернулли.

Физический смысл: закон сохранения энергии для движущейся жидкости

# Распределение профиля скоростей в газопроводе



Рабочее давление (напор) в трубопроводе определяется исходя из объема транспортируемой нефти, расстояния до потребителя, профиля трубопровода, несущей способности трубопровода.

Критерии определения толщины стенки трубопровода на суше:

- Несущая способность трубопровода (способность выдержать внутреннее давление)
- Компенсация продольных и поперечных напряжений
- «Противокоррозионный» запас на внешнюю среду

# Компрессорные станции

Газопроводы в зависимости от рабочего давления подразделяются на два класса:

I — при рабочем давлении свыше 2,5 до 10,0 МПа включительно

II — при рабочем давлении свыше 1,2 до 2,5 МПа включительно

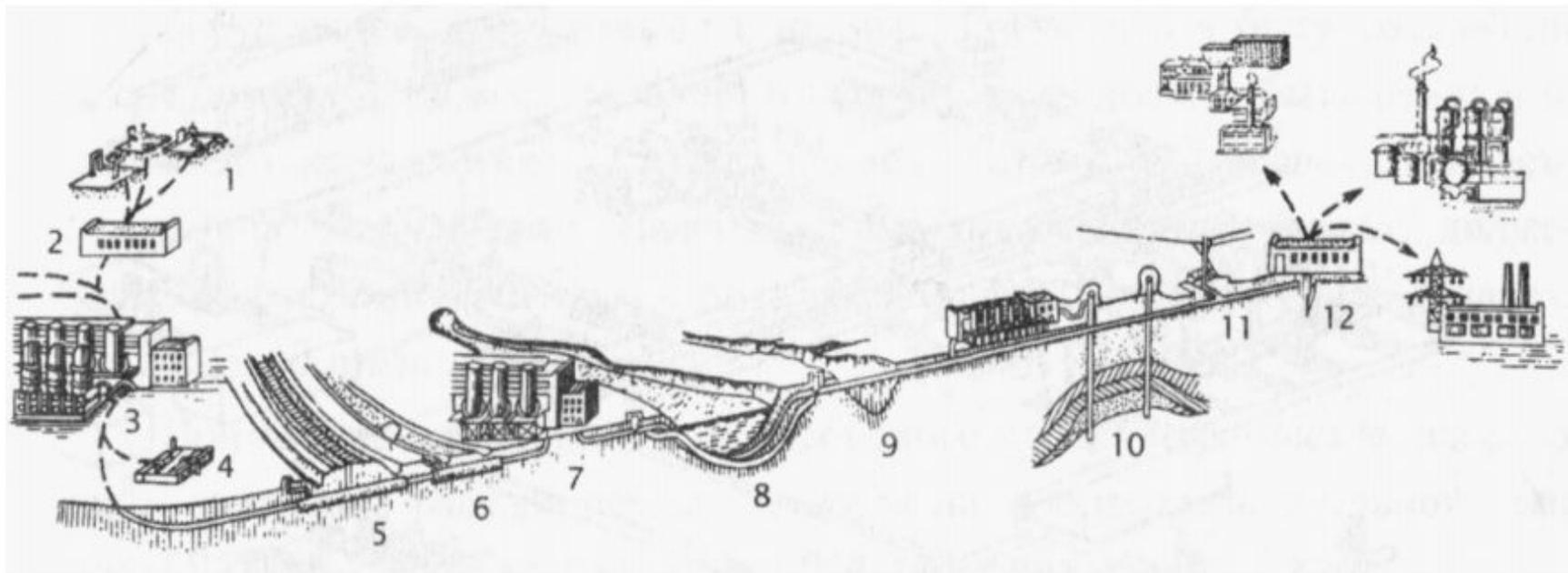
Компрессорные станции (КС) – технологические объекты (инженерные сооружения), предназначенные для поддержания в газопроводе рабочего давления, обеспечивающего транспортировку газа в предусмотренных объемах.

КС сооружают по трассе газопровода. Расстояние между ними составляет 100-150 км.



