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

@KVIHT

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

Лекция

Конструкция винтовых компрессорных машин, их характеристика и область применения

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

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.

Винтовой компрессор состоит из небольшого числа основных деталей, к которым относятся: корпус компрессора, роторы, опорные и упорные подшипники, уплотнения.

Схема винтового 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).

По сравнению с центробежными и поршневыми моделями, винтовые компрессоры имеют следующие базовые преимущества.

-Крайне низкий (порядка 2–3 мг/м^3) расход масла, что в разы меньше, чем у крупных поршневых моделей с лубрикаторной смазкой. Следовательно, воздух, подаваемый посредством винтовых агрегатов, будет намного качественнее и чище. Его можно применять для питания чистки.

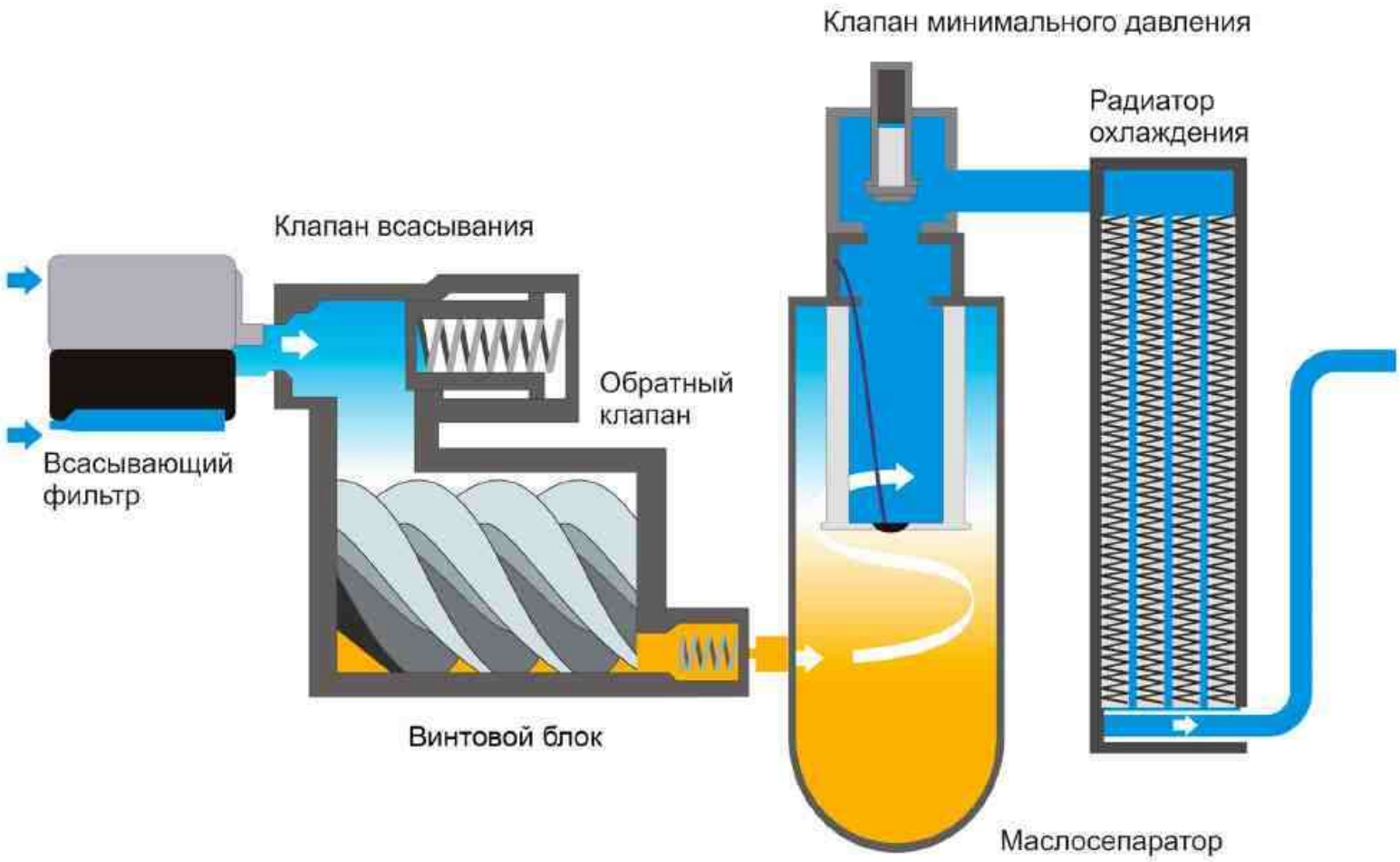
-Пониженный уровень вибрации и шума (у некоторых моделей – соразмерный с шумностью бытовой техники). С учетом небольшого веса и габаритов это позволяет устанавливать описываемые устройства без специального фундамента непосредственно на производствах, где потребляется сжатый воздух, а также оснащать ими разноплановые мобильные комплексы.

-Наличие воздушного охлаждения. Во-первых, это устраняет необходимость устанавливать системы оборотного водоснабжения. Во-вторых, появляется возможность вторично использовать тепло, которое выделяется в результате функционирования компрессора, к примеру, для обогрева помещений.

-Надежность работы, безопасность и простота эксплуатации, способность длительное время функционировать без обслуживания. Это становится возможным благодаря наличию автоматических систем, посредством которых осуществляется управление и контроль над работой агрегата.

