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

@KVIHT

Винтовые компрессоры – курс лекций

Лекция: Рабочие процессы в винтовом компрессоре. Основные положения термодинамического расчета винтового компрессора. Определение основных геометрических и режимных параметров винтового компрессора.

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

www.kviht.ru

Винтовым называется компрессор, повышение давления в котором достигается за счет вращения двух винтов (роторов). По конструкции такие устройства принадлежат к ротационному компрессорному оборудованию. Впервые винтовая модель была запатентована в 1934 г. На сегодня агрегаты данного типа являются наиболее распространенными в своем сегменте. Этому способствует их относительно небольшая масса и компактные габариты, надежность, способность функционировать в автономном режиме, экономичность в плане потребления электроэнергии и затрат на обслуживание. Невысокий уровень вибрации позволяет монтировать такие системы без обустройства специального фундамента, как в случае с поршневыми аналогами. В ряде направлений (судовые рефрижераторы, мобильные компрессорные станции и т. п.) роторные модели практически полностью вытеснили компрессоры других разновидностей. Такие устройства могут подавать воздух, сжатый до 15 атм., и обладать производительностью 1–100 м3/мин.

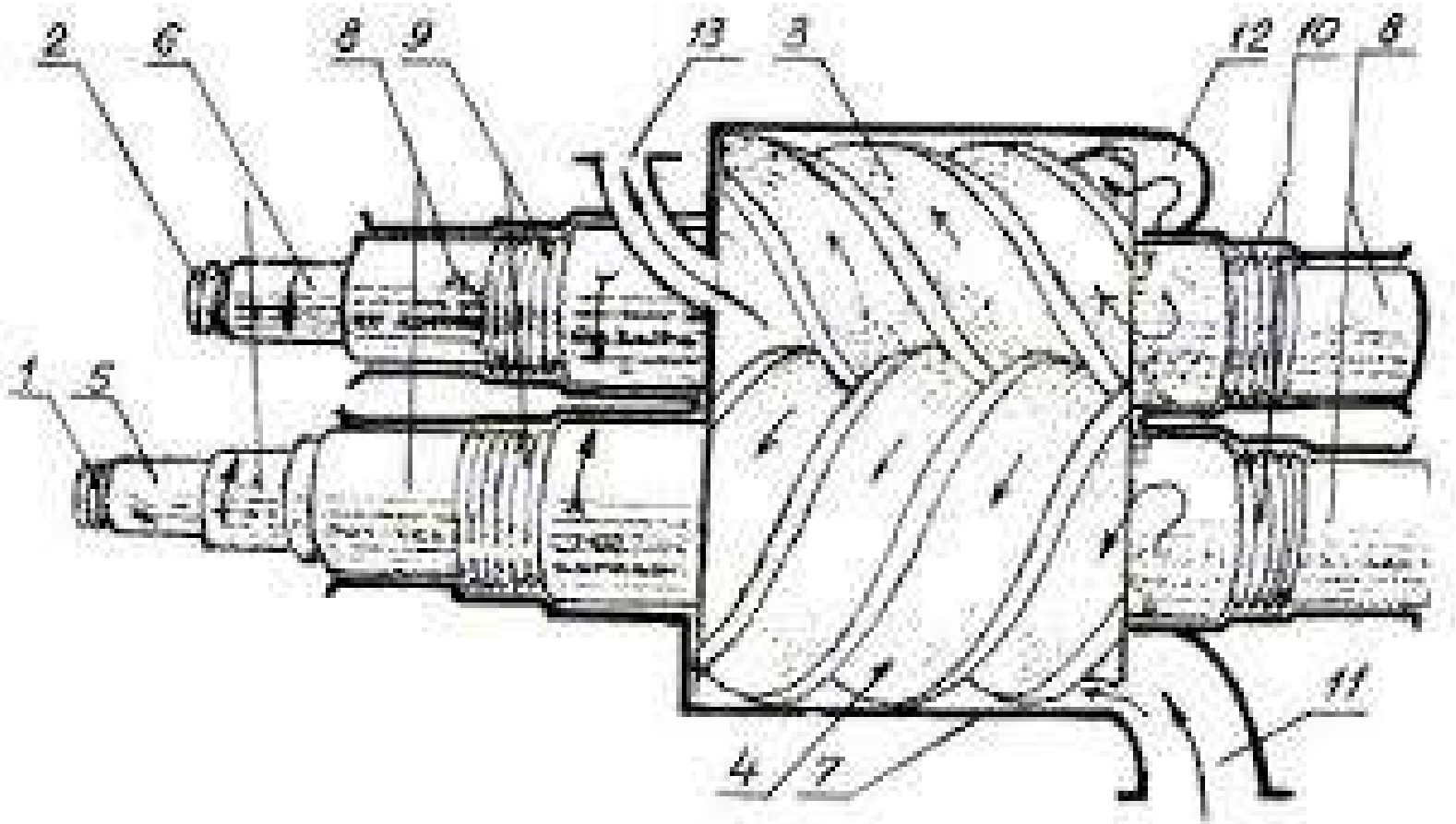


Схема винтов компрессора

Рабочими органами винтового компрессора являются роторы с нарезанными на них винтовыми зубьями, количество роторов от одного до трех. Наибольшее распространение получили двухроторные машины. Роторы вращаются в корпусе, выполняющем роль цилиндра.

Роторы современных винтовых компрессоров представляют собой косозубые шестерни с малым числом зубьев специального профиля. Каждая пара зубьев образует винтовой канал, заполняемый газом. Ротор, называемый ведущим, имеет выпуклые, широкие зубья и чаще всего соединен с двигателем. Ведомый ротор имеет зубья вогнутые и тонкие.

Расточки корпуса под роторы пересекаются между собой, образуя в поперечном сечении фигуру в виде восьмерки. По диагонали эти полости соединены с камерами всасывания и нагнетания через специальные всасывающие и нагнетательные полости (окна).