# Компрессорные станции в составе МГ

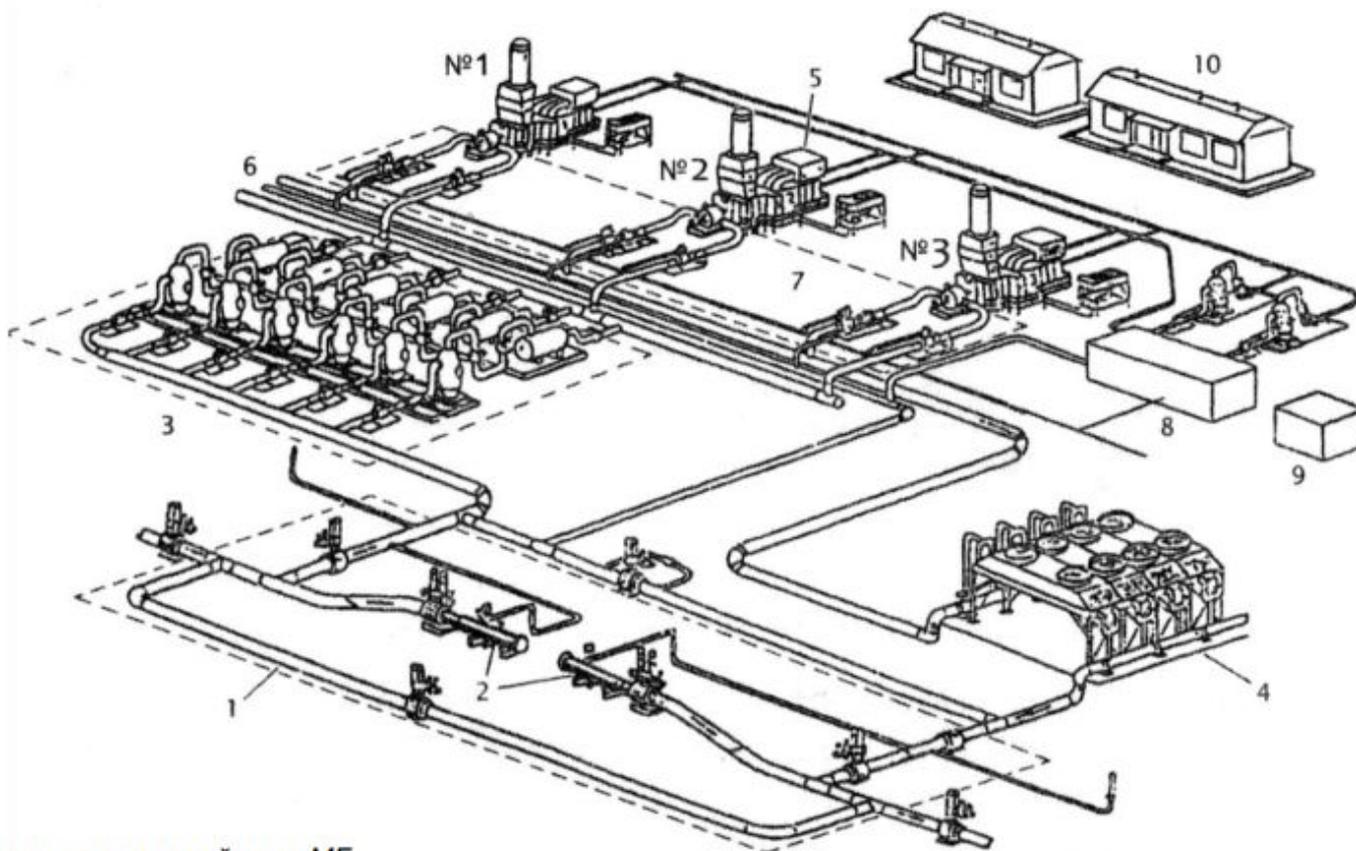
Магистральный газопровод (МГ) – трубопровод (инженерное сооружение), предназначенный для транспортировки газа из района добычи в районы его потребления или переработки.



- 1 – газовый промысел
- 2 – газосборный пункт
- 3 – головная компрессорная станция (КС)
- 4 – отвод к газораспределительной станции (ГРС)
- 5 – переход через железную дорогу
- 6 – переход через автомобильную дорогу

- 7 – промежуточная компрессорная станция (КС)
- 8 – переход через реку
- 9 – переход через овраг
- 10 – подземное хранилище газа (ПХГ)
- 11 – станция катодной защиты
- 12 – конечная газораспределительная станция (ГРС)

