Д. Краснов, И. Савельев

КОМПРЕССОРЫ: ПРОСТЫЕ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ



СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ..... 3

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЖАТОМ ВОЗДУХЕ 4

1.1. ЧТО ТАКОЕ ВОЗДУХ? 4

1.2. ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОМПРЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ И РАСЧЕТАХ, СВЯЗАННЫХ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ..... 4

ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЖАТОГО ВОЗДУХА 6

2.1. ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ..... 6

2.2. ВИНТОВЫЕ КОМПРЕССОРЫ..... 10

ГЛАВА 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА..... 13

3.1. ОСУШКА СЖАТОГО ВОЗДУХА..... 13

3.1.1. РЕФРИЖЕРАТОРНЫЕ ОСУШИТЕЛИ 17

3.1.2. АДСОРБЦИОННЫЕ ОСУШИТЕЛИ..... 18

3.2. ОЧИСТКА СЖАТОГО ВОЗДУХА..... 21

ГЛАВА 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА 23

ГЛАВА 5. ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ 27

КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ 33

ПРЕДИСЛОВИЕ

Авторы этой книги благодарят за то, что вы скачали (заказали или иным способом получили) эту электронную книгу и в настоящий момент ее читаете. Прежде всего хотелось бы дать пояснение для кого и почему она написана.

Для кого эта книга?

Для всех, кто сталкивается с вопросами обеспечения сжатым воздухом и предприятия в целом и отдельного производственного участка. Данная книга, в первую очередь, ориентирована на специалистов стоящих перед выбором оборудования, но, безусловно, будет интересна и тем, кто эксплуатирует уже имеющееся компрессорное оборудование. Она может быть полезна как на этапе подготовки или реорганизации пневмосистемы предприятия, так и при проведении работ по текущему техническому обслуживанию и ремонту.

Почему написана эта книга?

Данная книга явилась логическим продолжением информационного бюллетеня «КиП» (Компрессоры и Пневматика, см. www.fiak.ru). Это, по существу, единственный журнал, который носит чисто практический характер и вот уже более 5 лет помогает в решении конкретных технических задач по обеспечению сжатым воздухом предприятий и производственных участков. Опыт издания бюллетеня свидетельствует о том, что специалисты испытывают колоссальный дефицит в технической информации по компрессорному оборудованию и системам подготовки воздуха. Имеющиеся в их распоряжении материалы носят либо сугубо коммерческий, рекламный характер, либо перегружены теоретическими положениями, через дебри которых трудно добраться до вопросов практического применения и эксплуатации оборудования.

Недостаток информации часто приводит к грубым ошибкам, наиболее распространенными из которых являются:

- Компрессор не дает необходимый объем сжатого воздуха, не «тянет» потребителей;
- Пневмооборудование не обеспечивает заявленных производителем технических характеристик;
- Пневмолинии и пневмооборудование быстро выходят из строя;
- Неоптимальная загрузка компрессорной станции, и как следствие, перерасход электроэнергии.

Безусловно, в данной книге нам не удалось рассмотреть все вопросы, касающиеся выбора и эксплуатации компрессорного оборудования и систем подготовки воздуха. Более полную и свежую информацию вы можете получить, оформив бесплатную подписку на информационный бюллетень «Компрессоры и Пневматика» на сайте: www.fiak.ru. Заявку на бесплатную подписку можно направить по электронной почте info@fiak.ru или по факсу (495) 926-78-06.

Глава 1

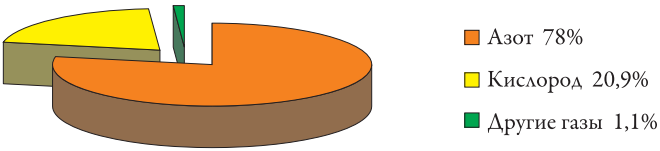
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЖАТОМ ВОЗДУХЕ

1.1. ЧТО ТАКОЕ ВОЗДУХ?

Атмосферный воздух — это смесь газов, не имеющая вкуса и запаха и состоящая главным образом из азота и кислорода. Кроме того, в атмосферном воздухе всегда в той или иной степени присутствуют различные загрязняющие компоненты, такие как твердые частицы, капли масла и т.п.

В общем случае, состояние любого газа определяется тремя основными параметрами: давлением (p), температурой (T), объемом (V) и описывается газовыми законами.

Состав атмосферного воздуха



1.2. ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОМПРЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ И РАСЧЕТАХ, СВЯЗАННЫХ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Единицы измерения давления. Давление определяется отношением силы, действующей перпендикулярно поверхности, к единице площади этой поверхности. Единицей измерения давления в системе СИ является паскаль (Па), равный давлению, создаваемому силой 1 Н на площади 1 м^2. В силу малости этой величины в технике, как правило, используют кратные величины давления 1 кПа = 10^3 Па и 1 МПа = 10^6 Па. Кроме того, достаточно часто давление измеряют в физических атмосферах (атм), технических атмосферах (кгс/см^2) и бар. В англоязычных странах давление иногда указываю в фунтах на квадратный дюйм PSI (pounds per square inch).

Соотношение между основными величинами давления приведено в *табл. 1.*

Таблица 1.

	МПа	бар	атм	кгс/см^2	PSI
МПа	1	10	9,87	10,197	145,04
бар	0,1	1	0,9869	1,0179	14,504
атм	0,1013	1,013	1	1,0332	14,696
кгс/см^2	0,09806	0,9806	0.9678	1	14,223
PSI	0,00689	0,0689	0,068	0,0703	1

Все тела, находящиеся на земной поверхности, испытывают со всех сторон одинаковое давление земной атмосферы — атмосферное давление. Кроме того, различают абсолютное и избыточное давление. Абсолютным давлением называет полное давление с учетом давления атмосферы. Абсолютное давление отсчитывается от абсолютного нуля. Избыточным давлением называют разность между абсолютным и атмосферным давлением. Избыточное давление отсчитывается от условного нуля, за который принимается атмосферное давление.

Единицы измерения температуры. Единицей измерения температуры в системе СИ является Кельвин (К). В технике достаточно широко используется и измерение температуры в градусах Цельсия (°С). Чтобы получить значение температуры в К необходимо к температуре в градусах Цельсия прибавить 273,15.

Единицы измерения объема. В компрессорной технике используют понятие объемный расход воздуха, равный объему, производимому/потребляемому в единицу времени. Наиболее часто используются величины: кубический метр в минуту ($м^3$/мин) и литр в секунду (л/с). В англоязычных странах популярна величина кубический фут в минуту CFM (cubic foot per minute).

Соотношение между этими величинами приведено в *табл. 2.*

Таблица 2.

	л/с	**$м^3$/мин**	**CFM**
л/с	1	0,06	2,12
$м^3$/мин	16,67	1	35,3
CFM	0,472	0,0283	1

Единицы измерения мощности. Единицей измерения мощности в системе СИ является ватт (Вт). Различают механическую, тепловую и электрическую мощность.

1 Вт механической мощности равен такой мощности, при которой за 1 секунду совершается работа 1 джоуль (Дж). 1 Вт мощности теплового потока эквивалентен 1 Вт механической мощности. А 1 Вт активной электрической мощности определяется как мощность постоянного электрического тока в 1 ампер (А) при напряжении 1 вольт (В).

Лошадиная сила (л.с.) также является единицей измерения мощности. Предполагалось, что 1 л.с. равна работе, которую совершает лошадь, поднимая 33 000 фунтов со скоростью 1 фут в минуту. Эта же работа равна 745,69 Вт. В англоязычных странах мощность 1 л.с. обозначается, как 1 HP, во франкоязычных 1 CV и т.д.

Таким образом: 1 л.с. = 0,735 кВт, а 1 кВт = 1, 36 л.с.

Глава 2

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЖАТОГО ВОЗДУХА

Компрессор — это устройство для сжатия и подачи воздуха или другого газа под давлением. Все компрессоры подразделяются на два основных вида: динамические и объемные.

Динамические компрессоры — компрессоры, в которых увеличение давления происходит за счет преобразования скорости движения воздушного (газового) потока. Наиболее характерным представителем динамического компрессора является турбокомпрессор.

Объемные компрессоры — компрессоры, в которых увеличение давления происходит за счет уменьшения объема камеры сжатия. К объемным компрессорам относятся все поршневые и винтовые компрессоры различных типов.

Наиболее часто в диапазоне производительности от 0,05 до 10 м^3/мин и для создания избыточного давления до 13–16 бар используются именно объемные компрессоры: поршневые и винтовые компрессоры с воздушным охлаждением. Поэтому рассмотрим более подробно именно эти типы компрессоров.



2.1. ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Поршневой компрессор состоит из рабочего цилиндра и поршня; имеет всасывающий и нагнетательный клапаны, расположенные в крышке цилиндра. Для сообщения поршню возвратно-поступательного движения, в поршневых компрессорах используется вращательное движение коленчатого вала. По количеству цилиндров поршневые компрессоры бывают одно- и многоцилиндровые; по расположению цилиндров подразделяются на рядные, V- или W-образные; по количеству ступеней сжатия на одноступенчатые и многоступенчатые.