@KVIHT

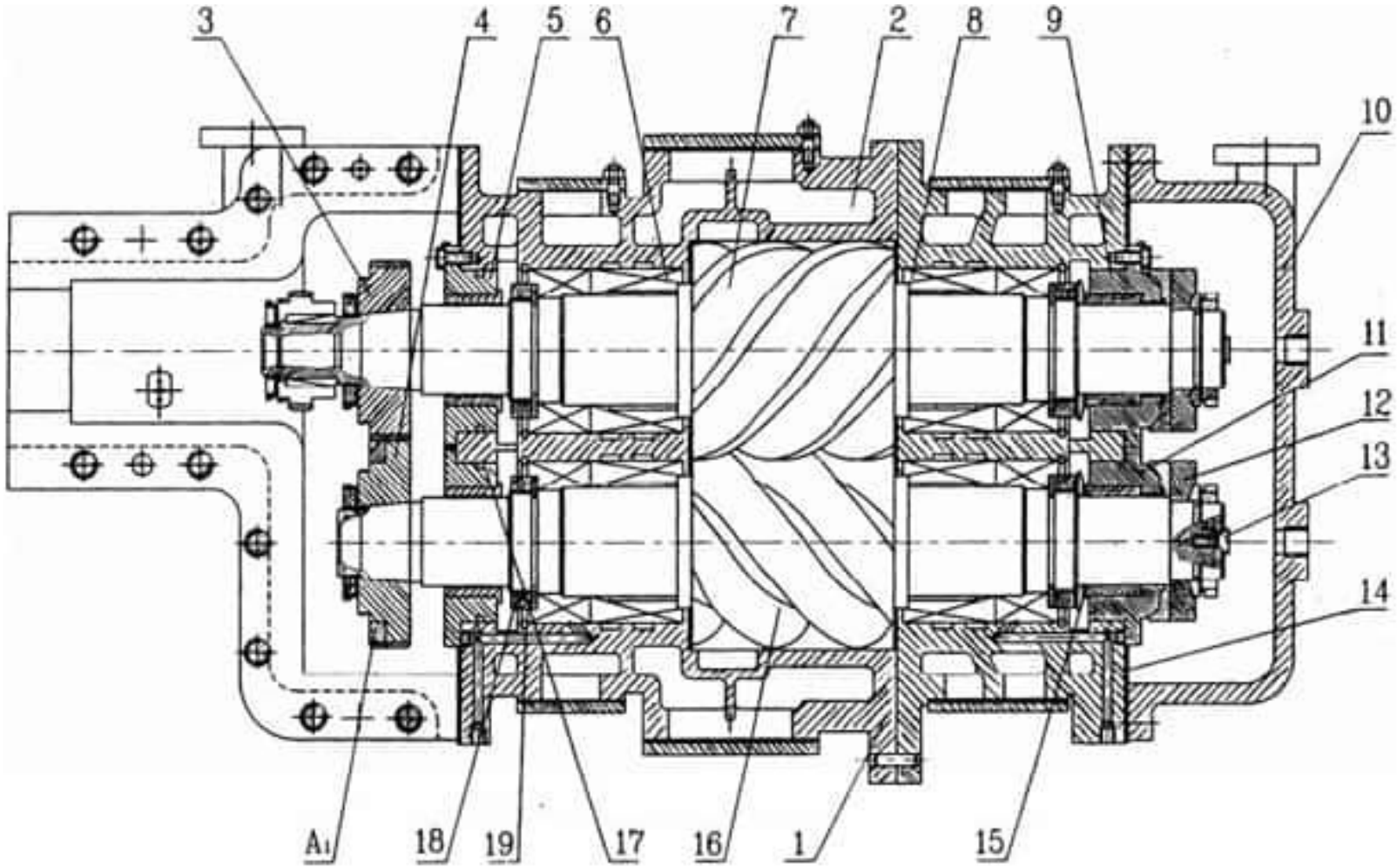
Больше информации о компрессорной технике на сайте научно-инжиниринговой группы
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»
www.kviht.ru тел. +7(812) 715-41-64



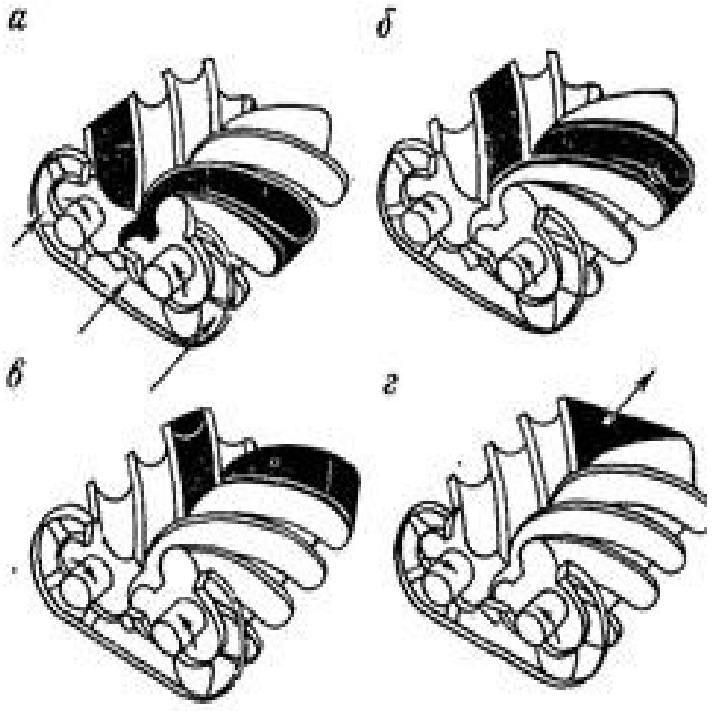
Устройство масляного винтового компрессора

@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

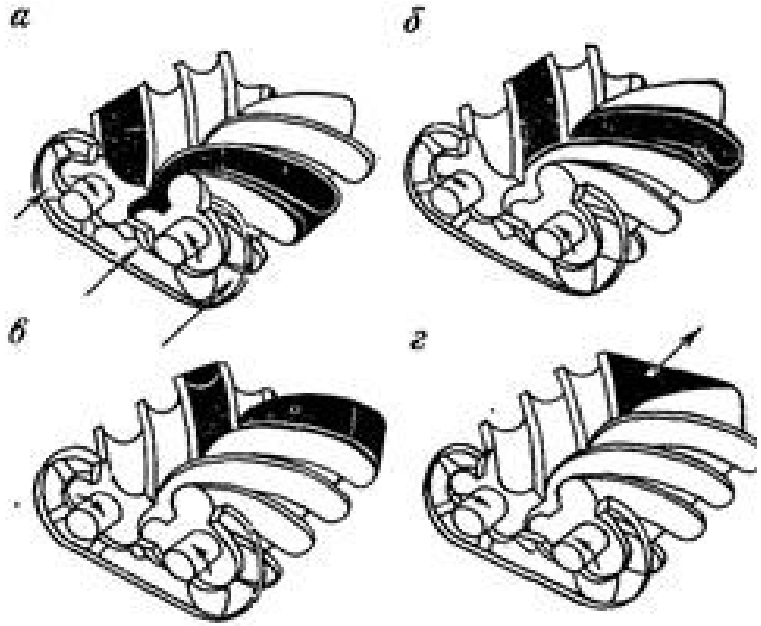


Ведущий ротор 7 и ведомый 16 расположены в корпусе 1, который имеет водяную рубашку охлаждения 2. Роторы компрессора вращаются в опорных 5, 17 и опорно- упорных 9, 11 подшипниках скольжения и имеют шестерни связи 3, 4, благодаря которым исключается взаимное касание роторов во время работы. Для предотвращения внешних утечек применяются концевые уплотнения 6 и 8. Роторы компрессора являются его основными рабочими органами, в винтовой части которых осуществляется сжатие газа. Ведущий ротор имеет выпуклые зубья, а ведомый – вогнутые. Привод компрессора осуществляется как правило через ведущий ротор. На торцах винтовой части роторов, а также на наружном диаметре предусмотрены уплотнительные усики, профрезерованные узкие канавки. Роторы компрессоров сухого сжатия обычно выполняются полыми, в них подается охлаждающее масло.