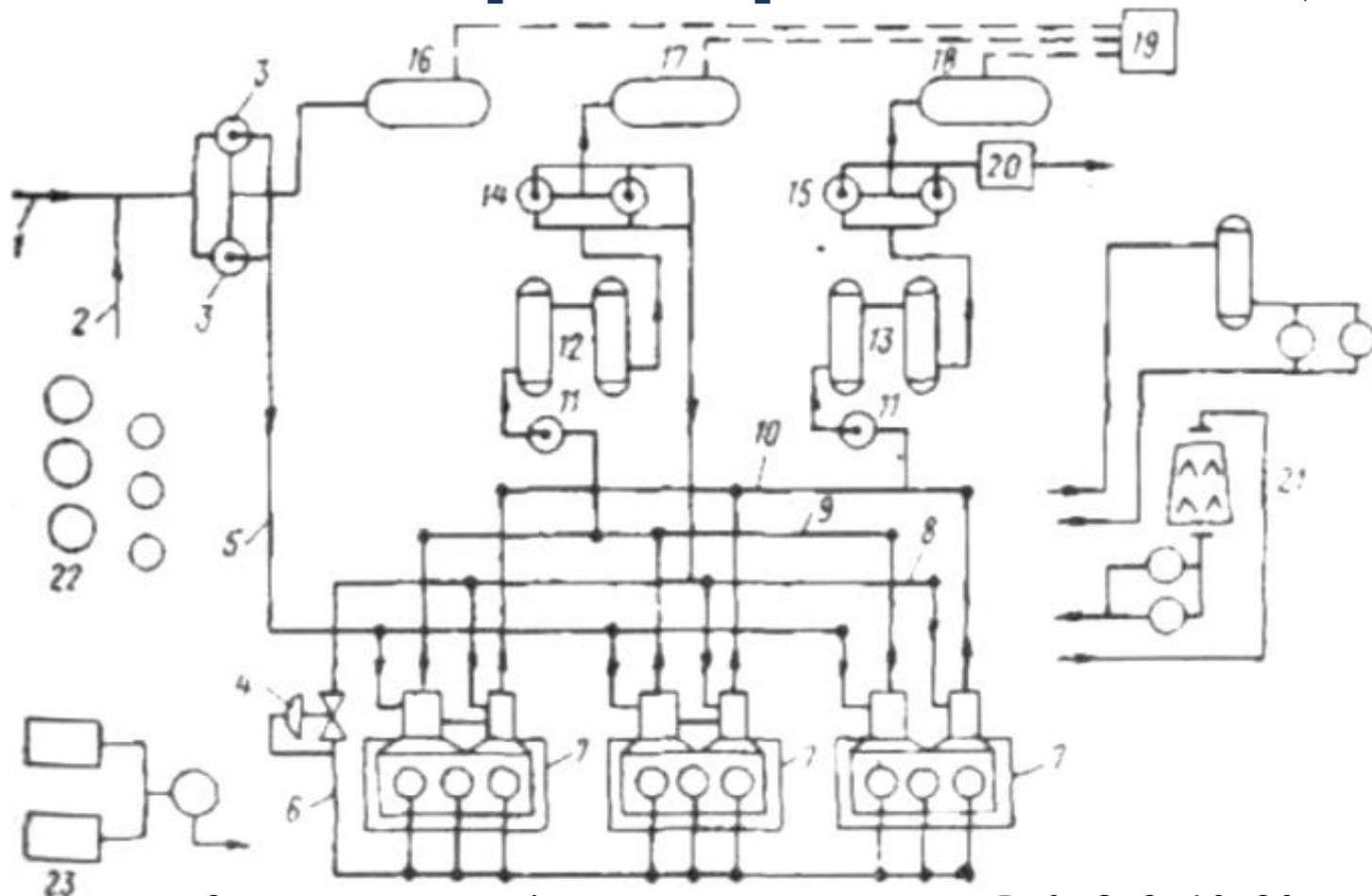
# Схема компрессорной станции



- 1 – узел подключения КС к МГ
- 2 – камеры запуска и приема очистного устройства МГ
- 3 – установка очистки газа (пылеуловитель и сепаратор)
- 4 – аппарат воздушного охлаждения газа
- 5 – газоперекачивающие агрегаты

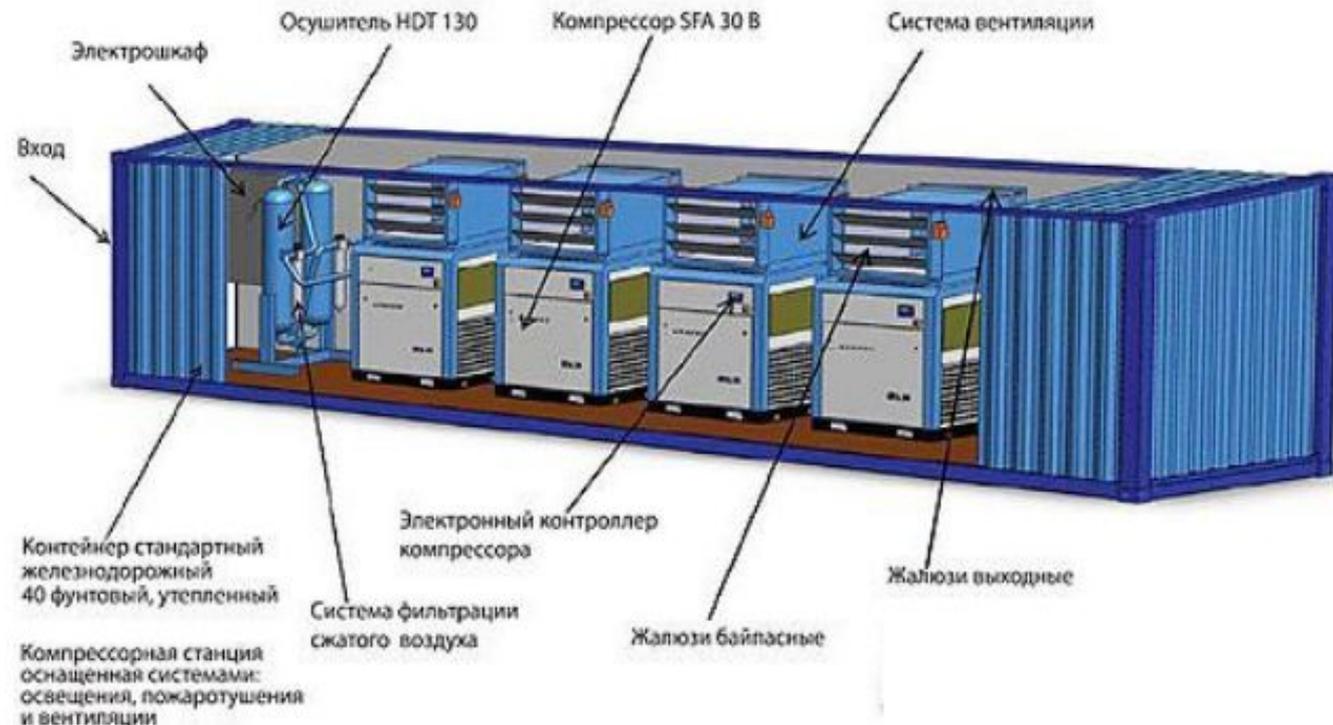
- 6 – обвязка КС (технологические трубопроводы)
- 7 – запорная арматура обвязки КС
- 8 – установка подготовки пускового и топливного газа
- 9 – оборудование ЭХЗ трубопроводов обвязки КС
- 10 – главный щит управления и система телемеханики