Принцип действия поршневого одноцилиндрового компрессора следующий *(рис.1)*.

При вращении коленчатого вала соединённый с ним шатун сообщает поршню возвратно-поступательное движение. В рабочем цилиндре из-за увеличения объёма, заключённого между днищем поршня и клапанной группой, возникает разрежение и атмосферный воздух, преодолев сопротивление пружины, удерживающей всасывающий клапан, открывает его и через всасывающий патрубок (с воздушным фильтром) поступает в

цилиндр. При обратном ходе поршня воздух сжимается, а затем, когда его давление позволит преодолеть сопротивление пружины, прижимающей нагнетательный клапан, воздух открывает последний и поступает в нагнетательный патрубок.

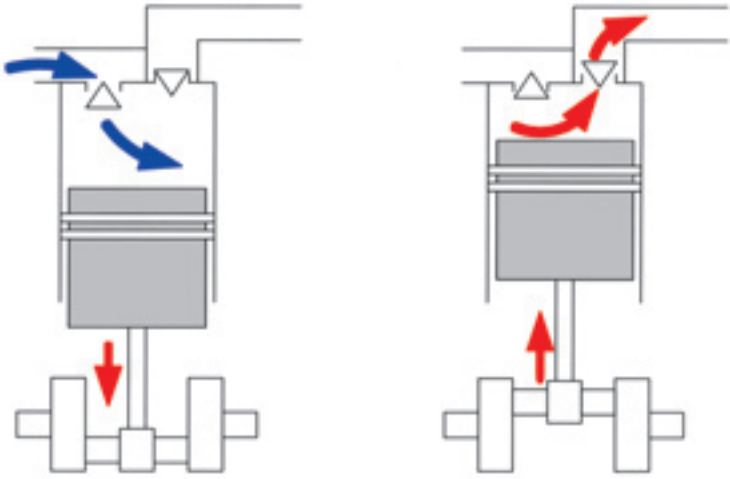


Рис. 1.

Производительность компрессора, в общем случае, является переменной величиной, зависящей от условий всасывания — давления и температуры окружающего воздуха. Поэтому, говоря о производительности, обязательно указывают условия всасывания.

Для поршневых компрессоров, как правило, указывается теоретическая производительность. Теоретическая производительность, или производительность на всасывании, равна объему описываемому поршнем в единицу времени. Эта величина не случайно называется теоретической производительностью, т.к. она довольно существенно отличается от реальной производительности. Дело в том, что между поршнем в крайнем верхнем положении и клапанной группой всегда имеется зазор, образующий свободный объем, или так называемое «вредное пространство».

В этом пространстве, остающийся после нагнетания сжатый воздух, при обратном ходе поршня, расширяется, и поэтому всасывающий клапан открывается лишь при снижении давления до давления всасывания. То есть поршень определенный отрезок пути в цилиндре движется в холостую, из-за чего производительность компрессора снижается. Это снижение производительности определяется коэффициентом производительности компрессорной группы.



Управление работой поршневых компрессоров осуществляется при помощи реле давления (прессостата). Конструктивно реле давления представляет собой систему пружин различной жесткости, реагирующих на изменение давления. Чтобы максимально исключить реакцию на пульсации воздушного потока сжатого воздуха, реле давления должно быть связано с таким местом в компрессоре, где эти пульсации минимальны. Обычно это воздушный ресивер. Принцип действия реле давления следующий. Пружинный механизм реагирует на изменение давления и, при достижении максимального рабочего давления P max (величины, указанной в паспорте компрессора), размыкает цепь электропитания. Соответственно при снижении давления до некой минимальной величины P min (давления включения), замыкает цепь электропитания, и компрессор начинает работать в режиме нагнетания. Данный режим работы называется повторно-кратковременным.

Разница между P max и P min, так называемая «дельта», как правило, составляет 2 бар. Эта величина существенно влияет на режим работы компрессора. При слишком малой «дельте» компрессор будет часто включаться/выключаться, оказывая тем самым дополнительную нагрузку на электродвигатель и на поршневую группу. Слишком большая «дельта» также нежелательна, т.к. при этом увеличивается время работы компрессора в режиме нагнетания. А это при воздушном охлаждении компрессорной группы может привести к ее перегреву.

Выше говорилось, что поршневые группы бывают одно-и-многоступенчатыми. Рассмотрим это подробнее на примере двухцилиндровых поршневых групп.

Двухцилиндровый одноступенчатый компрессор имеет два цилиндра одинакового размера *(рис. 2)*. Оба они поочередно всасывают воздух, сжимают его до максимального давления и вытесняют в линию нагнетания.

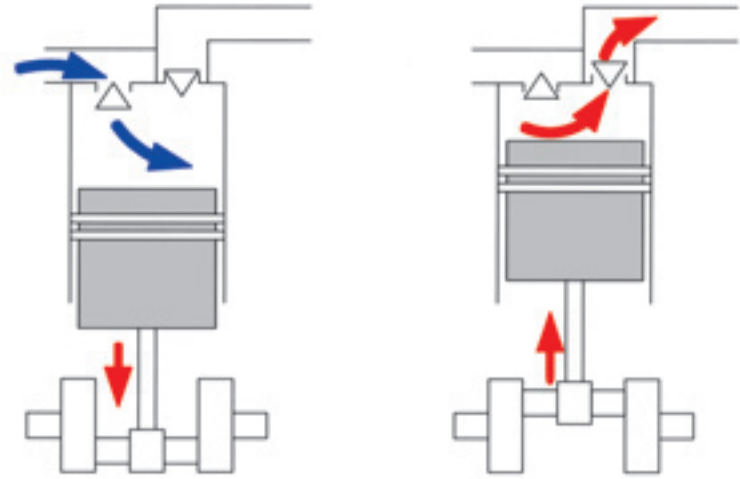


Рис. 2.

У двухцилиндрового двухступенчатого компрессора также два цилиндра, но уже разного размера *(рис. 3)*. В цилиндре первой ступени воздух сжимается до некоего промежуточного значения, затем охлаждается в межступенчатом охладителе и дожимается до максимального давления в цилиндре второй ступени.

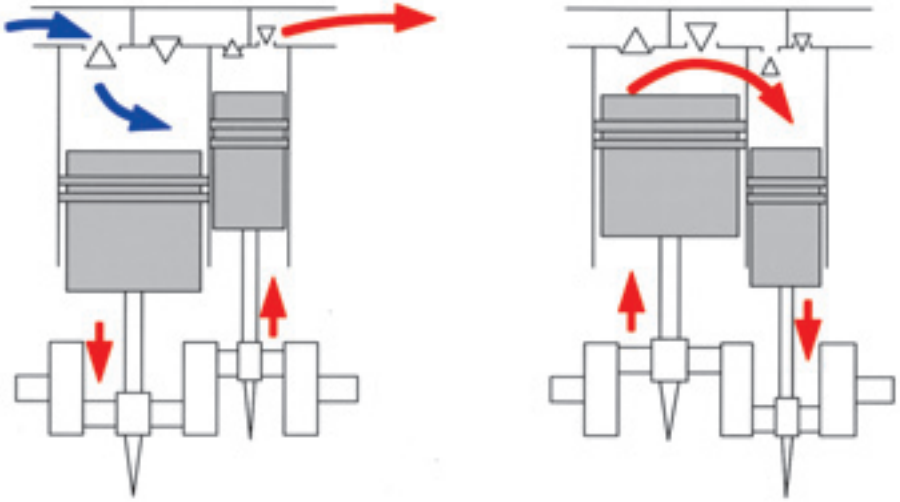


Рис. 3.

Размер цилиндров подобраны таким образом, чтобы на каждой ступени сжатия совершалась примерно одинаковая работа.

На практике это означает, что при одной и той же мощности двигателя при двухступенчатом сжатии затрачивается меньше энергии, чем при одноступенчатом. При этом реальная производительность двухступенчатого компрессора на 20% больше, чем на выходе из одноступенчатого. Кроме того, в двухступенчатом компрессоре температура в цилиндрах значительно ниже, что существенно повышает надежность и увеличивает ресурс поршневой группы.

Практически все поршневые компрессоры с воздушным охлаждением и производительностью на всасывании от 0,05 до 2 м^3/мин, которые представлены сейчас на рынке, можно условно разбить на три типа: полупрофессиональные (бытовые класса «хобби»), профессиональные и промышленные.



Более подробно с конструктивными особенностями каждого вида поршневых компрессоров можно ознакомиться ***ссылка***.

2.2. ВИНТОВЫЕ КОМПРЕССОРЫ.

Винтовые компрессоры относятся к типу объемных компрессоров. Важнейший элемент винтового компрессора — винтовой блок, состоящий из двух червячных роторов, находящихся в зацеплении *(рис. 4)*. Один из роторов — ведущий, другой — ведомый. Масло, впрыскиваемое в блок, предотвращает металлический контакт между ними. Кроме функции уплотнения зазора между роторами, масло служит для смазки подшипников винтового блока и отвода тепла, образовавшегося в процессе сжатия.