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.

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

Профили зубьев винтового компрессора должны удовлетворять двум осоновным условиям. Во-первых , как элементы зубчатого зацепления должны отвечать требованию основной теоремы зацепления. Во-вторых выполняя роль вращающихся поршней компрессора, сопряженные профили должны обеспечить неразрывную линию контакта, разделяющие полости сжатия и нагнетания от полости всасывания.

Для оценки сопряженных профилей служат энергетические и весо-габаритные показатели.

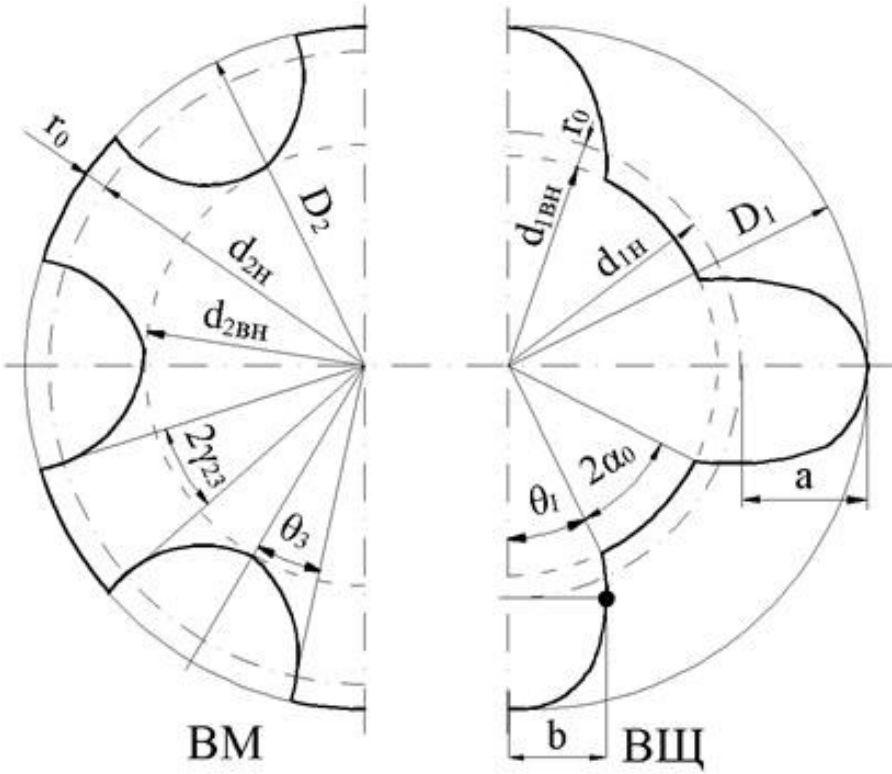
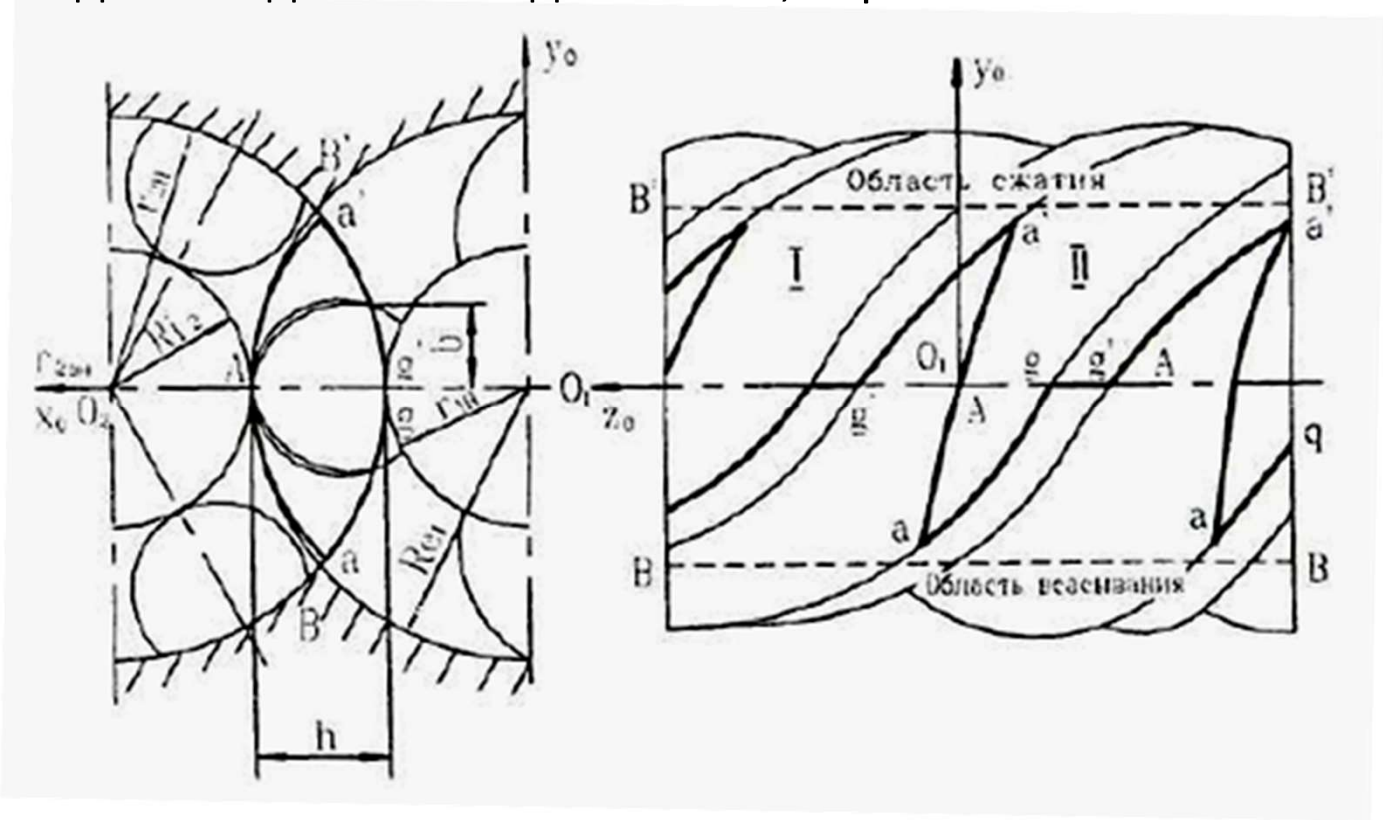


Схема винтов компрессора

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
@KVIHT

Треугольная щель образуется между гребнем расточки корпуса В’-В’ и верхней точкой линии контакта а’ и соединяет соседние полости сжатия I и II. Выше гребня В’-В’ эти полости изолированы друг от друга расточкой корпуса, ниже точки - линиями контакта винтов. Через треугольную щель газ из полости II, в которой он находится под большим давлением, перетекает в полость I.