# Схема компрессорной станции



1,2 - газопроводы; 3 – сепараторы; 4 – регулятор давления; 5, 6, 8, 9, 10, 20 – линии газопроводов;; 7 – цилиндры компрессоров; 8 – линии ко второй ступени; 11 – маслоотделитель; 12 – холодильник первой ступени; 13, 15 – сепараторы; 14 - сепаратор среднего давления; 16 , 17, 18 – емкости для конденсата; 19 – насосная; 21 – градирня; 22 – масляное хозяйство для компрессоров (емкости и насосы)

# Блочно-модульные компрессорные станции



# Классификация компрессоров

## 1. По типу нагнетателей:

- поршневые газомоторные компрессоры (газомотокомпрессоры);
- ГПА с центробежными нагнетателями;



## 2. По типу привода:

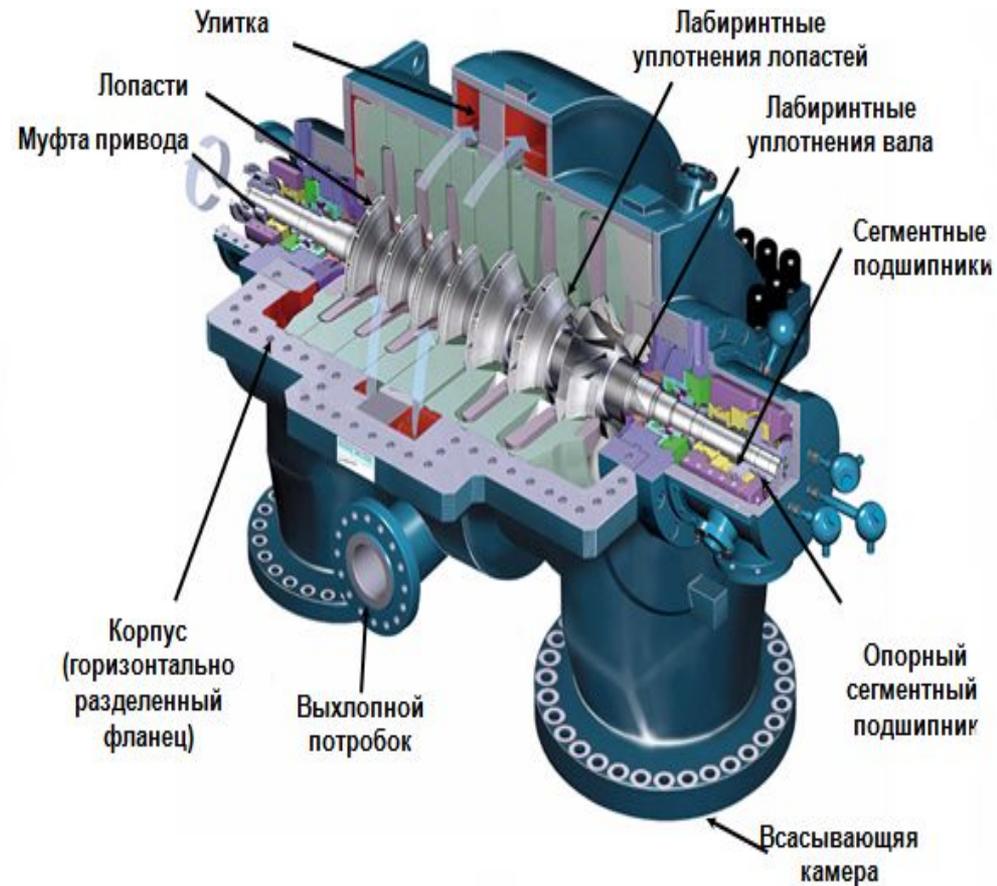
- с газовым двигателем внутреннего сгорания (газомоторные двигатели);
- с электроприводом;
- с газовой турбиной (газотурбинным приводом);

## 3. ГПА с газотурбинным приводом подразделяются на:

- агрегаты со стационарной газотурбинной установкой;
- агрегаты с приводами двигателей авиационного и судового типов.