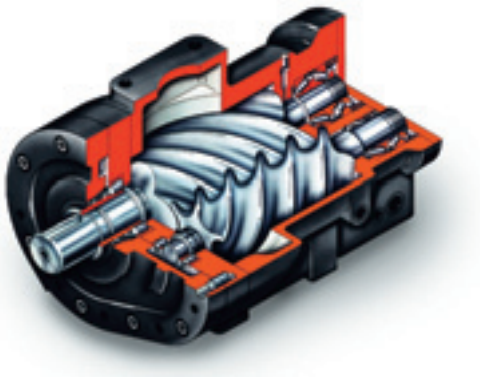


Рис. 4.

Процесс сжатия происходит следующим образом. Зубья ведущего и ведомого роторов находятся в зацеплении, а их открытые полости и корпус винтового блока образуют объем, куда при вращении роторов, благодаря разрежению, поступает воздух (рис. 5). Роторы вращаются в противоположных направлениях, открытые полости закрываются, объем между ними уменьшается, и давление нагнетания растет. В этот момент и происходит впрыск масла. При достижении необходимого давления сжатый воздух поступает в нагнетательный патрубок и далее в воздушно-масляный сепаратор.

Полный цикл сжатия осуществляется за один оборот ведущего ротора. Такой процесс сжатия существенно отличается от сжатия в поршневом компрессоре, где происходит возвратно-поступательное движение поршня в цилиндре. Поэтому у винтового компрессора отсутствует сильная вибрация, и его установка не требует закладки специального фундамента. Да и уровень шума винтового компрессора, даже без использования шумоизоляции, существенно ниже, чем у поршневого аналога.

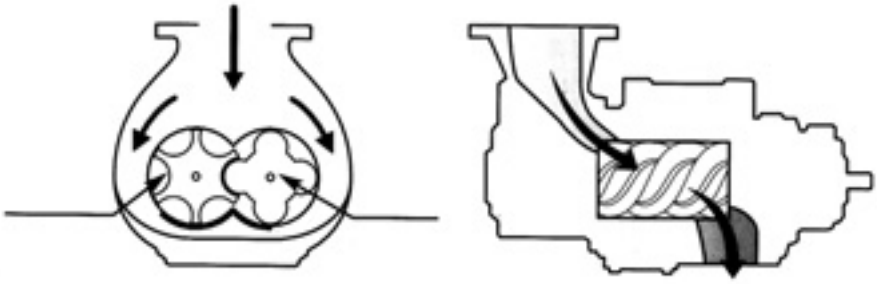


Рис. 5.

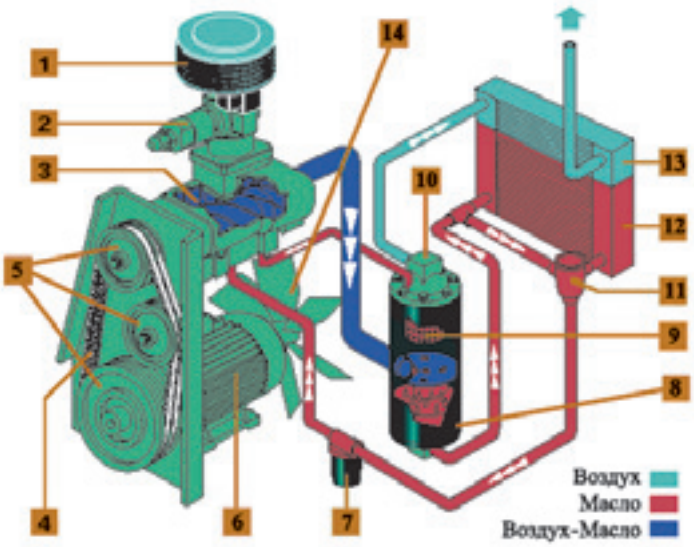


Рис. 6.

Принцип работы винтового компрессора следующий *(рис.6)*. Винтовой компрессор всасывает атмосферный воздух через воздушный фильтр (1) со сменным фильтрующим элементом. Далее очищенный воздух проходит через многофункциональный регулятор всасывания (2) и попадает в винтовой блок (3), являющийся «сердцем» компрессора. Здесь воздух сжимается и перемешивается с маслом, впрыскиваемым в блок в точно дозированных количествах. Образовавшаяся воздушно-масляная смесь нагнетается в сепаратор (8), где при прохождении смеси через картридж (9) происходит разделение масла и воздуха. Очищенный от масла воздух проходит через воздушный радиатор (13) и поступает на выход из компрессора. Масло, отделяемое в сепараторе, возвращается обратно в винтовой блок. В зависимости от температуры масло проходит либо по малому кругу, либо по большому кругу через масляный радиатор (12). Управляет движением масла клапан термостата (11). Перед впрыском в винтовой блок масло предварительно проходит через масляный фильтр (7), где происходит его очистка от твердых частиц. Привод винтовой пары осуществляется электродвигателем (6), посредством клиноременной передачи (4). Передаточное отношение клиноременной передачи, а следовательно, и скорость вращения винтового блока задается размерами шкивов (5). Вентилятор (14), установленный на валу электродвигателя, обеспечивает движение внутри компрессора охлаждающего воздушного потока, который направляется на воздушно-масляный радиатор для отвода тепла, образующегося при сжатии воздуха. Работу компрессора в режиме холостого хода обеспечивает клапан минимального давления (10). Одновременно он же исполняет роль обратного клапана, отделяя компрессор от пневматической магистрали.

Под производительностью винтового компрессора понимают объемную производительность, равную объему воздуха производимого в единицу времени. Объемная производительность выражается в нормальных кубических литрах (или метрах) в единицу времени с указанием условий всасывания. Например, если производительность компрессора составляет 1000 нл/мин при температуре окружающего воздуха 0°С и давлении 1,013 бар, то это означает, что компрессор производит такое количество воздуха, которое при указанных условиях всасывания занимает объем 1000 л.

Управление работой винтовых компрессоров осуществляется как при помощи реле давления, так и при помощи датчика давления. Информация с датчика давления поступает на электронный пульт управления — многофункциональное устройство, автоматически управляющее работой компрессора.



Режим работы винтового компрессора существенно отличается от режима работы поршневого. Так при достижении максимального давления P max винтовой компрессор, в отличие от поршневого, не отключается, а переходит в режим холостого хода. В этом режиме двигатель и винтовая пара продолжают работать, прогоняя без нагнетания воздух по внутреннему контуру компрессора. Продолжительность работы в режиме холостого хода определяет автоматика. Если в это время происходит падение давления до P min (давления включения), то остаток времени холостого хода обнуляется, и компрессор вновь переходит в режим нагнетания. Если после окончания работы на холостом ходу давление все еще выше, чем P min, то компрессор переходит в режим ожидания, который будет продолжаться до тех пор, пока давление не понизится до P min. После этого компрессор вновь перейдет в режим нагнетания. Данный режим работы называется автоматическим.

Более подробно с конструктивными особенностями и назначением основных элементов винтового компрессора, с порядком его работы на различных режимах, с преимуществами винтовых компрессоров можно ознакомиться на **www.fiak.ru**.

Глава 3

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Подготовка сжатого воздуха при его промышленном использовании предполагает удаление из него различных примесей в виде твердых, жидких и газообразных (парообразных) включений, таких как конденсат, пыль, окалина, ржавчина, компрессорное масло и т.п.

Под подготовкой сжатого воздуха понимают его осушку (удаление влаги) и очистку (удаление масла и твердых частиц).

Качество сжатого воздуха определяет Стандарт DIN ISO 8573-1, *табл. 3.* Стандарт устанавливает 6 классов чистоты воздуха и соответствующее каждому классу предельно допустимое содержание различных видов примесей.

Таблица 3.

Класс чистоты	Максимальное содержание масла	Частицы твердых включений		Максимальная температура точки росы под давлением
		максимальный размер	максимальное содержание	
	мг/м³	мкм	мг/м³	°C
1	0,01	0,1	0,1	- 70
2	0,1	1	1	- 40
3	1	5	5	- 20
4	5	15	8	+ 3
5	25	40	10	+ 7
6	-	-	-	+ 10

3.1. ОСУШКА СЖАТОГО ВОЗДУХА

Одной из важнейших характеристик атмосферного воздуха является влажность. Различают абсолютную и относительную влажность воздуха.

Абсолютная влажность (выражается в г/м3) — это величина, показывающая действительное содержание влаги (водяного пара) в единице объема газа (воздуха).

Относительная влажность (безразмерная величина, выражается в %) — равна отношению действительной (абсолютной) влажности воздуха к его максимально возможной влажности, соответствующей состоянию насыщения при заданной температуре. Следовательно, это величина, характеризующая степень насыщения воздуха водяным паром. Величина абсолютной

влажности при постоянной относительной влажности является функцией температуры, т.е. чем выше температура, тем больше влаги содержится в воздухе.