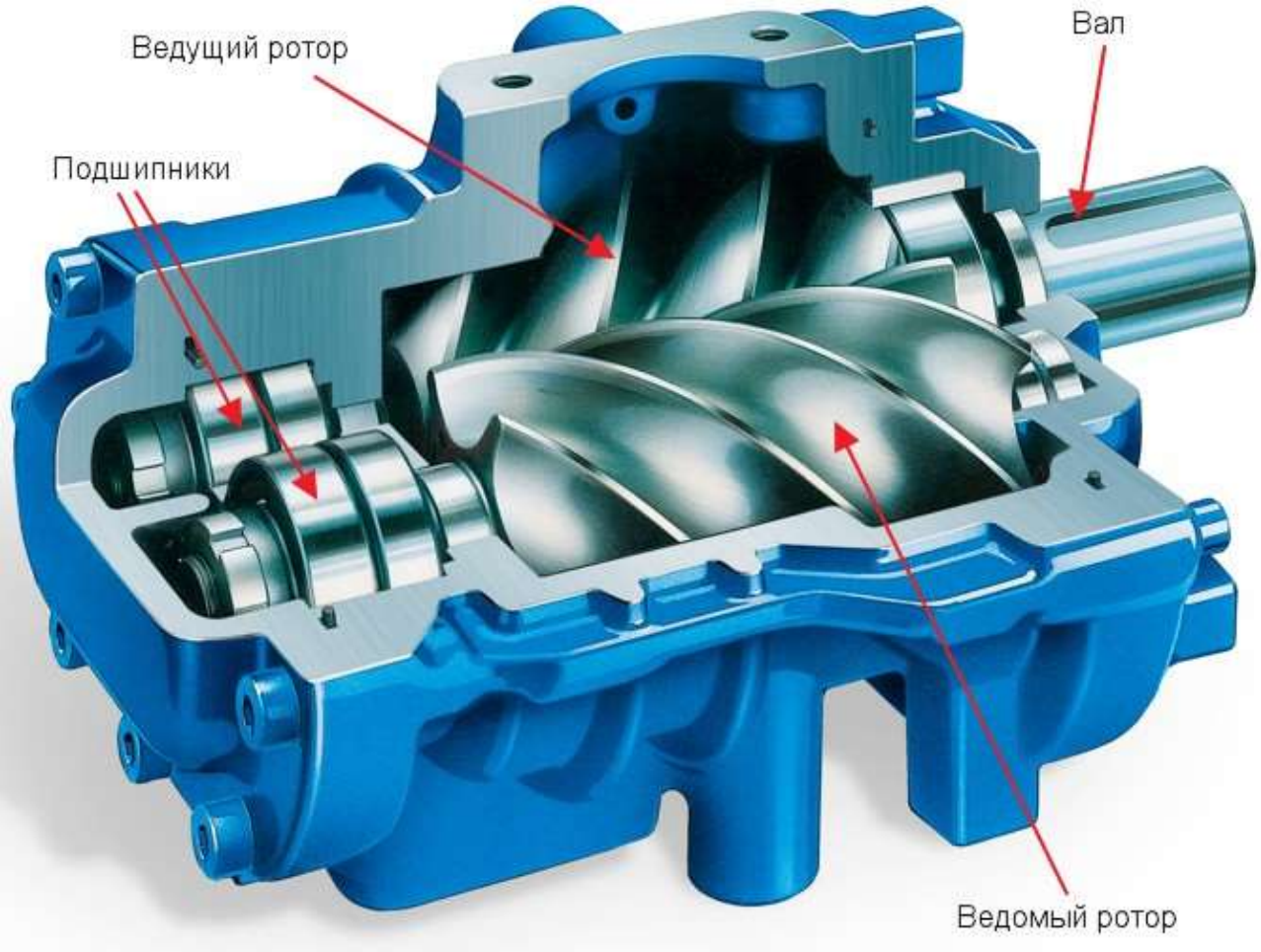
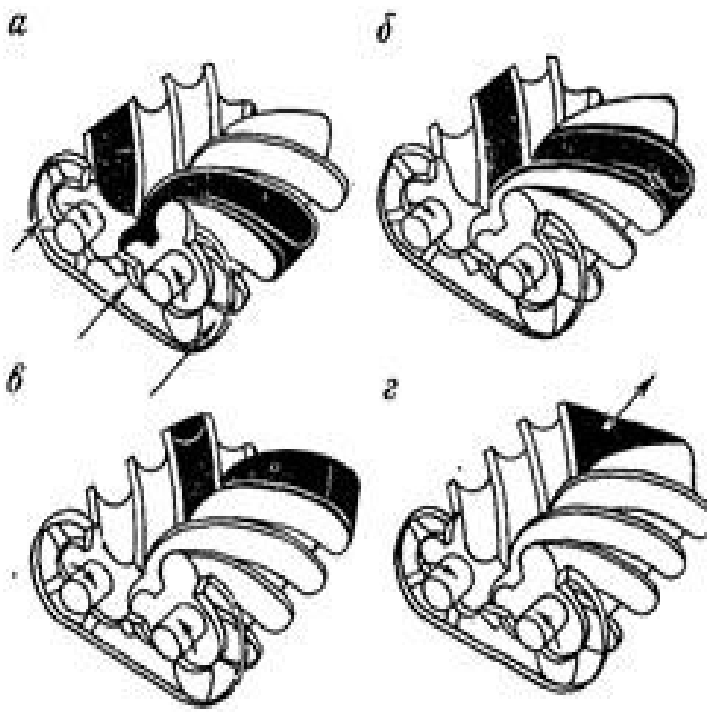
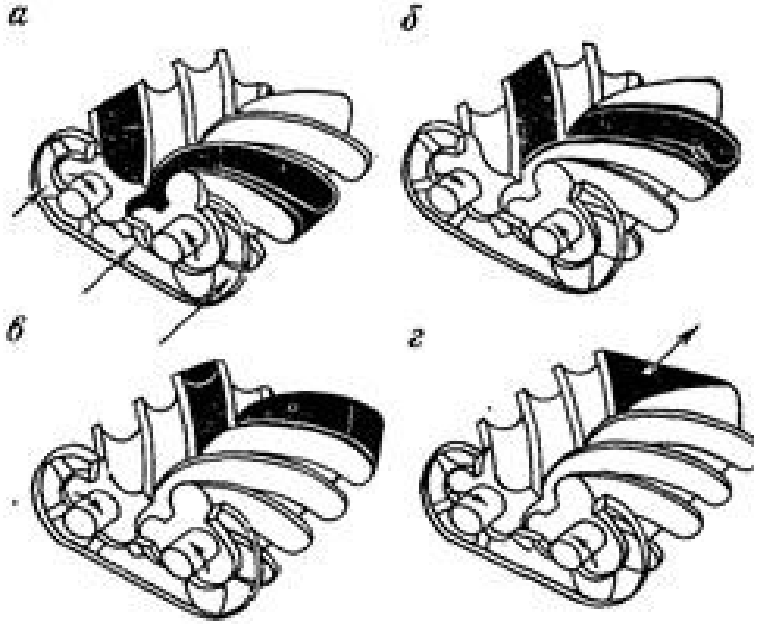