# Центробежный компрессор

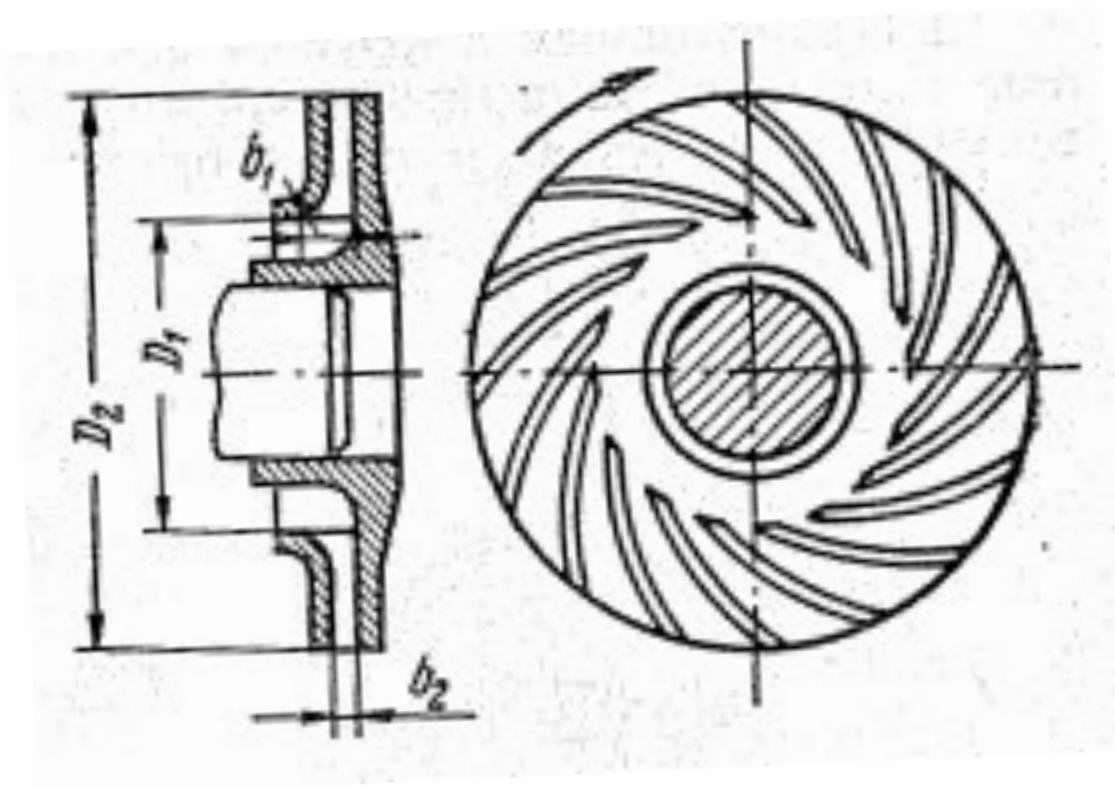
Это компрессор, воздух или газ в котором сжимается за счет преобразования одного вида энергии в другой. Давление воздуха повышается за счет приобретения кинетической энергии от рабочих элементов компрессора, после чего кинетическая энергия преобразуется в энергию потенциальную (энергию сжатия)



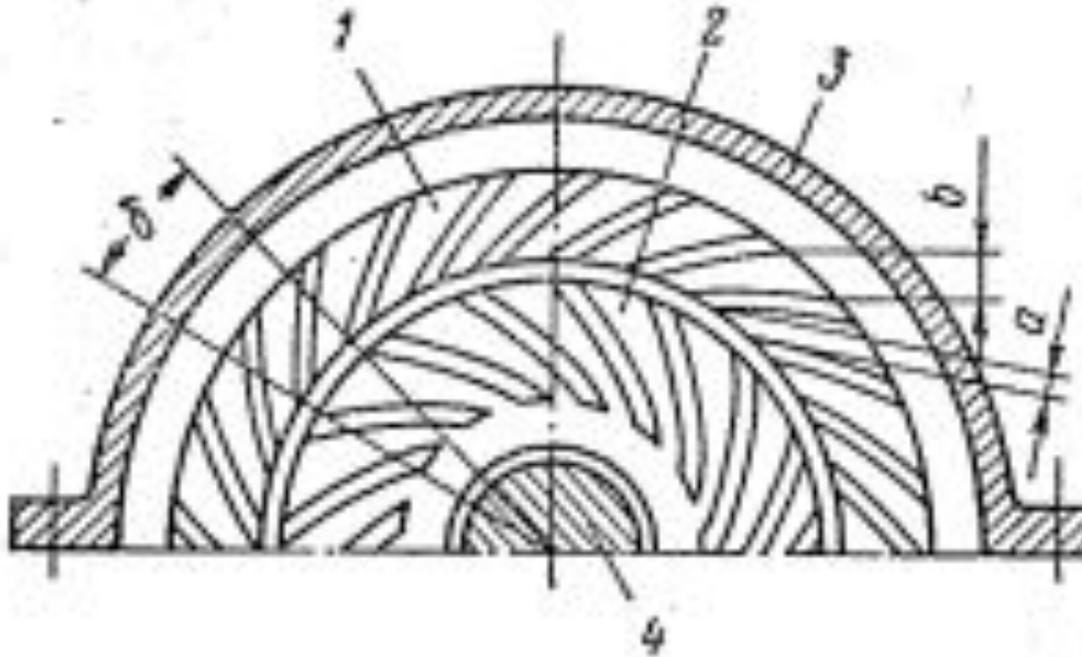
# УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- Основными элементами центробежного компрессора являются: корпус, рабочее колесо, диффузор, обратный направляющий аппарат.