Еще одним важным параметром является температура точки росы. Температура точки росы — это температура, при которой начинается процесс конденсации влаги. Фактически по температуре точки росы можно судить о максимальном количестве влаги, содержащейся в воздухе при постоянной температуре.

В *табл. 4* показаны значения максимального содержания влаги, содержащейся в воздухе, в диапазоне температур от -100 °С до +100 °С.

Таблица 4.

t в °С точка росы	Содержание влаги, г/м³	t в °С точка росы	Содержание влаги, г/м³	t в °С точка росы	Содержание влаги, г/м³	t в °С точка росы	Содержание влаги, г/м³
-100	0,00000	-50	0,03800	0	4,86800	50	82,25700
-99	0,00000	-49	0,04300	1	5,20900	51	86,17300
-98	0,00002	-48	0,04800	2	5,57000	52	90,24700
-97	0,00003	-47	0,05400	3	5,95300	53	94,48300
-96	0,00003	-46	0,06000	4	6,35900	54	98,88300
-95	0,00003	-45	0,06700	5	6,79000	55	103,45300
-94	0,00004	-44	0,07500	6	7,24600	56	108,20000
-93	0,00005	-43	0,08300	7	7,73200	57	113,13000
-92	0,00006	-42	0,09300	8	8,24300	58	118,19900
-91	0,00008	-41	0,10400	9	8,78400	59	123,49500
-90	0,00009	-40	0,11700	10	9,35600	60	129,02000
-89	0,00011	-39	0,13000	11	9,96100	61	134,68400
-88	0,00014	-38	0,14400	12	10,60000	62	140,65900
-87	0,00015	-37	0,16000	13	11,27600	63	146,77100
-86	0,00018	-36	0,17800	14	11,98700	64	153,10300
-85	0,00023	-35	0,19800	15	12,73900	65	159,65400
-84	0,00029	-34	0,22000	16	13,53100	66	166,50700
-83	0,00034	-33	0,24400	17	14,36700	67	173,57500
-82	0,00040	-32	0,27100	18	15,24600	68	180,85500
-81	0,00048	-31	0,30100	19	16,17200	69	188,42800
-80	0,00055	-30	0,33000	20	17,14800	70	196,21300

t в °C точка росы	Содержание влаги, г/м³	t в °C точка росы	Содержание влаги, г/м³	t в °C точка росы	Содержание влаги, г/м³	t в °C точка росы	Содержание влаги, г/м³
-79	0,00066	-29	0,37000	21	18,19100	71	204,28600
-78	0,00076	-28	0,41000	22	19,25200	72	212,64800
-77	0,00089	-27	0,46000	23	20,38600	73	221,21200
-76	0,00104	-26	0,51000	24	21,57800	74	230,14200
-75	0,00118	-25	0,55000	25	22,83000	75	239,35100
-74	0,00134	-24	0,60000	26	24,14300	76	248,84000
-73	0,00160	-23	0,66000	27	25,52400	77	258,82700
-72	0,00191	-22	0,73000	28	26,97000	78	268,80600
-71	0,00226	-21	0,80000	29	28,48800	79	279,27800
-70	0,00266	-20	0,88000	30	30,07800	80	290,01700
-69	0,00304	-19	0,96000	31	31,77400	81	301,18600
-68	0,00344	-18	1,05000	32	33,49000	82	311,61600
-67	0,00399	-17	1,15000	33	35,31700	83	324,46900
-66	0,00455	-16	1,27000	34	37,22900	84	336,66000
-65	0,00522	-15	1,38000	35	39,28600	85	340,18600
-64	0,00592	-14	1,51000	36	41,32200	86	362,12400
-63	0,00686	-13	1,65000	37	43,50800	87	375,41700
-62	0,00794	-12	1,80000	38	45,59300	88	389,22400
-61	0,00927	-11	1,96000	39	48,18100	89	403,38000
-60	0,01100	-10	2,15600	40	50,67200	90	417,93500
-59	0,01300	-9	2,33900	41	53,27400	91	432,88500
-58	0,01600	-8	2,53700	42	55,98900	92	448,30800
-57	0,01700	-7	2,75100	43	58,82000	93	464,11900
-56	0,01900	-6	2,98400	44	61,77200	94	480,39400
-55	0,02100	-5	3,23800	45	64,84800	95	497,20900
-54	0,02400	-4	3,51300	46	68,05600	96	514,40100
-53	0,02700	-3	3,88900	47	71,39500	97	532,12500
-52	0,03000	-2	4,13500	48	74,87100	98	550,37500
-51	0,03400	-1	4,48700	49	78,49100	99	569,07100
						100	588,20800

При помощи *табл. 4* можно легко произвести оценочный расчет содержания влаги на выходе из компрессора. Например, допустим, что необходимо определить, сколько влаги содержится в 1 м^3 воздуха при температуре +20°С и относительной влажности 70%.

Относительная влажность воздуха определяется отношением действительного влагосодержания к максимально возможному влагосодержанию при заданной температуре. Из *табл. 4* видно, что максимально возможное содержание влаги при температуре +20°С составляет 17,15 г/м^3. Тогда искомое количество влаги равно:

$$\varphi_{+20C} = 17{,}15 \times 0{,}7 = 12 \text{ г/м}^3.$$

При сжатии компрессором атмосферного воздуха его способность удерживать влагу в виде пара зависит от того, насколько уменьшается его объем. И если при этом не происходит существенного увеличения температуры, влага начнет конденсироваться.

Значительная часть выделившегося конденсата выпадает в установленном после компрессора ресивере. Но и после ресивера двигаясь в пневмосистеме, воздух расширяется, охлаждается и при этом происходит дальнейшее выделение конденсата.

Поэтому, во избежание вредного воздействия, которое может оказать конденсат на пневматическое оборудование, его необходимо удалить.

Простейшими устройствами, служащими для этого, являются сепараторы циклонного типа. Принцип работы циклонного сепаратора следующий: поток сжатого воздуха проходит через завихритель и под действием центробежной силы соударяется со стенками корпуса сепаратора. В результате частицы жидкости выделяются из потока и осаждаются в нижней части корпуса циклонного сепаратора, откуда периодически выводятся либо конденсатоотводчиком, либо вручную. Установленный в сепараторе блокиратор препятствует возврату удаленной жидкости в основной воздушный поток.



Таким образом, сепаратор удаляет лишь сконденсированную влагу, не обеспечивая фиксированное значение температуры точки росы. Если после него воздух продолжает охлаждаться, то произойдет дальнейшее выделение конденсата. Поэтому сепаратор может быть эффективен лишь как устройство, позволяющее в первую очередь снизить нагрузку на магистральные фильтры и осушитель сжатого воздуха.

В связи с этим и встал вопрос об использовании специальных осушителей, обеспечивающих необходимую температуру точки росы.

3.1.1. РЕФРИЖЕРАТОРНЫЕ ОСУШИТЕЛИ

Широкое применение на промышленных предприятиях нашли осушители рефрижераторного типа с температурой точки росы +3°С. Сам же метод такой осушки получил название «осушка охлаждением», то есть сжатый воздух сначала охлаждается хладагентом, а потом выделившийся конденсат отводится.

Рассмотрим устройство и принцип работы рефрижераторного осушителя *(рис. 7)*. Осушитель состоит из двух контуров: воздуха и хладагента. Поступая в осушитель, горячий влажный воздух последовательно проходит через два теплообменника типа «воздух-воздух» и «воздух-хладагент». В теплообменнике «воздух-воздух» (5) входящий теплый и влажный воздух передает тепло выходящему, сам при этом частично охлаждаясь. Поэтому система охлаждения может работать с меньшей мощностью, экономя при этом до 40–50% энергии. Далее в теплообменнике «воздух-хладагент» (4) (или, как его еще называют, испаритель) уже хладагент (как правило, это фреон R134A или R404A) забирает тепло сжатого воздуха. В процессе охлаждения происходит образование конденсата, и далее холодный воздух попадает в отделитель конденсата центробежного типа (6). Здесь под действием центробежных сил частицы конденсата оседают на боковой поверхности сепаратора, стекают на дно и принудительно удаляются при помощи электроклапана сброса конденсата. Циркуляцию в осушителе хладагента обеспечивает холодильный компрессор (1). После компрессора сжатый и нагретый хладагент проходит через конденсатор (2), представляющий собой систему медных трубок, погруженных в пластинчатую структуру из алюминия. В конденсаторе и происходит охлаждение хладагента, а для повышения эффективности процесса на нем установлен осевой вентилятор (7). Затем, хладагент проходит через капиллярную трубку (3), где за счет сужения диаметра трубки происходит падение давления хладагента и, соответственно, его охлаждение перед испарителем.

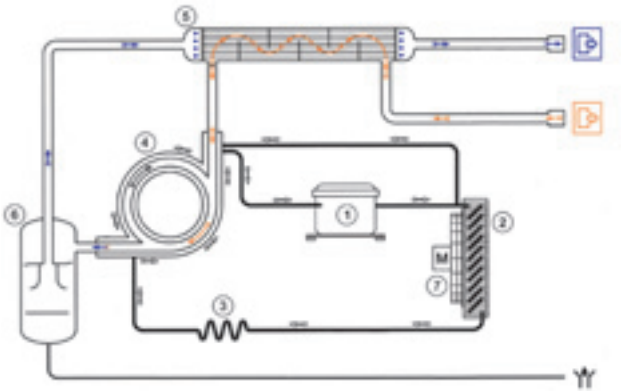


Рис. 7.