Схема винтового компрессора



При вращении винтов на стороне выхода зубьев из зацепления постепенно, начиная от торца всасывания, освобождаются впадины между зубьями. Эти полости благодаря создаваемому в них разрежению заполняются газом, поступающим из камеры всасывания. С поворотом роторов заполненное пространство увеличивается до тех пор, пока с торцевой стороны, где расположена камера нагнетания, зубья не выйдут из зацепления полностью. На этом этап всасывания заканчивается.

При дальнейшем повороте роторов полость между зубьями перейдет через кромку всасывающего окна, ее соединение с этим окном прекращается, газ оказывается в изолированной полости и без изменения замкнутого объема парной полости переместится на некоторый угол (перенос) и затем начнется сжатие.



С торцевой стороны всасывающего окна в пространство между зубьями начинает проникать зуб ротора. С поворотом роторов линия зацепления зубьев перемещается к торцевой стороне нагнетательного окна. Уменьшение объема парной полости приведет к росту давления, которое будет продолжаться до тех пор, пока полость сжатия не соединится с окном нагнетания. В этот момент процесс внутреннего сжатия заканчивается.

При сообщении полости сжатия с нагнетательным окном дальнейшее вращение приводит к выталкиванию сжатого газа в нагнетательный патрубок. Повышение давления газа в винтовом компрессоре зависит от размеров окна нагнетания: с уменьшением его внутреннее сжатие будет увеличиваться.

Винтовые компрессоры делятся на две группы: машины сухого и мокрого сжатия (маслозаполненные). Винтовые компрессоры сухого сжатия подают сухой газ, не содержащий масла. Винты вращаются в корпусе без контактов, отсутствует и взаимный контакт роторов, что обеспечивается парой зубчатых колес, синхронизирующих вращение роторов и устанавливающих между ними требуемый зазор. Охлаждение таких машин осуществляется через водяные полости в отливке корпуса. Значительное развитие и расширение области применения винтовых компрессоров связано с появлением маслозаполненного компрессора.