# Рабочее колесо

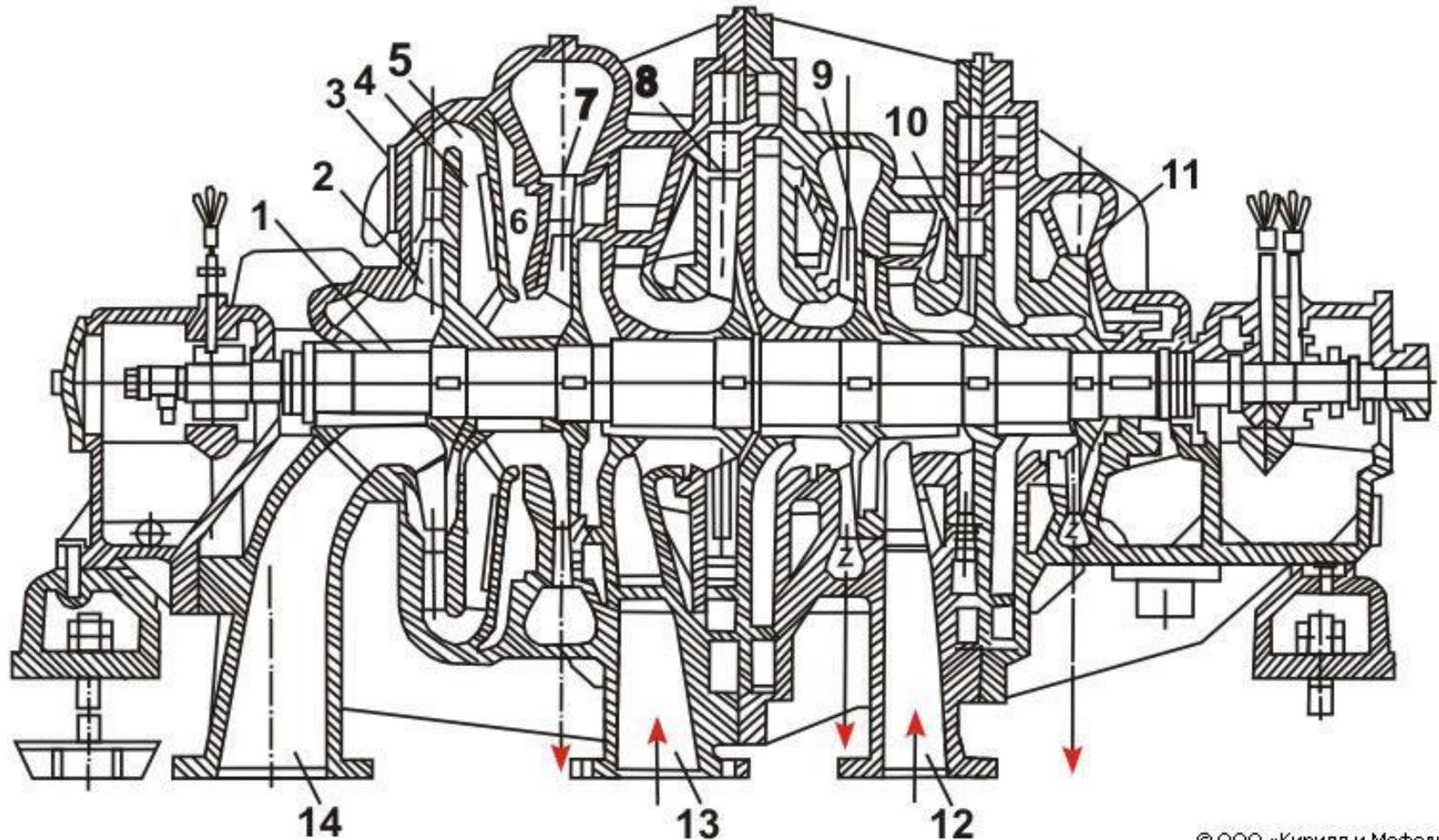


# Диффузор



Диффузор: 1- Диффузор, 2- Рабочее колесо, 3- Корпус, 4- Вал

## Центробежный компрессор



© ООО «Кирилл и Мефодий»

Центробежный компрессор: 1 — вал; 2, 6, 8, 9, 10 и 11 — рабочие колеса; 3 и 7 — кольцевые диффузоры; 4 — обратный направляющий канал; 5 — направляющий аппарат; 12 и 13 — каналы для подвода газа из холодильников; 14 — канал для всасывания газа.

# Характеристики

Давление в зависимости от количества ступеней:

-Центробежные одноступенчатые компрессоры- до 0,4 Мпа

-Четырехступенчатые компрессоры- до 2,0 Мпа

-Многоступенчатые компрессоры- до 10 Мпа

Производительность

-16...30000 м<sup>3</sup>/мин

# Регулирование давления компрессоров

В практике работы компрессоров часто возникает необходимость увеличения или уменьшения количества газа, подаваемого компрессором или группой компрессоров. Обычно несоответствие между подачей газа в сеть и его потреблением выражается в изменении давления нагнетания, которое понижается или повышается. В этом случае конечная цель регулирования компрессорной установки как самостоятельно изолированного агрегата - обеспечение постоянства заданного давления.

Существуют различные способы регулирования давления, как по схеме так и по технологии исполнения. В связи с этим при выборе той или иной схемы необходимо исходить из наиболее экономичной, возможной для данных условий и оборудования