Контроль температуры точки росы осуществляется специальным датчиком. Кроме того, в осушителе имеется система by-pass горячего газа (ее контур на схеме находится «над» холодильным компрессором). Эта система предотвращает падение температуры ниже 0°С и образования льда в испарителе, который ведет к закупорке воздуха. При понижении температуры электроклапан by-pass направляет хладагент по контуру, минуя конденсатор, горячий хладагент попадает сразу в испаритель, предотвращая его замерзание.

Температура точки росы у рефрижераторных осушителей, представленных сегодня на рынке, составляет +3°С, следовательно, содержание влаги в сжатом воздухе на выходе из осушителя не превышает 5,95 г/м^3.

3.1.2. АДСОРБЦИОННЫЕ ОСУШИТЕЛИ

Для обеспечения более качественной осушки сжатого воздуха широко используются адсорбционные осушители, обеспечивающие температуру точки росы -20°С, -40°С и -70°С. Область применения адсорбционных осушителей — предприятия пищевой, медицинской и электронной промышленности.

Адсорбционные осушители различаются по типу используемого активного материала и способу регенерации. В качестве адсорбента обычно используются селикогель и молекулярное сито. Регенерация осуществляется методом горячего и холодного восстановления.

Рассмотрим принцип работы осушителя с холодной регенерацией адсорбента подробнее *(рис.8)*. Осушитель состоит из двух идентичных колонн (ресиверов), заполненных адсорбирующим материалом. Через эти колонны поочередно пропускается сжатый воздух. В то время, как в одной колонне происходит осушка воздуха, во второй осуществляется регенерация

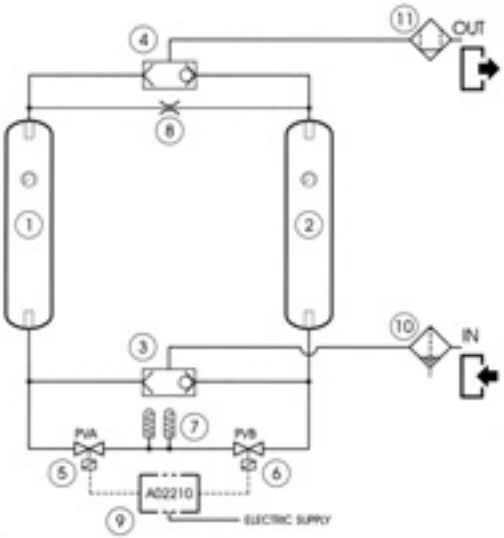
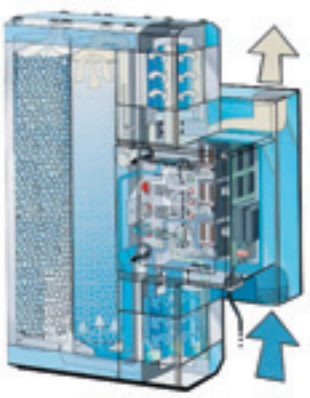


Рис. 8.

адсорбента. Время цикла переключения и диаметр сопла регенерации устанавливается производителем в зависимости от требуемой температуры точки росы.



Адсорбент находящийся в колоннах, при попадании в него содержащегося в сжатом воздухе масла, теряет свои адсорбирующие свойства. Поэтому для защиты адсорбента на входе осушителя установлен микрофильтр, который задерживает частицы масла и микрочастицы размером свыше 0,01 мкм. Благодаря этому максимальное остаточное содержание масла на выходе из фильтра не превышает 0,01 мг/м^3. А срок службы адсорбента в этом случае может составлять 3–5 лет.

При прохождении обрабатываемого воздуха через осушитель в него попадают твердые частицы адсорбента, которые могут быть опасны для конечных пользователей. Для их улавливания на выходе осушителя установлен фильтр тонкой очистки, который задерживает частицы размером свыше 1 мкм.

Представление о том, сколько влаги содержится в сжатом воздухе на выходе из компрессора, а также, сколько влаги отводится при использовании того или иного способа ее принудительного удаления, дает следующий пример.

Предположим, что винтовой компрессор CRS 30 с производительностью 3120 нл/мин (187,2 нм^3/час) сжимает за 8 часов работы при 70% загрузке 1048,3 м^3 атмосферного воздуха при температуре +20°C и относительной влажности 70% до избыточного давления 10 бар (абсолютного давления 11 бар). Температура сжатого воздуха на выходе из компрессора +30°C. Определим количество выделившегося конденсата.



Из *табл. 4* определим, что в 1м^3 воздуха при температуре +20°С может содержаться максимум 17,15 г влаги, следовательно, в 1048,3 м^3 воздуха влаги будет 17978 г.

При относительной влажности 70% количество влаги в 1048,3 м^3 воздуха составит:

$$\varphi_{+20C} = 17987 \times 0,7 = 12585 \text{ г.}$$

При сжатии объем воздуха уменьшается, и воздух достигает состояния насыщения. Его уменьшенный объем можно подсчитать как отношение начального объема к величине абсолютного давления сжатого воздуха:

$$V_{сж} = 1048,3 / 11 = 95,3 \text{ м}^3.$$

Далее определим максимальное количество влаги, которое может удерживаться в 95,3 м3 воздуха при температуре +30°С:

$$\varphi_{+30C} = 95,3 \times 30,08 = 2935 \text{ г.}$$

Следовательно, после сжатия и прохождения воздуха через воздушный радиатор, который и обеспечивает температуру на выходе компрессора на 10°С выше, чем температура окружающей среды, количество влаги, выпавшей в виде конденсата за 8 часов работы, составит:

$$\delta\varphi_1 = 12585 - 2935 = 9650 \text{ г.}$$

Если после компрессора установить рефрижераторный осушитель с температурой точки росы +3°С, то 95,3 м^3 воздуха при температуре +3°С могут удерживать максимум:

$$\varphi_{+3C} = 95,3 \times 5,95 = 567 \text{ г.}$$

Количество отведенной осушителем влаги за 8 часов составит:

$$\delta\varphi_2 = 2935 - 567 = 2368 \text{ г.}$$

Если же после компрессора установить, например, адсорбционный осушитель с температурой точки росы -40°С, то максимальное содержание влаги в 95,3 м^3 воздуха при температуре -40°С составит:

$$\varphi_{-40C} = 95,3 \times 0,117 = 11,15 \text{ г.}$$

Таким образом, количество влаги, удаленной адсорбционным осушителем за 8 часов работы, составит:

$$\delta\varphi_3 = 2935 - 11,15 = 2923,85 \text{ г.}$$

Более подробно с конструктивными особенностями рефрижераторных и адсорбционных осушителей, а также с рекомендациями по их выбору можно ознакомиться на **www.fiak.ru**.

3.2. ОЧИСТКА СЖАТОГО ВОЗДУХА.

По данным компаний-производителей фильтрующих элементов атмосферный воздух, всасываемый компрессором, может содержать в 1 м^3 до 180 млн. частиц пыли, а содержание масла в нем составляет 0,01...0,03 мг/м^3. При сжатии, например, до 10 бар избыточного давления, концентрация загрязняющих веществ увеличивается в 11 раз, и в 1 м^3 сжатого воздуха будет содержаться уже более 2 млрд. частиц пыли. Кроме того, источником загрязнения воздуха является и сам компрессор — в зависимости от типа компрессора в сжатый воздух добавляется от 2-х мг/м^3 (после винтового) до 50 мг/м^3 (после поршневого) частиц масла в виде аэрозоли и пара.

Поэтому, исходя от конкретных требований, сжатый воздух подлежит той или иной очистке.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству сжатого воздуха, для этой цели используется четыре фильтра для удаления масла и твердых частиц.

1. Фильтр предварительной (грубой) очистки задерживает твердые частицы и эмульсии размером свыше 3 мкм. Он обычно устанавливается после охладителя и циклонного сепаратора перед рефрижераторным осушителем. Задача этого фильтра в первую очередь — защита испарителя в осушителе от достаточно «крупных» твердых частиц и капель масла, содержащихся в воздухе. Установка фильтра такого класса позволяет обеспечить 3 класс чистоты по твердым частицам и 3 (4) класс чистоты по содержанию масла.



2. Фильтр тонкой очистки задерживает частицы свыше 1 мкм, включая капли масла. Максимальное остаточное содержание масла на выходе из фильтра 0,1 мг/м^3. Обычно устанавливается на выходе из рефрижераторного осушителя и используется для предотвращения коррозии трубопроводов, а также как предварительный фильтр перед микрофильтром. Установка фильтра такого класса позволяет обеспечить 2 класс чистоты по твердым частицам и 2 класс чистоты по содержанию масла.