Типы профилей зубьев винтовых компрессоров

Учитывая зависимость от типов аналитических кривых профили зубьев получили название: окружные или круговые; циклоидные, эллиптические и другие.

Общее очертание зуба по отношению к радиальной прямой должна быть симметричным или несимметричным (ассиметричным).

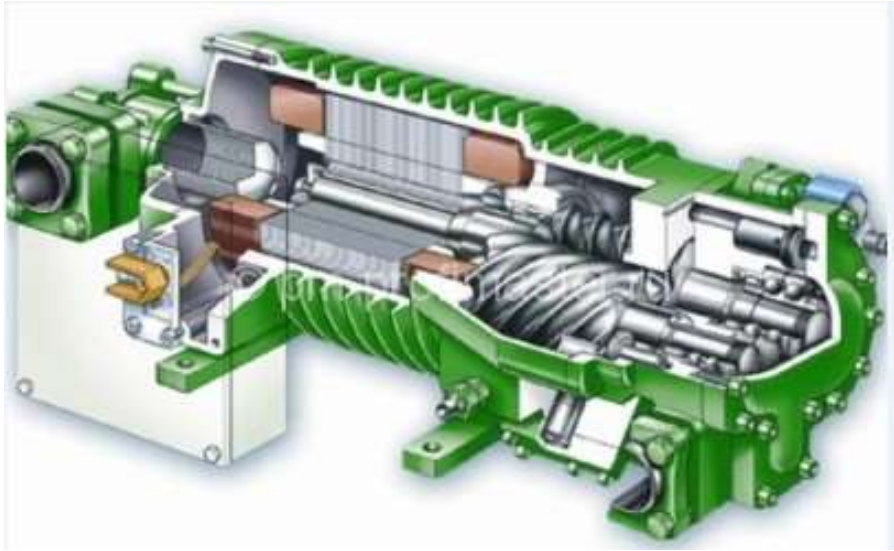
Основные свойства зацепления винтов определяется типом кривых, используемых для очертания головок зубьев.

1. Компрессоры с винтами, составляющие симметричный окружной профиль, имеют короткую длину линии контакта зубьев, но и наименьшее сопротивление протечкам газа; наименьший объём парной полости; зубья при наличие смазки могут передавать значительный крутящий момент.
2. Компрессоры с асимметричным профилем имеют наибольшую длину линии контакта зубьев; наибольшее сопротивление протечкам; не могут передавать большой крутящий момент даже при наличие смазки.
3. Компрессоры с эллиптическим симметричным профилем занимают промежуточное положение между рассмотренными профилями, как по геометрическим показателям, так и по энергетическим.

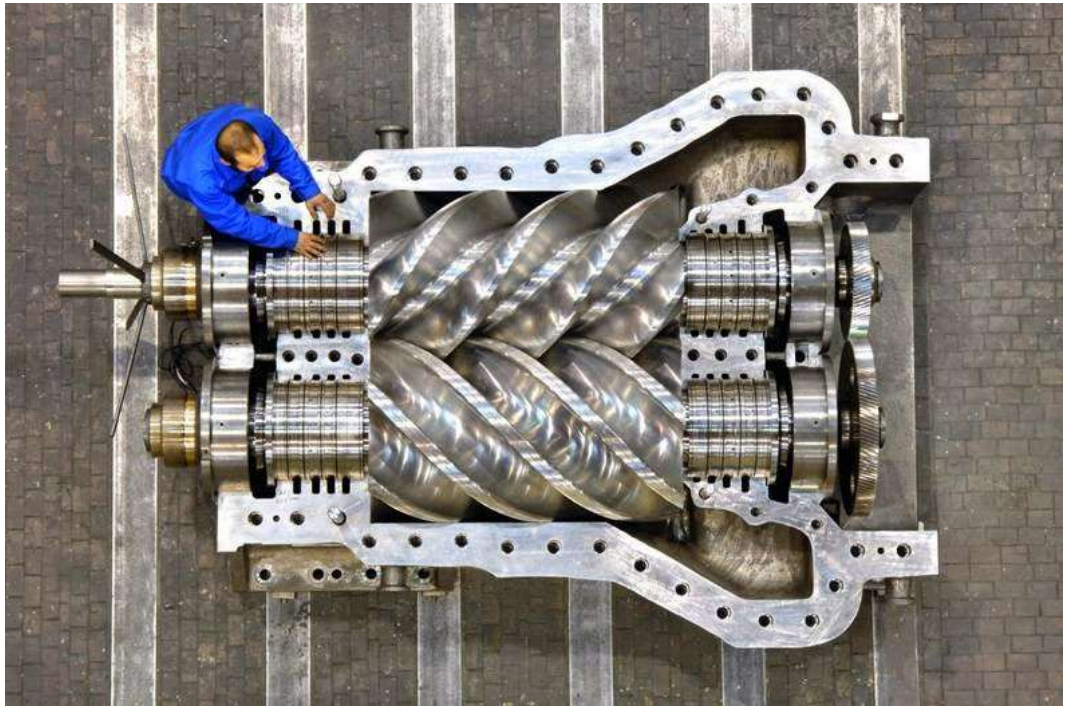
Винтовые компрессоры делятся на две группы: машины сухого и мокрого сжатия (маслозаполненные). Винтовые компрессоры сухого сжатия подают сухой газ, не содержащий масла. Винты вращаются в корпусе без контактов, отсутствует и взаимный контакт роторов, что обеспечивается парой зубчатых колес, синхронизирующих 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.