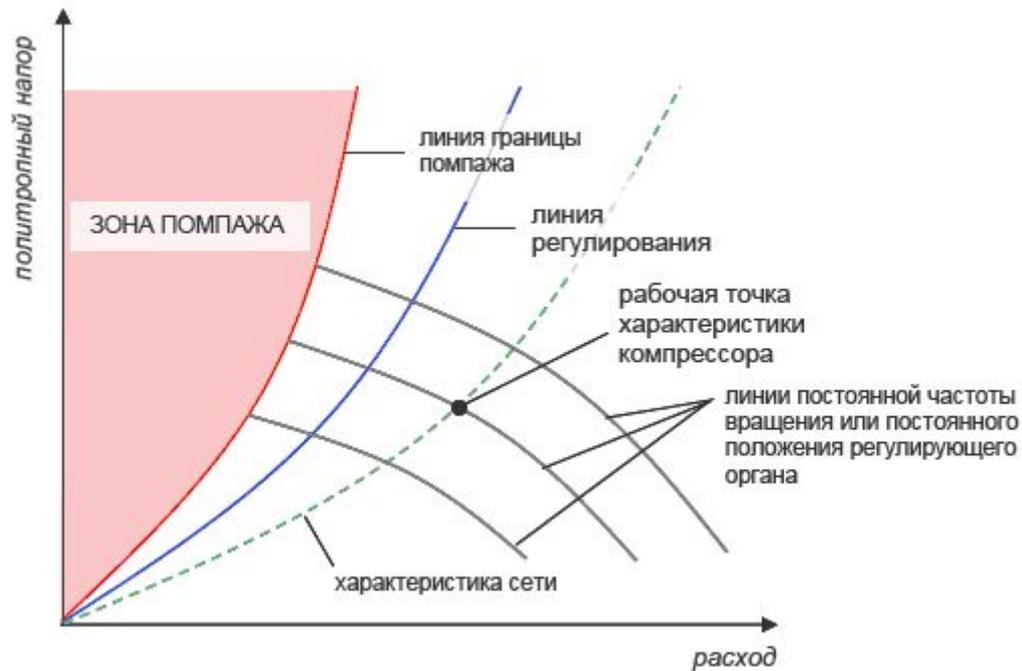
При эксплуатации групповых компрессорных установок регулирование общей производительности обеспечивается пуском или остановкой одного или нескольких компрессоров. Однако при работе одиночных компрессоров такой способ приводит к резким изменениям давления в сети, что может расходиться с условиями поставки газа.

Наилучший способ регулирования - изменение частоты вращения вала компрессора и там, где это возможно, установка двигателей синхронных или внутреннего сгорания.

# Явление помпажа

- При сокращении подачи газа, давление нагнетания становится максимальным. При дальнейшем уменьшении подачи газа, давление, развиваемое компрессором, падает. В этом случае машина прекращает подачу и даже возможно обратное движение газа с линии нагнетания на линию всасывания. Поскольку расход сжатого газа остается, давление на линии нагнетания быстро падает, и компрессор возобновляет подачу. Таким образом, в сети возникают пульсации подачи и давления, период которых зависит от емкости сети, а амплитуда от характеристики машины. Такое явление как помпаж часто встречающаяся в центробежных компрессорах.
- При помпаже вся конструкция испытывает большие динамические нагрузки, которые могут привести к её разрушению

# Явление помпажа



## Характеристика центробежного насоса

## Антипомпажная защита

Для обеспечения нормальной работы компрессора и устранения явления помпажа применяются автоматические регуляторы - антипомпажные устройства, которые поддерживают необходимый расход среды:

- противопомпажные гидравлические регуляторы;
- пневматические регуляторы;
- электронные контроллеры.

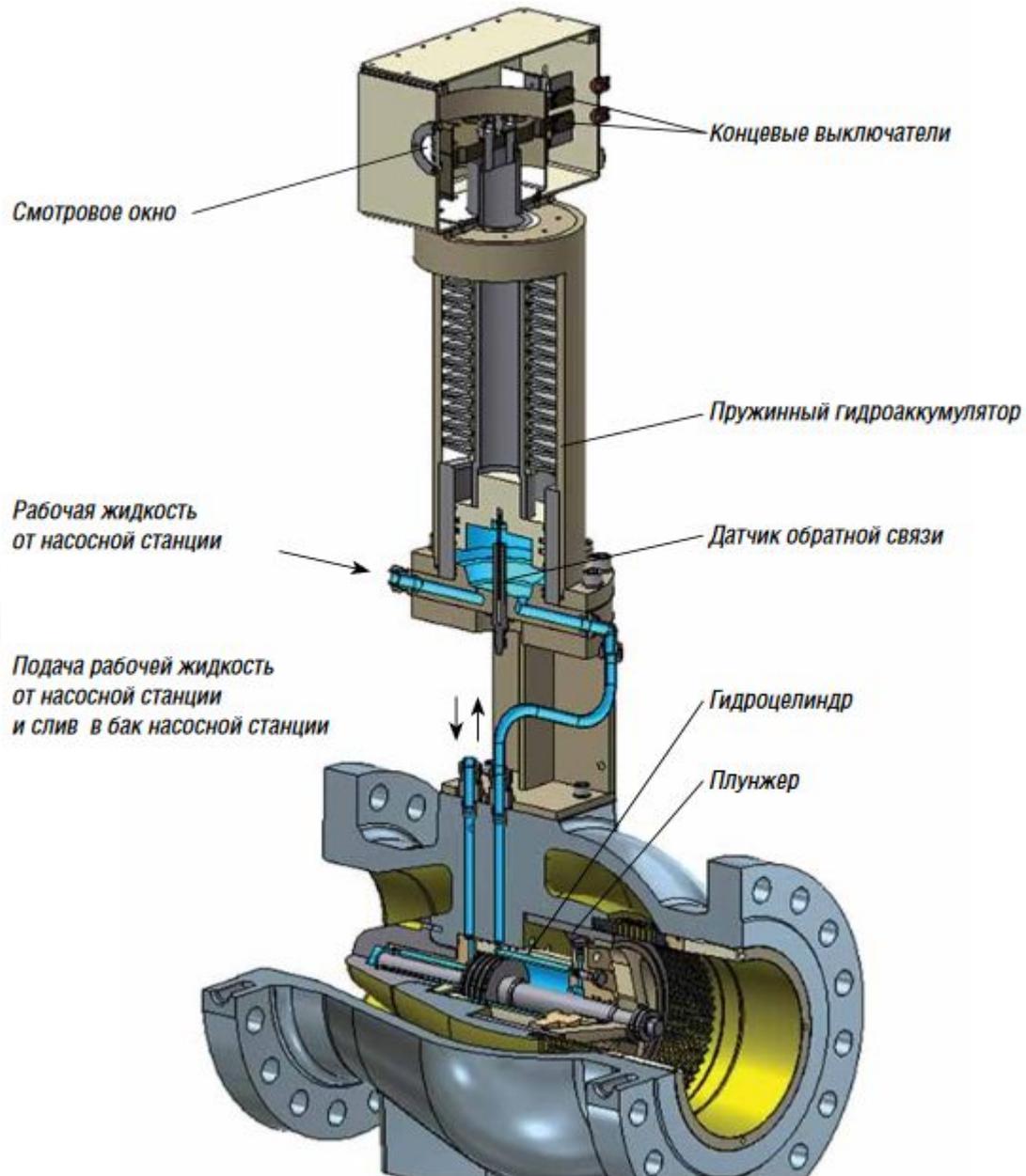
Регулирование работы компрессора с целью избежания явления помпажа может производиться:

- перепускным клапаном;
- сбросным клапаном;
- дросселированием во всасывающем трубопроводе;
- поворотом лопаток направляющего аппарата.

Системы защиты автоматически срабатывают в случаях внезапных значительных изменений характеристик нормального технологического режима. Они защищают компрессорные машины и решают двоякую задачу:

- недопущение работы компрессорной машины в зоне неустойчивой работы (в зоне помпажа);
- предотвращение помпажа;
- обеспечение высокой экономической эффективности работы компрессора.

# Антипомпажный клапан



# Дожимной компрессор

- используется для усиления давления с обычных в промышленности 5-15 бар до необходимых значений (обычно 30-245 бар, максимальные значения для многоступенчатых дожимных машин 4 000 — 4 500 бар).

Преимущества:

- мобильность и компактность;
- пониженный уровень шума;
- высокая производительность на фоне низкого потребления электроэнергии;
- полная автоматизированная система управления;
- простота обслуживания;
- возможность установки в запыленных помещениях и помещениях с большим перепадом температур



# Преимущества компрессоров

Центробежный компрессор	Поршневой компрессор
Компактность	Возможность использования при высоких давлениях
Возможность использования легких фундаментов	Не возникает трудностей с ремонтом
Отсутствие масла в рабочей полости и в сжимаемой среде	Невысокая стоимость
Длительный срок эксплуатации без остановки и отсутствие вибраций	Простое внутреннее устройство

# Недостатки компрессоров

Центробежный компрессор	Поршневой компрессор
Сложность	Громоздкость
Высокая стоимость ремонта	Высокий уровень шума и порог вибрации

# Основные неисправности поршневого компрессора

Причины	Неисправности	Устранение неисправности
<p>1. Утечка воздуха через не плотности соединений</p> <p>2. Износ, поломка или прогорание поршневых колец</p>	<b>Уменьшилась производительность установки</b>	<p>1. Определить место утечки и устранить</p> <p>2. Заменить дефектные поршневые кольца</p>
<p>1. Заедание, износ и поломка поршневых колец вследствие применения некачественного масла и образования нагара</p> <p>2. Износ поршня и цилиндра</p>	<b>Стук в цилиндре</b>	<p>1. Изношенные, поломанные поршневые кольца заменить, некачественное масло – заменить свежим</p> <p>2. Поршень заменить, цилиндр расточить под ремонтный размер</p>
<p>Применение некачественного масла или избыточное количество масла в</p>	<b>Повышенное образование нагара</b>	<p>Очистить детали от нагара, заменить масло, не допускать избыточного количества масла в картере</p>

# Основные неисправности поршневого компрессора

- Продолжение таблицы

Причины	Неисправности	Устранение неисправности
1. Несвоевременная замена загрязненного масла после длительной работы головки  2. Применение масла не соответствующего указанному в паспорте	Повышенный нагрев компрессорной головки	1. Заменить масло, следить за периодичностью замены  2. Заменить масло на предписанное

# Основные неисправности центробежного компрессора

Причины	Неисправности	Устранение неисправности
1. Увеличения зазоров между шейкой вала и вкладышем подшипника 2. Длительная работа 3. Загрязнения смазки.	<b>Вибрация компрессора</b>	1. Устранение зазоров 2. Временная остановка компрессора 3. Смена смазки
Увеличение сопротивления в холодильниках из-за забивки газовой части грязью	<b>Понижение производительности компрессора</b>	Принять меры по устранению грязи
Попадание в масло воды и образование при прохождении ее через масляный насос эмульсии	<b>Чрезмерный нагрев подшипников</b>	Следует заменить масло и устранить дефекты, вызвавшие пропуск воды в масло

**Спасибо за внимание!**