3. Микрофильтр — маслоулавливающий фильтр, который задерживает остатки масла и микрочастицы размером свыше 0,01 мкм. Максимальное остаточное содержание масла на выходе из фильтра 0,01 мг/м^3. Используется для защиты систем пневмоуправления, в пневмотранспорте и при покраске. Установка фильтра такого класса позволяет обеспечить 1 класс чистоты по твердым частицам и 1 класс чистоты по содержанию масла.

4. Фильтр на основе активированного угля — угольный фильтр для устранения паров и запахов масла. Максимальное остаточное содержание масла на выходе из фильтра не превышает 0,003 мг/м^3. Используется в фармацевтической промышленности, в стоматологии, в пищевой промышленности, системах упаковки.

Для достижения высокого качества воздуха, а также для продления срока службы сменных фильтрующих элементов рекомендуется устанавливать эти фильтры последовательно.

Более подробно с методикой выбора необходимых типоразмеров фильтров, а также с рекомендациями по их установке в зависимости от требований к чистоте сжатого воздуха можно ознакомиться на **www.fiak.ru**.

Глава 4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Для распределения сжатого воздуха и доставки его от компрессорного оборудования до потребителей используются пневматической магистрали. Проектирование магистрали осуществляется в соответствии с приведенными ниже рекомендациями.

1. Пневматическая магистраль должна по возможности образовывать замкнутый контур. Это уменьшает падение давления в наиболее отдаленных точках трубопровода. Пневматическое оборудование с более высоким рабочим давлением желательно располагать как можно ближе к компрессору.

2. Если магистраль не удается полностью закольцевать, или при проектировании получается достаточно длинный прямолинейный участок трубопровода с мощным потребителем сжатого воздуха в конце участка, то этот потребитель может быть подключен к магистрали через небольшой дополнительный ресивер — это уменьшит падение давления в магистрали.



3. Основная магистраль прокладывается с уклоном не менее 2° для обеспечения слива конденсата. В «низких» точках магистрали для этой же цели устанавливаются дренажные краны (их можно в случае необходимости оборудовать автоматическими конденсатоотводчиками).

4. Пневматическая магистраль должна быть снабжена несколькими так называемыми «магистральными кранами», которые позволят, в случае необходимости, отключить отдельные участки трубопровода, например, при проведении его обслуживания. Кроме того, попеременное отключение участков иногда позволяет определить на каждом из них действительное потребление сжатого воздуха и величину воздушных утечек.

5. Трубопроводы следует прокладывать на стене, на потолке — то есть в доступной для обслуживания зоне. Не рекомендуется прокладка под полом и в земле по причине возможного образования конденсата.

6. Желательно учесть возможность дальнейшего расширения производства и сразу предусмотреть для этого несколько резервных пневмоточек.

7. Окончательную подготовку воздуха рекомендуется производить непосредственно перед потребителями. Для этой цели используются влагома-

слоотделительные фильтры (для удаления влаги, масла и твердых частиц), регуляторы давления (для установки необходимого рабочего давления) и дозаторы смазки или лубрикаторы (для обеспечения подачи необходимого количества смазки). Лубрикатор должен располагаться на расстоянии не более 10 м от потребителя, иначе распыленное масло может осесть на стенках магистрали или гибкого шланга. Оптимальная длина гибкого шланга 5–6 метров.



8. Каждая пневмоточка оборудуется запорным краном перед устройством подготовки воздуха. Это упрощает его дальнейшее обслуживание и позволяет оперативно отключить весь участок в случае возникновения каких-либо проблем.

9. Для удобства работы на выходе из устройств подготовки воздуха устанавливаются быстросъемные разъемы.

На *рис. 9* представлена схема пневматической магистрали, разработанная в соответствии с рассмотренными выше рекомендациями.

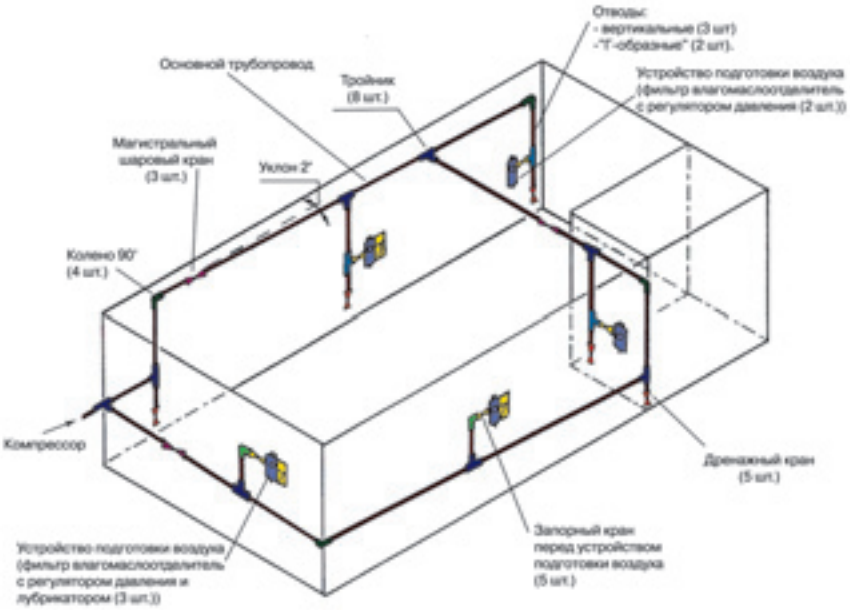


Рис. 9.

После разработки проекта определяют диаметр основного трубопровода. Для решения этой задачи, как правило, используются специальные номограммы или таблицы, приведенные в справочной литературе. Зная предполагаемую длину трубопровода и расход воздуха по номограмме легко определить интересующую нас величину.

Есть еще один широко используемый способ определения диаметра основного трубопровода. Как известно, падение давления при движении сжатого воздуха в трубе зависит от длины трубы (путевые потери) и от количества установленных фитингов, кранов и т.п. (местные потери). И этот способ предполагает учет потерь от каждого «местного сопротивления» методом эквивалентной длины трубы. Иными словами, существуют зависимости, показывающие сколько метров необходимо дополнительно добавить к длине прямолинейного участка трубопровода при установке каждого фитинга, крана. В этом случае расчет проводится так — по длине трубопровода и расходу воздуха из таблицы выбирается первоначальный диаметр основной трубы. Далее производится подсчет всех фитингов. При помощи таблицы перевода определяется, на сколько необходимо увеличить длину основного трубопровода.

Для определения диаметра трубопровода в зависимости от его длины и от расхода воздуха можно воспользоваться *табл. 5*. Здесь приведены значения диаметра при условии рабочего давления в трубопроводе 8 бар и падения давления 0,1 бар на каждые 100 м трубопровода.

Таблица 5.

Расход воздуха, л/мин	**Длина основного трубопровода, м**						
	50	**75**	**100**	**150**	**200**	**250**	**300**
100	½"	½"	½"				
300	½"	¾"	¾"	¾"			
500	¾"	¾"	1"	1"	1"	1"	1"
750	¾"	1"	1"	1"	1¼"	1¼"	1¼"
1000	1"	1"	1"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"
1500	1"	1¼"	1¼"	1¼"	1½"	1½"	1½"
2000	1¼"	1¼"	1¼"	1½"	1½"	1½"	1½"
2500	1¼"	1¼"	1½"	1½"	1½"	2"	2"

Затем производится подсчет фитингов и соответствующих эквивалентных длин. Значения эквивалентных длин для некоторых фитингов приведены в *табл. 6.*

Таблица 6.

Диаметр трубы, дюйм	Эквивалентная длина трубы, м			
	Колено 90°	Колено 45°	Тройник	Шаровой кран
½"	0,3	0,15	0,1	2
¾"	0,4	0,2	0,15	4
1"	0,5	0,25	0,2	6
1¼"	0,6	0,3	0,25	8
1½"	0,8	0,4	0,35	10
2"	0,9	0,5	0,45	15

После окончательного выбора диаметра основной трубы определяют диаметры отводов для подключения пневмооборудования. Для этого служит *табл. 7*, в которой указаны максимальные значения пропускной способности для отводов различной длины и диаметра.

Таблица 7.

Диаметр трубы, дюйм	Пропускная способность (л/мин) при длине отвода не более	
	1 м	5 м
⅜"	380	230
½"	1200	770
¾"	1980	1380
1"	3000	2160

Выполнив эти расчеты, приступают к монтажу.

Более подробно с особенностями проектирования и расчета пневматических магистралей, а также с технологией монтажа можно ознакомиться на **www.fiak.ru**.

Глава 5

ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Компрессорная станция — это «цепочка» оборудования для производства, хранения и подготовки (осушки и очистки) сжатого воздуха в соответствии с требованиями технологического процесса.

Основными критериями, определяющими комплектность компрессорной станции, являются:

— максимальное рабочее давление,
— чистота (качество) сжатого воздуха,
— объемный расход воздуха.

Рассмотрим следующий пример построения компрессорной станции.