Корпуса сухих машин имеют водяную рубашку. Корпуса неохлаждаемых машин имеют оребренную поверхность. Ребра служат не только для придания корпусу необходимой жесткости, но и улучшают теплоотвод в окружающую среду. Важное значение имеет выбор зазоров как между роторами компрессора, так и между роторами и корпусом. Зазор между рабочими органами компрессора сухого сжатия обычно составляет примерно 0,1% наружного диаметра роторов.

В винтовых компрессорах сухого сжатия, работающих на высоких окружных скоростях, применяются опорные и упорные подшипники скольжения гидродинамического трения.

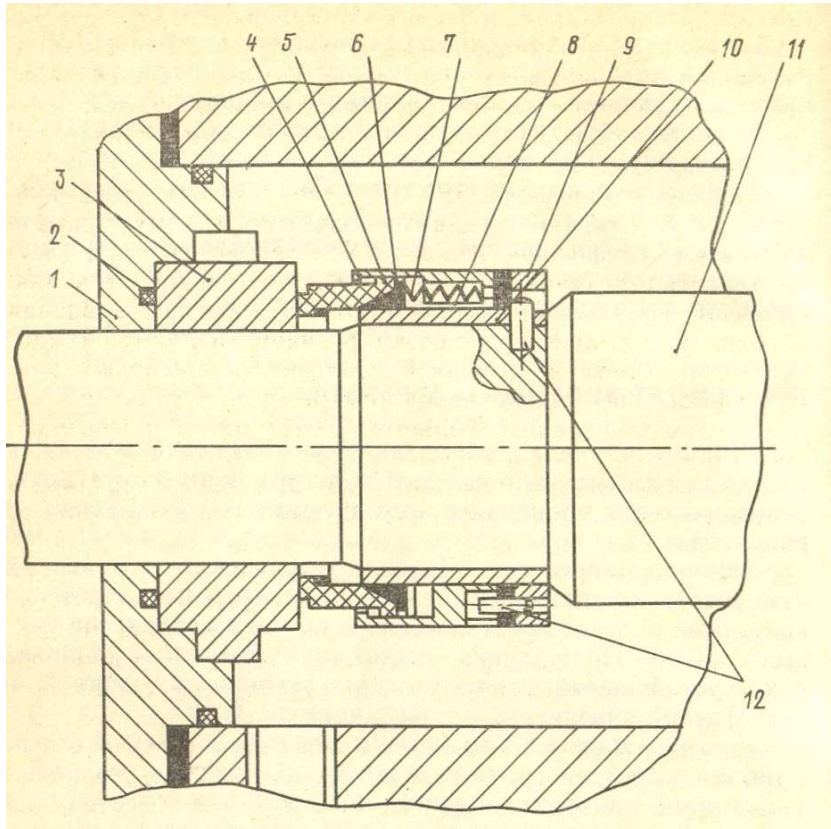


Шестерни связи служат для обеспечения необходимого зазора между зубьями роторов компрессора, т.к. не допускаются контакты рабочих поверхностей. Поэтому зазор в зацеплении шестерен должен быть примерно в два раза меньше зазора между зубьями роторов.



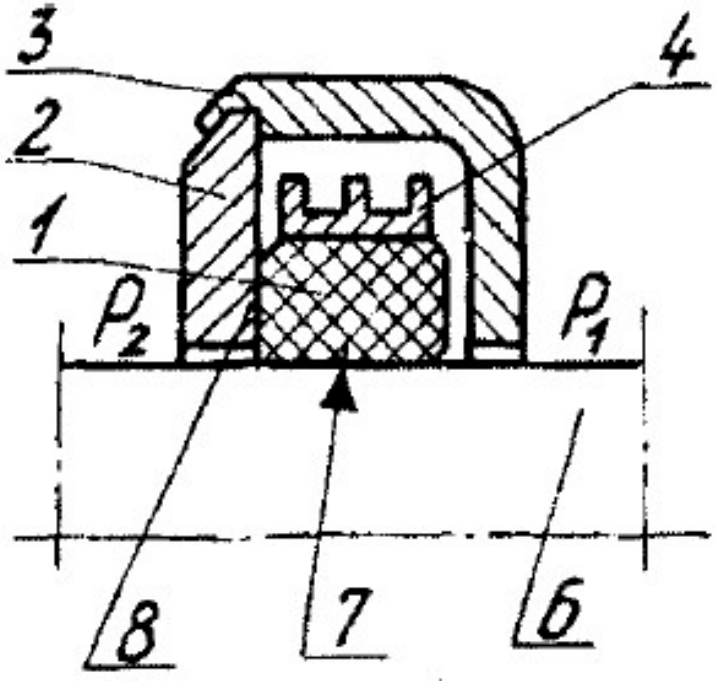
Больше информации о компрессорной технике на сайте научно-инжиниринговой группы
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»
www.kviht.ru тел. +7(812) 715-41-64

Концевые уплотнения валов предназначены для предотвращения утечек газа из компрессора или подсоса воздуха и масла в камеру всасывания. В компрессорах сухого сжатия применяют уплотнения следующих типов: бесконтактные щелевые, с неразрезными или разрезными графитовыми кольцами, лабиринтные и комбинированные – графито-лабиринтные. Чаще всего применяют уплотнения с сухими неразрезными графитовыми кольцами плавающего типа, которые пригодны как при сжатии воздуха в компрессоре, так и практически для любых газов.



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

С целью надежности герметизации компрессора, в корпусе машины в местах уплотнения предусматриваются несколько камер, что позволяет осуществить работу уплотнений по нескольким различным схемам, в том числе и с подачей затворного газа.



Элемент уплотнения с плавающими кольцами
1-уплотнительное кольцо, 2-неподвижное уплотнительное кольцо, 3-корпус, 4-бандажное кольцо, 6-вал, 7-цилиндрическая поверхность уплотнения, 8-торцовая поверхность уплотнения.

При работе давление p_1 прижмёт уплотнительное кольцо 1 к неподвижному уплотнительному кольцу 2 и образуется уплотнение трения. Так как при работе компрессора его детали нагреваются, то при отсутствии бандажного кольца между ним и валом образовывался большой зазор, так как материал уплотнительного кольца 1 имеет более высокий коэффициент линейного расширения, чем материал вала 6. Однако бандажное кольцо не позволяет уплотнительному кольцу расширится и между ним и валом сохраняется при работе минимально возможный зазор. Таким образом, через рассмотренный элемент уплотнения будет протекать минимальное количество газа.