РАЗНОВИДНОСТИ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРОВ

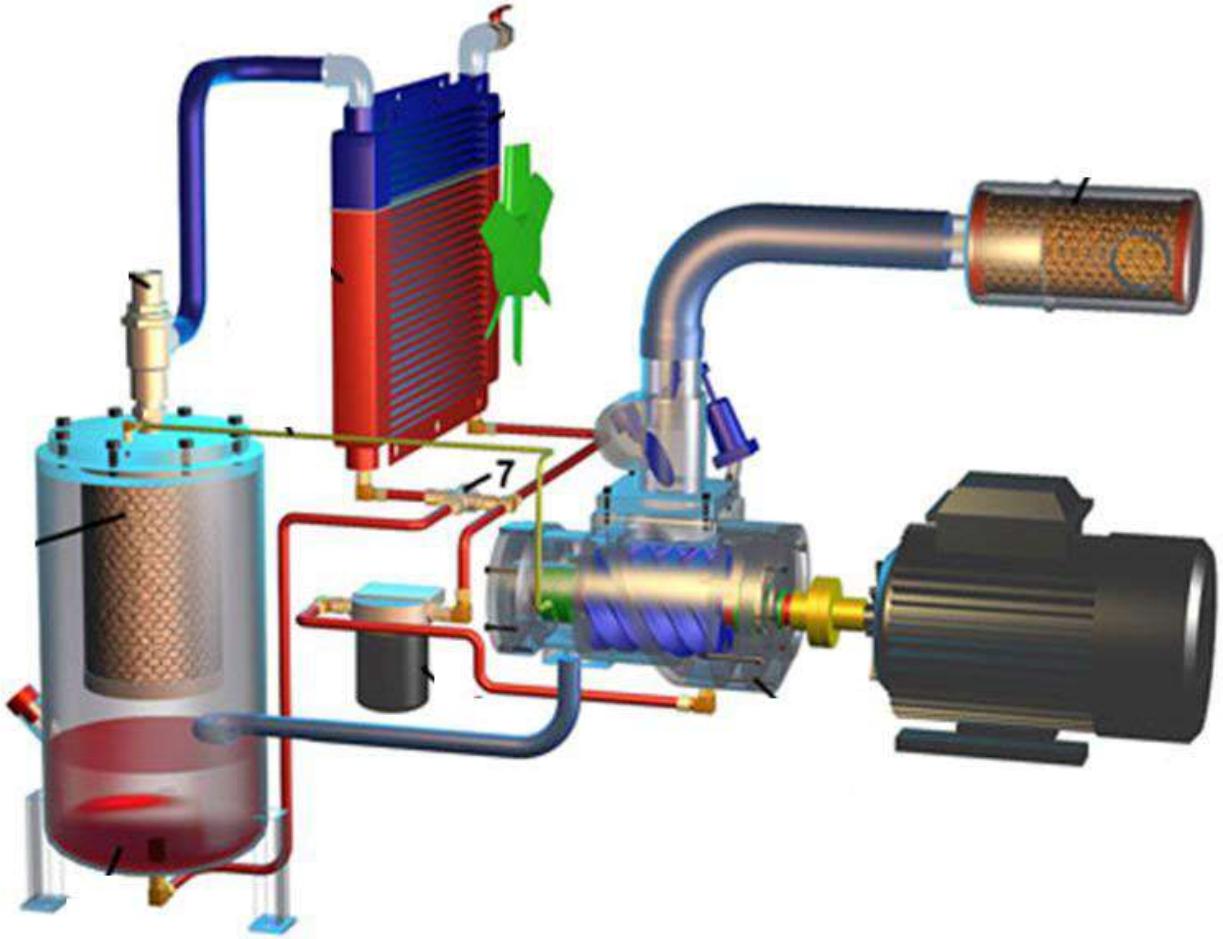
Маслозаполненные. Один ротор в них является ведущим, второй – ведомым. Физический контакт между данными элементами предотвращается посредством впрыскиваемого масла (на 1 кВт мощности устройства подается 1 л/мин). Шумность работы подобного оборудования находится на уровне шума от бытовой техники – 60–80 Дб (при условии использования звукопоглощающих кожухов). Мощность двигателей может варьироваться в пределах 3–355 кВт, а объемные расходы – 0,4-54 м3/мин. Такое оборудование можно устанавливать непосредственно в рабочих цехах.