Предположим, что автосервис планирует организовать участок покраски и оснастить его покрасочно-сушильной камерой (где будет использоваться один краскопульт) и двумя постами подготовки с использованием пневмоинструмента (шлифовальных и полировальных машинок).

Требуется подобрать оборудование для обеспечения производства сжатым воздухом.

Порядок выбора оборудования может быть следующим.

1. **Выбор максимального рабочего давления.**

Для работы каждого потребителя необходимо следующее давление:

— краскопульт — 2,5...4 бар;
— пневмоинструмент — 6 бар.

Выбрав компрессор с P max = 8 бар (P min = 6 бар) и установив после него дополнительное оборудования для осушки-очистки воздуха, которое обязательно вызовет определенное падение давления, мы можем не получить необходимые 6 бар на пневмоинструменте. Поэтому остановимся на компрессоре с P max = 10 бар.

2. **Обеспечение необходимого качества воздуха.**

Требования к качеству воздуха приведем в *табл. 8.*

Таблица 8.

Потребитель	*Класс чистоты по DIN ISO 8573-1*		
	Частицы	*Температура точки росы*	*Масло*
1. Пневмоинструмент	2	4	2
2. Краскопульт	1	4	1

Обеспечить указанное качество воздуха позволит следующий комплект оборудования:

— класс 2.4.2. — фильтр FQ, осушитель рефрижераторного типа с температурой точки росы +3°C, фильтр FP;
— класс 1.4.1. — фильтр FQ, осушитель рефрижераторного типа с температурой точки росы +3°C, фильтр FP, фильтр FD.

3. **Определение необходимого расхода воздуха.**

Расход воздуха каждого из потребителей составит (воспользуемся паспортными данными):

— краскопульт ... 350 л/мин;
— пневмоинструмент ... 450 л/мин.

Примем коэффициент использования оборудования равным 0,6.

В этом случае, общее потребление воздуха составит:

$$Q = (350 + 450 \times 2) \times 0{,}6 = 750 \text{ л/мин.}$$

Умножая это значение на соответствующий коэффициент синхронности работы оборудования, и учитывая 15% запас на утечки и возможное расширение производства, получим реальный расход воздуха:

$$Q_{реал} = (750 \times 0{,}91) + 15\% = 785 \text{ л/мин.}$$

Далее, зная расход воздуха, количество потребителей и режим работы, выберем тип компрессора — поршневой или винтовой. Если режим работы односменный (не более 8–10 часов), то остановимся на промышленном поршневом компрессоре. Если же режим работы двухсменный или круглосуточный, то решение проблемы только винтовой компрессор. Рассмотрим подробнее каждый из вариантов.

При выборе поршневого компрессора, рассчитаем с учетом расхода воздуха его теоретическую производительность (производительность на всасывании):

$$Q_{теор} = 785 / 0{,}75 = 1046{,}5 \text{ л/мин,}$$

где 0,75 — коэффициент производительности компрессорной головки.

Увеличивая полученное значение на 25% (запас по производительности) получим, что необходим компрессор с производительностью на всасывании около 1308 л/мин.

В каталоге компрессоров ФИАК мы найдем компрессор АВТ 500/1350 с интересующей нас производительностью на всасывании 1300 л/мин.

Проверим на соответствие объем ресивера. Ресивер выполняет следующие основные функции: охлаждение сжатого воздуха, сглаживание воздушных пульсаций, создание резерва сжатого воздуха. Выбор объема ресивера осуществляется на основании предполагаемого характера воздухопотре-

бления. Если оно равномерно, можно использовать ресивер меньшего объема, если возможны пиковые нагрузки, выбирается больший объем.

В общем случае, используется формула:

$$V_{рес} = Q_{реал} \times t / (P\ max - P\ min),$$

где $V_{рес}$ — объем ресивера,

$Q_{реал}$ — реальный расход воздуха,

t — время, за которое давление в ресивере падает с $P\ max$ до $P\ min$.

Время t — один из важнейших показателей, влияющих на работу компрессора. Если t мало (менее 1 мин), то у компрессора не будет времени на эффективное охлаждение поршневой головки. Оптимальное значение t = 1,5...3 мин.

В нашем случае объем равен 500 л, разница между P max и P min составляет 2 бар. Тогда:

$$t = V_{рес} \times 60 \times (P\ max - P\ min) / Q_{реал} = 500 \times 60 \times 2 / 785 = 76\ с = 1{,}25\ мин.$$

Следующий элемент компрессорной станции — система подготовки сжатого воздуха. Нам необходимо подобрать оборудование для обеспечения классов чистоты сжатого воздуха 2.4.2. и 1.4.1. (ISO 8573-1). Требуемый класс чистоты обеспечивается установкой осушителя рефрижераторного типа и комплекта микрофильтров.

Выбор осушителя осуществляется с учетом реальных рабочих условий — давления сжатого воздуха на входе в осушитель, температуры сжатого воздуха на входе в осушитель и температуры окружающей среды. Для этого используют специальные таблицы корректирующих коэффициентов.



Предположим, что рабочие условия следующие: давление 8 бар, температура окружающей среды +25°С, температура воздуха на входе в осушитель +45°С. При этом необходимо обеспечить температуру точки росы +3°С.

В этом случае производительность осушителя для эффективной осушки сжатого воздуха после компрессора АВТ 500/1300 должна составлять не менее:

$$Q осуш = 1040 / (1{,}06 \times 1 \times 0{,}67 \times 1) = 1464\ л/мин,$$

где 1040 л/мин — реальная производительность компрессора.

Учитывая, что реальная температура сжатого воздуха на входе в осушитель после поршневого компрессора может значительно превышать +45°С (она достигает +100°С), осушитель должен быть еще более мощным.

Для снижения температуры сжатого воздуха на входе в осушитель перед ним устанавливается воздушный охладитель. Охладитель представляет собой теплообменник, составленный из медных трубок с оребрением из алюминия. Поток охлаждающего воздуха принудительно создает осевой вентилятор. Теплообменник позволяет охлаждать сжатый воздух с максимальной входящей температурой до +170°С и с максимальным рабочим давлением 15 бар. При этом температура воздуха на выходе из охладителя составляет примерно на +10°С выше температуры окружающей среды.

Для удаления конденсата после охладителя используется сепаратор циклонного типа.

Установив перед осушителем охладитель и обеспечив температуру воздуха на входе в осушитель +35°С, выбор осушителя можно осуществить так:

$$Qосуш = 1040 / (1{,}06 \times 1 \times 1 \times 1) = 981 \text{ л/мин},$$

то есть его производительность для номинальных условий (указанная в паспорте) должна быть не менее 981 л/мин.

Выбираем осушитель TDRY 12 с номинальной производительностью 1200 л/мин.

Далее, точно также с помощью таблицы поправочных коэффициентов осуществляется подбор фильтров. Для установки после компрессора ABT 500/1350 подходят фильтры FQ 1000, FP 1000 и FD 1000.

Таким образом, окончательный вид компрессорной станции для обеспечения рассматриваемого покрасочного участка таков: поршневой компрессор ABT 500/1300 — воздушный охладитель с циклонным сепаратором конденсата — фильтр предварительной очистки FQ 1000 — осушитель рефрижераторного типа TDRY 12 — фильтр тонкой очистки FP 1000. После этой цепочки оборудования подключается пневмоинструмент. А непосредственно перед краскопультом дополнительно устанавливается фильтр FD 1000.

Рассмотрим этот же пример исходя из предположения, что режим работы автосервиса двухсменный, и ежедневная загрузка компрессора составляет не менее 16 часов. Как уже говорилось выше, в этом случае оптимальное решение вопроса — использование винтового компрессора.

Выбирая винтовой компрессор можно руководствоваться изложенными выше рекомендациями по построению компрессорной станции с использованием поршневого компрессора, а именно рекомендациями по выбору максимального рабочего давления и по обеспечению необходимого качества воздуха. А вот в определении необходимой производительности винтового компрессора есть существенные различия.

Под производительностью винтового компрессора понимают объемную производительность равную объему воздуха производимого в единицу времени. С учетом довольно высокого КПД винтового блока (свыше 90%) при выборе производительности вполне можно воспользоваться данными, приведенными в технической характеристике компрессора.

Возвращаясь еще раз к нашему примеру, вспомним, что мы получили реальный расход воздуха равный 785 л/мин.

В этом случае производительность винтового компрессора должна составлять не менее:

$$Q = 785 / 0{,}95 = 826 \text{ л/мин},$$

где 0,95 — КПД винтового блока.

Увеличивая полученное значение на 15% (запас по производительности), определим, что нам необходим винтовой компрессор с производительностью порядка 950 л/мин.