В винтовых компрессорах сухого сжатия процесс сжатия воздуха происходит без использования смазывающей жидкости в рабочей камере, поэтому в сжатом воздухе, произведенном этими компрессорами, полностью отсутствуют даже следы масла, что, например, очень важно для предприятий фармацевтической, пищевой и электронной промышленности. Недостатками этих компрессоров можно считать их более высокую стоимость, полученную из за необходимости более точного изготовления винтовой пары, и меньший срок эксплуатации.

@KVIHT

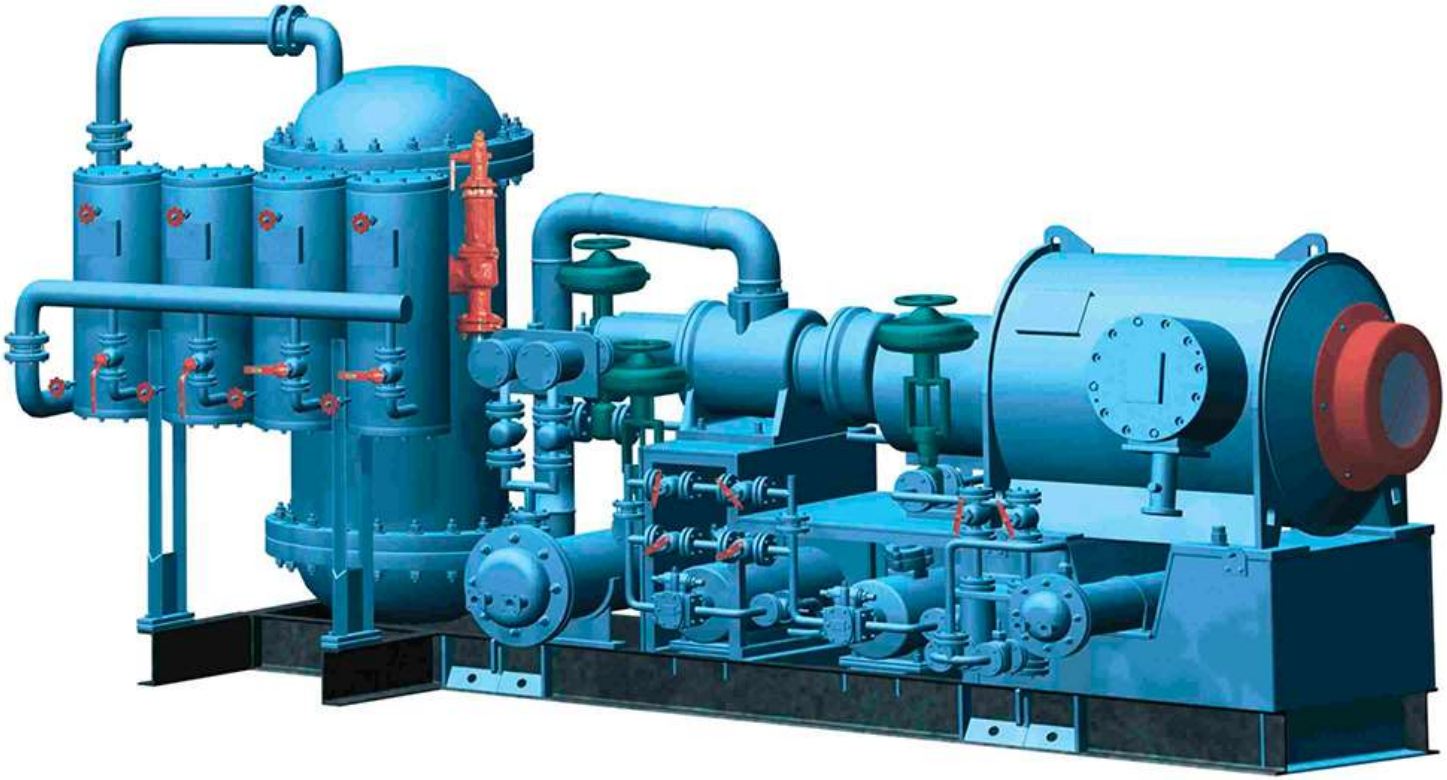
Больше информации о компрессорной технике на сайте научно-инжиниринговой группы
«Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»
www.kviht.ru тел. +7(812) 715-41-64

Ряд винтовых компрессоров сухого сжатия состоит из десяти подобных базовых компрессоров, охватывающих область производительностей (при работе на воздухе) от 0,11 до 6,67 м3/с. (6,3…400 м3/мин).

База унифицированного ряда винтовых компрессоров сухого сжатия

Основной ряд			Модифицированный ряд			Основной ряд			Модифицированный ряд		
Обозначение базы	d_1	L	Обозначение базы	d_1	L	Обозначение базы	d_1	L	Обозначение базы	d_1	L
	мм			мм			мм			мм	
1В	80	110	1аВ	80	80	6В	250	340	6аВ	250	250
2В	100	135	2аВ	100	100	7В	315	425	7аВ	315	315
3В	125	170	3аВ	125	125	8В	400	540	8аВ	400	400
4В	160	220	4аВ	160	160	9В	500	675	9аВ	500	500
5В	200	270	5аВ	200	200	10В	630	850	10аВ	630	630

Конструктивное исполнение узлов уплотнений позволяет использовать базовые компрессоры для сжатия не только воздуха, но и любых других газов кроме хладагентов . В зависимости от физических констант газа оптимальна окружная скорость роторов меняется.



Компрессорные установки с машинами сухого сжатия состоят из следующих основных агрегатов: винтового компрессора, мультипликатора, привода компрессора, газоохладителей, запорной и регулирующей арматуры, а также систем: масляной, водяной, шумоглушения, уплотнений, автоматики и защиты.

Компрессорные установки могут быть одно-, двух- и трехступенчатыми. Приводом компрессора, как правило, служит электродвигатель. В зависимости от оборотов ведущего ротора привод может быть прямым или через мультипликатор.