@KVIHT

WWW.KVIHT.RU

+7 (812) 715-41-64

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

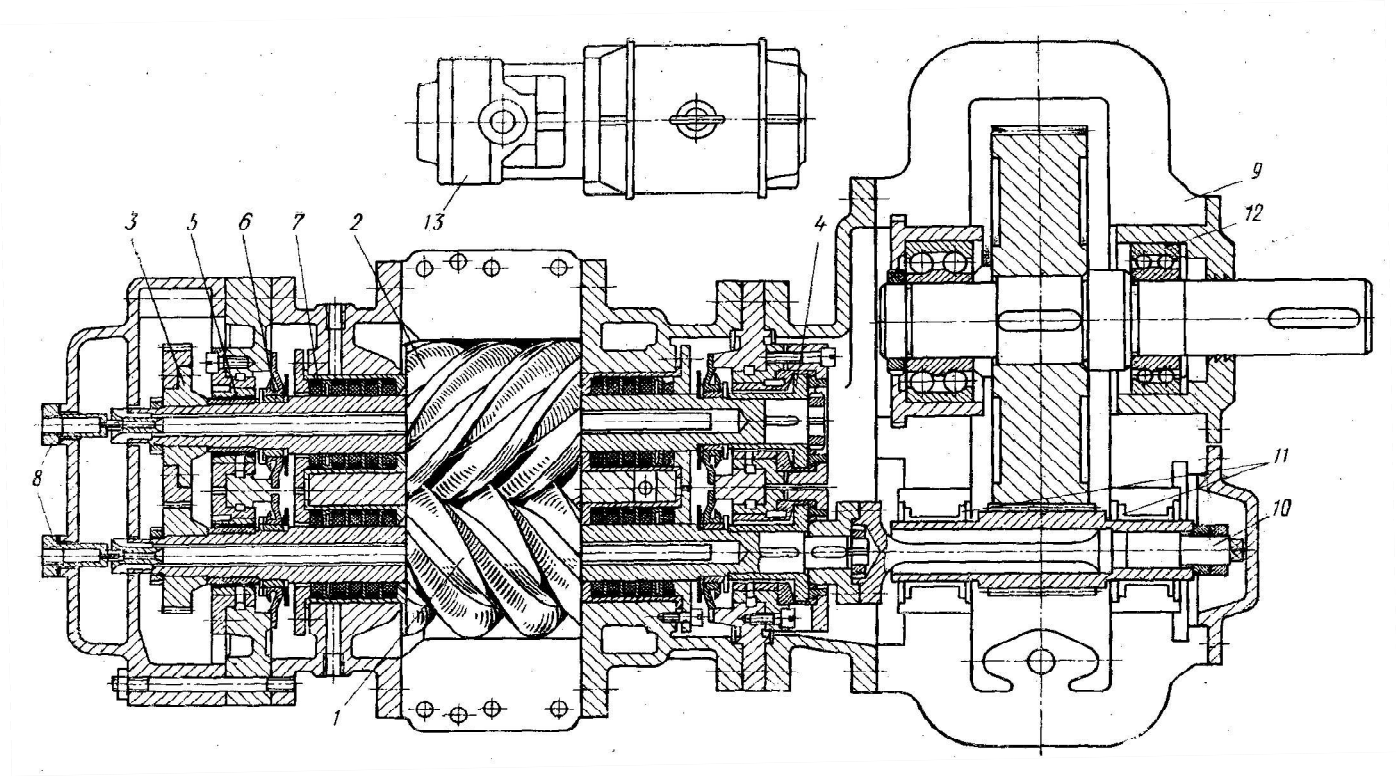


Безмасляные. Делятся на два подвида:

Компрессоры винтовые сухого сжатия. Оснащены синхронными электромоторами, которые приводят в движение оба винта, исключая контакт между ними. Они менее производительны по сравнению с моделями маслозаполненного типа. Из-за отсутствия масла нет и отвода тепла. Поэтому уровень сжатия достигает лишь 3,5 бар в одной ступени. Данный показатель можно поднять до 10 бар, если использовать вторую ступень и промежуточный рефрижератор. Но это, как и применение двух электромоторов вместо одного, увеличивает стоимость устройства.

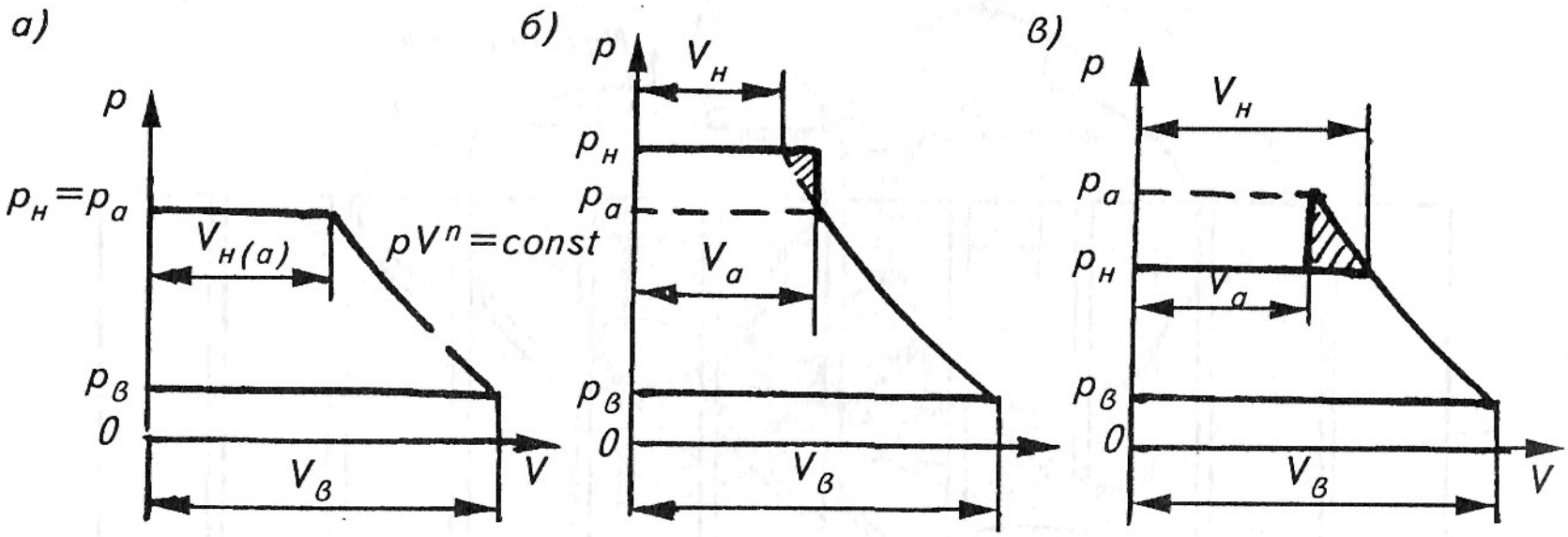
Водозаполненные компрессоры. Самая технологичная модель, сочетающая все достоинства безмасляных и маслозаполненных вариантов. Водозаполненные агрегаты отличаются оптимальной производительностью и позволяют достигать сжатия 13 бар в одной ступени. Важным преимуществом подобных моделей является их экологичность, ведь традиционное компрессорное масло заменено на чистую, натуральную и не такую дорогостоящую воду. При этом обеспечивается внутреннее охлаждение. Вода обладает высокой удельной теплопроводностью и теплоемкостью. Вне зависимости от уровня конечного сжатия температура в ходе данного процесса повышается максимум на 12 °C. Этому способствует в том числе применение дозированного впрыска. Тепловая нагрузка на элементы устройства минимальна, следовательно, возрастает срок службы, надежность и безопасность агрегата в целом. Сжатый воздух не нуждается в дополнительном охлаждении.

Циркулирующая в системе вода охлаждается до температуры окружающей среды. А влага, имеющаяся в сжатых воздушных массах, конденсируется и вновь возвращается в контур. В маслозаполненных моделях именно конденсат был загрязняющим веществом. Здесь же он используется в циркуляционном контуре за несколько часов (при нормальных условиях и непрерывной эксплуатации устройства). Следовательно, накопление отходов на станции практически нивелируется. Еще одно значимое достоинство водозаполненных компрессоров – возможность снизить на 20 % энергозатраты. Процесс сжатия в подобных устройствах приближается к идеальному изотермическому. Изготовление устройства обходится дешевле за счет отсутствия масляных фильтров, емкостей для отработанной масляной жидкости. Не приходится нести издержки и на переработку конденсата.



1 – ведущий ротор; 2 – ведомый ротор; 3 – синхронизирующие шестерни; 4 – упорный подшипник; 5 – радиальный подшипник; 6 – масляное уплотнение; 7 – графитовое уплотнение; 8 – вход охлаждающего масла в ротор; 9 – редуктор; 10 – торсионный вал; 11 – подшипник скольжения шестерни; 12 – подшипник качения зубчатого колеса; 13 – масляный насос с двигателем

Теоретический цикл работы винтового компрессора состоит из изобарных процессов всасывания и нагнетания и изоэнтропного процесса сжатия (пренебрегая тепломассообменом между рабочим веществом и внешней средой). В отличие от поршневого в винтовом компрессоре отсутствует определенное, конструктивно оформленное мертвое пространство, поэтому процесс всасывания на диаграммах условно изображается, начиная от оси ординат, а процесс нагнетания на той же оси и заканчивается.



Из-за отсутствия самодействующих клапанов на нагнетании давление внутреннего сжатия p_a может не совпадать с давлением $p_н$, что находит отражение в характере течения процессов нагнетания. Если $p_a<p_н$, то дожатие газа происходит в момент соединения парной полости с камерой нагнетания. Это случай так называемого внегеометрического сжатия. Если $p_a > p_н$, то в момент соединения полости с камерой газ расширится, а работа, затраченная на его «пережатие», превращается в теплоту. Это самый невыгодный режим работы компрессора. Заштрихованные участки диаграмм соответствуют потерям энергии.