@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

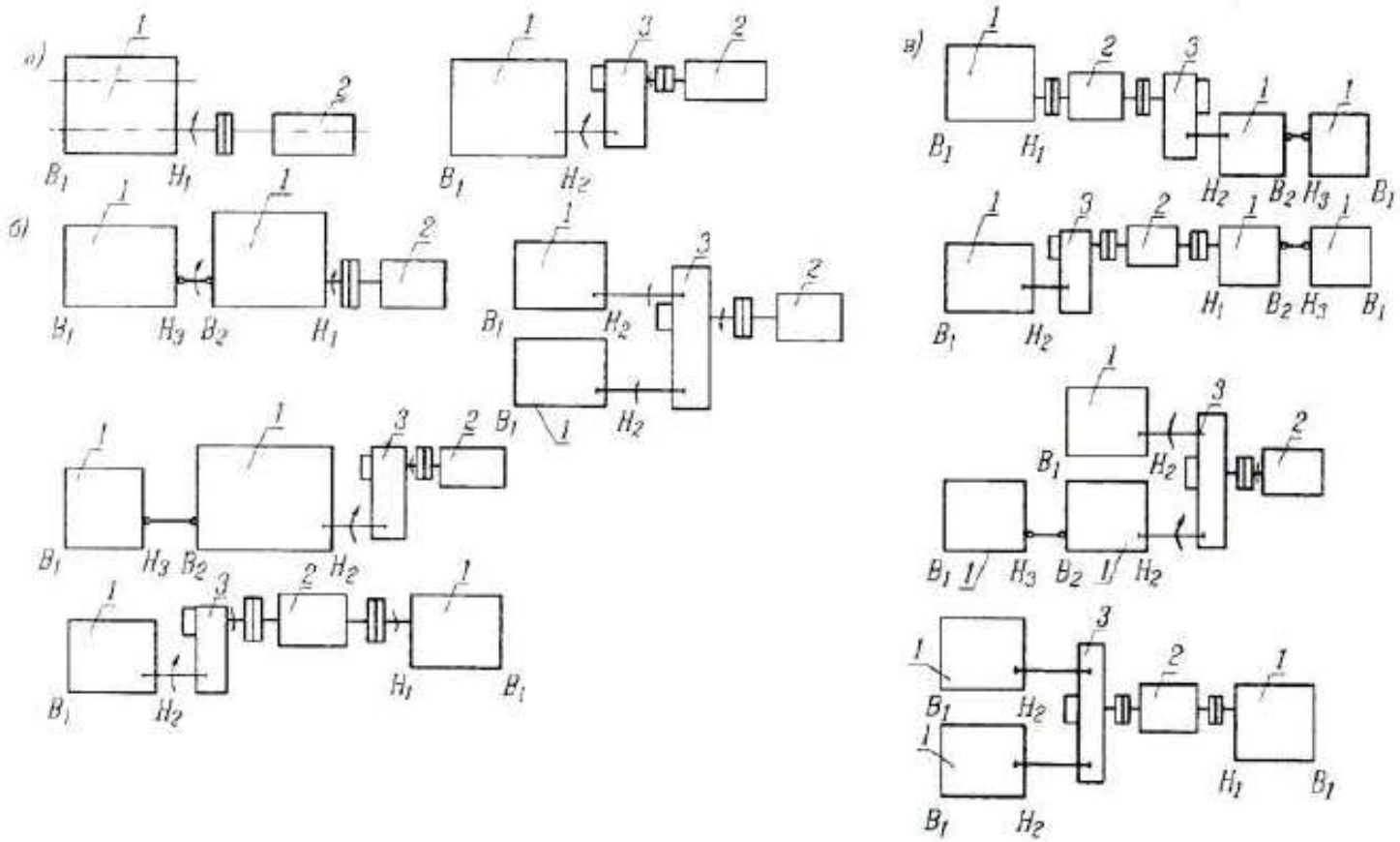


Рис.21.1. Компоновки компрессорных установок типоразмерного ряда: а – одноступечатых; б – двухступенчатых; в – трехступенчатых; 1 – ступень компрессора; 2 – привод; 3 – мультипликатор

Унифицированный ряд отечественных винтовых **маслозаполненых** компрессоров охватывает диапазон производительностей от 4 до 40 м3/мин. Для данной производительности компрессоры выполнены на 4-х базах.

Базы унифицированного ряда винтовых маслозаполненных компрессоров

Номер базы	3		5		6	7	
$d_1=d_2$, мм	125		200		250	315	
L, мм	115	170	180	270	340	280	425
$V_{вс}$, м^3/мин	4	6,3	10	16	25	25	40

Изменением частоты вращения роторов базовых машин можно обеспечить производительность в пределах 4…50 м3/мин. При этом унификация таких компрессоров с базовыми составляет 90..95%.

Компрессоры ряда предназначены для работы на воздухе и других газах. В модификациях базовых компрессоров, используемых для сжатия газов, предусмотрены торцевые уплотнения.

В винтовых компрессорах, смазываемых впрыском смазочного материала, масло выполняет смазывающую, уплотнительную и охлаждающую функции. Масло впрыскивают в камеру высокого давления между роторами под давлением 3-4 атм. Оно образует гидростатическую и гидродинамическую пленку. Таким образом, масло смазывает сцепленные роторы и подшипники скольжения и качения, которые являются составной частью зубчатого сцепления. Кроме того, оно уплотняет зазоры между ротором и корпусом. Также смазочный материал способствует поглощению тепла и его рассеиванию через радиаторы.

Тенденции развития винтовых компрессоров:

1. расширение диапазона выпускаемых компрессоров за счет установок малой производительности. Ведущие фирмы выпускаю ВК с диапазоном производительности от 0,5 до 50 м3/мин.
2. Использование соотношения зубьев роторов Z1/Z2 = 5/7; 5/6, которые позволяют увеличить КПД компрессоров на 4-5%. При этом за счет увеличения точности нарезания винтов роторов нижний рабочий предел окружных скоростей снижается до 15 м/с.
3. Базовым элементом при построении ряда производительностей и давлений компрессорных установок является мощность приводного электродвигателя;
4. Система автоматики компрессоров строится на базе микрпроцессорной и релейной техники.