Теоретическая объемная подача винтового компрессора определяется конструктивными и кинематическими параметрами компрессора:

$$Q_{\text{т}} = K_{\text{п}} W_{\text{о}} z_i n_i,$$

где K_n — коэффициент использования объема парной полости ($K_n = W_n / W_0$); W_0 - полный объем парной полости, определяемый по формуле:

$$W_{\text{о}} = l_{\text{в}} (f_{1\text{п}} + f_{2\text{п}});$$

$l_в$ — длина винта; $f_{1п}$, $f_{2п}$ — площади впадин между зубьями в торцевой полости соответственно ВЩ и ВМ винтов; W_n — объем парной полости в момент начала сжатия газа в ней, т. е. в момент начала уменьшения ее объема; n_i — частота вращения винта (i = 1,2); z_i — число зубьев винта (известно, что $z_1 n_1 = z_2 n_2$).

Формула для $Q_т$ может быть представлена так:

$$Q_т = (K_п W_о z_1 u_1) / (\pi D_1),$$

где u_1 - окружная скорость на внешней окружности ведущего винта;
D_1 – диаметр внешней окружности того же винта.
Действительная подача винтового компрессора

$$Q_д = \lambda Q_т,$$

Экспериментально найденное значение коэффициента подачи учитывает влияние различных факторов на подачу. Основными из них являются:

· утечки рабочего вещества через щели в полости всасывания;
· гидравлические сопротивления тракта всасывания;
· подогрев рабочего вещества на всасывании;
· термодинамические свойства рабочего вещества;
· центробежные силы, действующие на рабочее вещество.

В винтовом компрессоре различают геометрическую степень сжатия $\varepsilon_г$, а также внутреннюю π_a и внешнюю $\pi_н$ степени повышения давления.

Внешняя степень повышения давления в ступени компрессора равна отношению давления в камере нагнетания $p_н$ к давлению в камере всасывания $p_в$, т. е. $\pi_н = p_н/p_в$. При неизменных внешних условиях и установившемся режиме работы машины внешняя степень повышения давления не меняется при изменении частоты вращения роторов.

Внутренняя степень повышения давления равна отношению давления в парной полости в момент соединения ее с окном нагнетания к давлению всасывания $p_в$, т. е. $\pi_a = p_a/p_в$

Предполагая процесс сжатия в первом приближении политропным, происходящим при постоянном количестве рабочего вещества, отношение давлений можно выразить через соотношение соответствующих объемов:

$$\pi_а = p_а / p_в \approx [W_п / (W_0 - W_з)]^п,$$

где $W_з$ — заполненный объем парной области зубьев винтов от начала их геометрического внедрения в полости до начала соединения полости с окном нагнетания. Разность объемов W_0 - $W_з$ составляет объем полости в момент соединения ее с окном нагнетания.

Геометрической степенью сжатия называется отношение объемов. Эта степень определяется выражением:

$$\varepsilon_г = W_n /(W_0 - W_з).$$

Это отношение является функцией только геометрических параметров винтов: окон всасывания и нагнетания, т. е. величин, заложенных в конструкцию компрессора. Степень сжатия отечественных ВМК лежит в пределах 2,6…5,0.
Для винтового компрессора сухого сжатия индикаторная мощность

$$P_{и} = K_{р} Q_{т} \left(p_{в} \frac{\varepsilon_{г}^{n-1} - n}{n-1} + p'_{н} \varepsilon_{г}^{-1} \right),$$

где K_p - коэффициент, учитывающий влияние отклонения политропы действительного процесса сжатия от условной политропы, а также влияние объемных потерь; $p'_н$ — давление в парной полости ($p'_н = p_н + \Delta p_н$), где $\Delta p_н$ - потери в нагнетательном тракте). Эффективная мощность, подводимая к компрессору,

$$P_e = P_{и} + P_{тр}.$$

Мощность P_{TP} зависит от механического трения и других видов сопротивлений, вызывающих потери. Потери на трения учитываются с помощью механического КПД

$$\eta_{м} = \frac{P_{и}}{P_{e}} = \frac{P_{и}}{P_{и} + P_{тр}}.$$

Энергетическое совершенство компрессора характеризуется эффективным КПД, равным отношению адиабатной мощности P_a (принимаемой за «эталонную») к мощности P_e, подведенной к компрессору:

$$\eta_{e} = P_{а} / P_{e}.$$

Индикаторный КПД компрессора

$$\eta_{и} = P_{а} / P_{и}.$$

$$\eta_{e} = \frac{P_{а} P_{и}}{P_{e} P_{и}} = \eta_{и} \eta_{м}.$$

@KVIHT

WWW.KVIHT.RU

+7 (812) 715-41-64

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

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