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

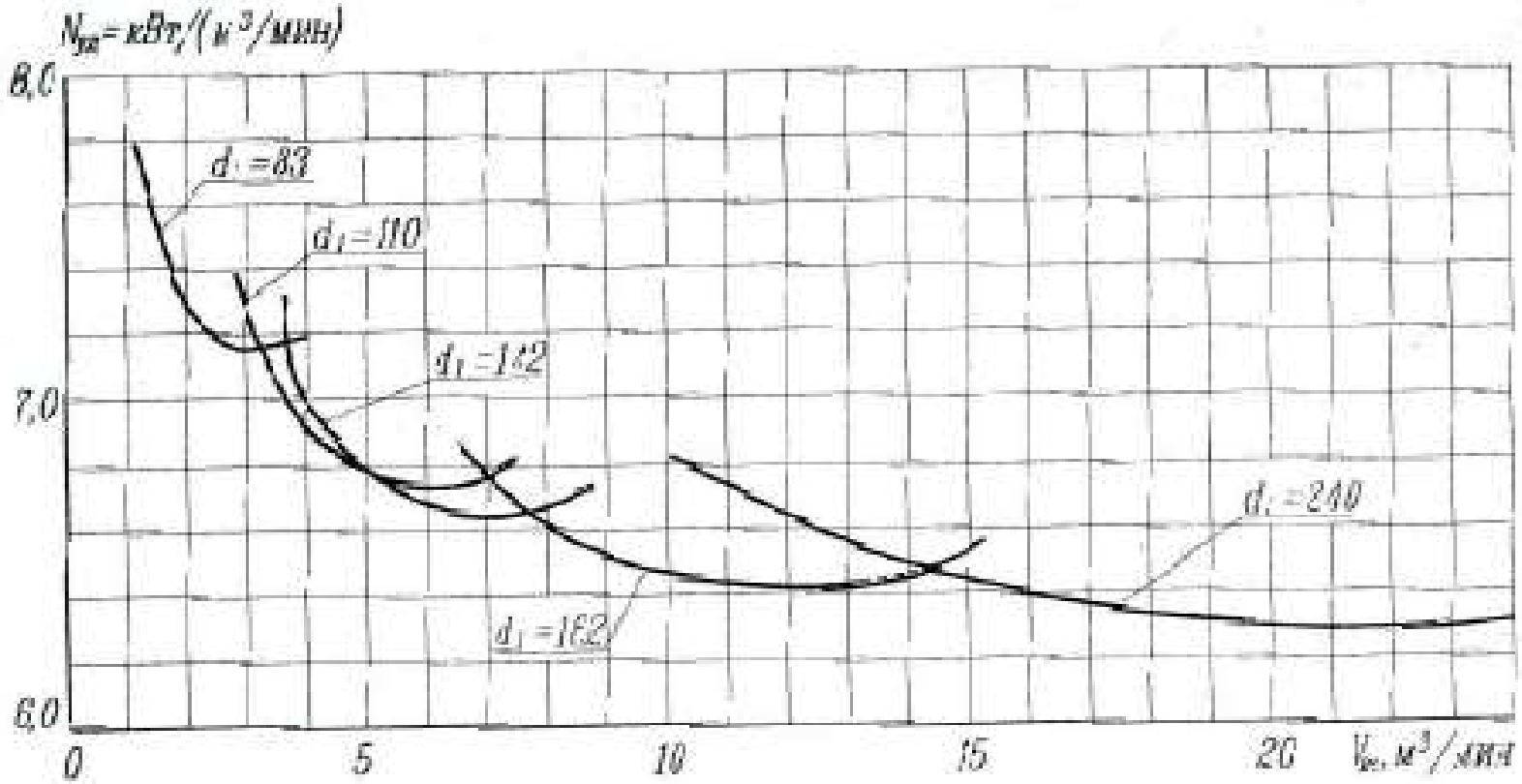
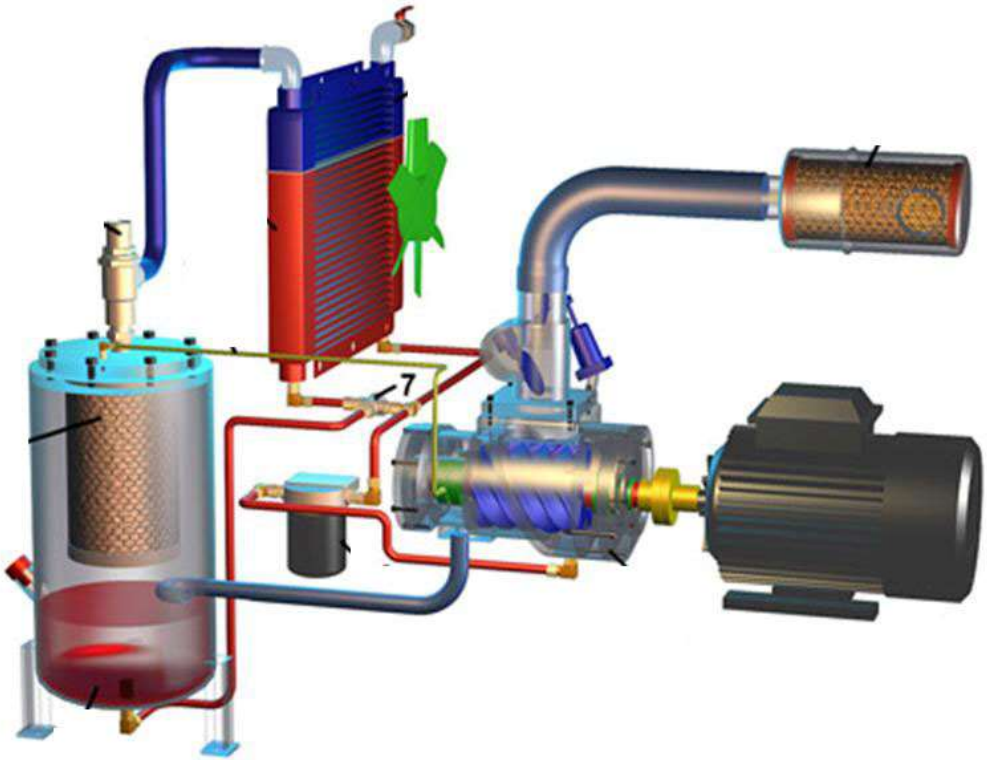


Рис.22.1. Зависимость удельной мощности от производительности компрессора при L/d_1=1,6



Компрессорная установка на базе воздушного маслозаполненного винтового компрессора

Особенностью конструкции установок с маслозаполнеными винтовыми компрессорами является развитая масляная система, обеспечивающая подачу масла на впрыск в корпус компрессора и отделение его от сжатого газа на стороне нагнетания.

По сравнению с поршневыми компрессорами можно отметить следующие достоинства винтовых компрессоров:

1. Высокая надежность и большой моторесурс.
2. Большая быстроходность и лучшие массогабаритные показатели.
3. Отсутствие деталей движущихся возвратно-поступательно, следовательно, большая уравновешенность.
4. Отсутствие недолговечных деталей (клапаны, кольца).
5. Стабильность энергетических показателей.
6. Малые газодинамические потери в окнах всасывания и нагнетания.
7. Возможность эксплуатации, исключающей постоянное присутствие обслуживающего персонала.

Недостатки винтовых компрессоров:

1. Компрессоры имеют постоянную геометрическую степень сжатия.
2. Машины малой производительности имеют относительно большие протечки через щели внутри компрессора.

Спасибо за внимание