В каталоге компрессорного оборудования ФИАК мы найдем целый ряд компрессоров с интересующей нас производительностью, отличающихся по конструктивному исполнению:

— компрессор без ресивера (так называемое «рамное» исполнение) — модель CRS 10;

— компрессор, смонтированный на горизонтальном ресивере — модели CRS 10/300, CRS 10/500;

— компрессор, смонтированный на горизонтальном ресивере со встроенным осушителем рефрижераторного типа и комплектом из двух микрофильтров 1 мкм и 0,01 мкм или, как его еще называют, компрессорная станция «все в одном» для производства сухого сжатого воздуха класса 1.4.1. (ISO 8573-1) — модели CRSD 10/300 и CRSD 10/500;

— компрессор без ресивера (на раме) со встроенным осушителем рефрижераторного типа и комплектом микрофильтров для производства сухого сжатого воздуха класса 1.4.1. (ISO 8573-1) — модель CRSD 10.

Чему отдать предпочтение? Рассмотрим подробнее каждый из вариантов.

Оптимальный вариант — компрессорная станция «все в одном». Установка этого компрессора не потребует «обвязки» оборудования, единственное, что надо будет сделать — подвести электропитание и подключить компрессор к пневмомагистрали.



Несколько отличается от этого варианта вариант с использованием «рамного» компрессора со встроенным осушителем рефрижераторного типа и комплектом микрофильтров. В этом случае потребуется установка дополнительного ресивера.

Сравнивая этот вариант с вариантом рассмотренным выше, можно отметить еще одну техническую особенность, относящуюся и к компрессорным станциям с использованием поршневого компрессора.

Существуют два варианта построения компрессорных станций:

— первый, когда осушитель рефрижераторного типа устанавливается после ресивера — этот вариант используется, когда потребление воздуха равномерное;

— второй, когда осушитель рефрижераторного типа устанавливается до ресивера — этот вариант используется при неравномерном потреблении воздуха, когда в отдельные моменты возможно потребление, превышающее производительность компрессора.

Компрессоры типа CRSD 10/300 имеют конструктивное исполнение по первому варианту, а в случае с CRSD 10 и отдельно стоящим ресивером получится второй вариант. Поэтому выбор компрессора во многом зависит от особенностей производства и, в первую очередь, от характера потребления сжатого воздуха.

При выборе компрессоров типа CRS 10 и CRS 10/300 каждый из них должен быть оснащен оборудованием для осушки-очистки сжатого воздуха: фильтром предварительной очистки FQ 1000, осушителем рефрижераторного типа TDRY 12, фильтром тонкой очистки FP 1000, фильтром FD 1000.

При использовании компрессора CRS 10 необходимо установить после него ресивер. При выборе объема ресивера можно воспользоваться следующим универсальным правилом — объем ресивера должен составлять 30% от объемной производительности компрессора. То есть для компрессора с производительностью 1000 л/мин необходим ресивер объемом 300 л. Для винтовых компрессоров очень важно, чтобы ресивер имел такой объем, который предотвратит слишком частые запуски и остановы компрессора. Оптимальным считается число пусков не более 10 раз в час. При более частых включениях объем ресивера необходимо увеличить.

Основной недостаток вариантов с использованием компрессоров CRSD 10, CRS 10 и CRS 10/300 в том, что потребуется проведение дополнительных работ по «обвязке» оборудования. Объем работ различен и зависит от модели компрессора — минимальный при использовании CRSD 10, максимальный при использовании CRS 10.

Таким образом, универсального совета по выбору винтового компрессора не существует, все зависит от особенностей производства.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

«Если рассмотреть самое дешевое предложение, полезно добавить к нему немного, чтобы учесть риск. Когда Вы сделаете это, окажется, что у Вас есть достаточная сумма, чтобы купить кое-что получше».

John Ruskin (Джон Раскин, 1819–1900 гг.)

В заключение, хотелось бы остановиться на коммерческих аспектах выбора компрессорного оборудования. Это вызывает определенные трудности у технических специалистов и руководителей промышленных предприятий: действительно, чем руководствоваться, как правильно оценить альтернативные предложения разных поставщиков?

На первый взгляд все довольно просто: у компрессора два основных параметра производительность и максимальное давление. Исходя из этих двух параметров, выбирается модель компрессора, его тип (поршневой или винтовой), а затем сравниваются цены различных производителей, и приобретается оборудование у того, кто дает ниже цены. Но в этом случае, к сожалению, упускаются другие параметры, которые при их учете могли бы оказать серьезное влияние на принятие решения о покупке. Например, могут возникнуть трудности после установки компрессора, когда выяснятся дополнительные нюансы о стоимости подключения, технического обслуживания, запасных частей или надежности оборудования. Начнут беспокоить вопросы: а что произойдет, если компрессор выйдет из строя; кто, как, когда и в какие сроки будет его ремонтировать?

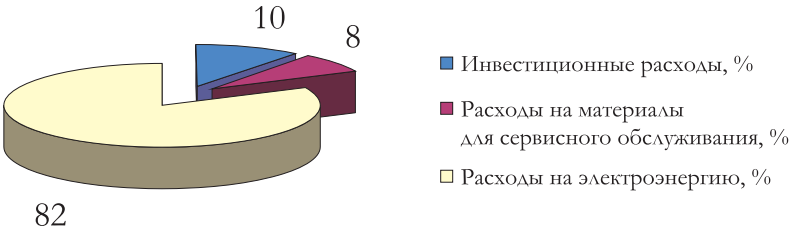
Давайте рассмотрим критерии, которые потенциальный покупатель может учитывать при выборе компрессорного оборудования, и на что при этом следует обращать особое внимание. А вот какие из указанных критериев принимать в расчет, а какие нет — решать ему самому.

Цена.

Большинство покупателей считает данный критерий самым важным, особенно если речь идет о выборе оборудования с близкими техническими характеристиками. Однако не следует подходить к проблеме цены слишком упрощенно. Потребитель должен четко представлять, во-первых, что входит в цену — только сам компрессор или компрессор с доставкой и установкой, с системой очистки и т.п.; во-вторых, что именно для него представляет ценность, за что он готов платить деньги. Это может быть предполага-

емая надежность оборудования, качество сжатого воздуха, возможность экономии электроэнергии и др.

При оценке стоимости оборудования следует учитывать не только его цену, то есть то, что Вы заплатили за компрессор сегодня, но и во что обойдется его эксплуатация в течение достаточно длительного времени, например, в течение 5-ти лет. В эту стоимость войдет не только цена, но и доставка, установка, подключение, обучение персонала, энергопотребление, стоимость технического обслуживания, ремонта и т.д.



Условия оплаты.

В данном случае все довольно просто. Если у покупателя есть свободные финансы и отсутствует острая необходимость в немедленной поставке оборудования, то лучше сделать предоплату и ждать, когда оборудование будет поставлено. За предоплату, безусловно, можно было бы попросить дополнительную скидку. Как правило, в реальной жизни свободных финансов нет, а компрессор нужен здесь и сейчас.

В данном случае приходится брать его у того продавца, у которого он имеется в наличии, при этом предпочтительнее покупать его с отсрочкой платежа. Действительно, всегда выгоднее прибрести компрессор в кредит, ведь за то время, пока Вы рассчитываетесь за оборудование, оно работает, а следовательно, приносит прибыль.

Условия доставки.

Прежде всего, надо определиться, готов ли взять на себя продавец вопросы доставки груза либо покупателю самому придется решать этот вопрос, что не всегда удобно. Следует учитывать и стоимость доставки при сравнении цен на оборудование. Если продавец и покупатель находятся в разных городах, то транспортные расходы включают в себя доставку от склада продавца до транспортной компании, стоимость перевозки от одного города до другого и наконец, доставку в пределах города покупателя.

Срок поставки.

Данный критерий может быть одним из основных, если существует жесткая привязка поставки оборудования к определенной дате. В этом случае ваш выбор поставщиков ограничивается теми, кто может гарантировать

выполнения данного требования. Если такой жесткой привязки нет, то вопрос срока поставки зависит от условий оплаты: требуется ли предоплата и в каком размере?

Комплектность.

Если компрессор и дополнительные устройства подготовки воздуха (-фильтр, ресивер, осушитель и др.) приобретаются в одном месте, то покупатель получает определенное преимущество.

Во-первых, он может рассчитывать на дополнительную скидку, а во-вторых, вопросы техобслуживания и ремонта решаются с одним и тем же поставщиком, что экономит время и деньги.

Надежность.

Пожалуй, один из важнейших, но наиболее трудно оцениваемый критерий. На надежность может косвенно влиять очень много факторов, например, страна-производитель оборудования или его комплектующих (Европа, Америка, Россия). К сожалению, даже известные марки могут собираться в странах третьего мира, что часто не лучшим образом сказывается на их качестве. Лучше всего, конечно, поговорить с несколькими пользователями данного компрессорного оборудования. Обязательно запросите референц-лист у продавца, а если такого нет, то это повод задуматься.

Срок службы.

Каждый покупатель хотел бы получить информацию о сроке службы компрессорного оборудования. Однако получить ее практически невозможно. Думается, просто не следует доверять голословным заявлениям продавцов, слишком уж много бывает спекуляций по этому поводу. Лучше всего, как и при оценке надежности, опираться на отзывы пользователей компрессорного оборудования.



Потребление электроэнергии.

Экономия электроэнергии становится все более актуальной для российских предприятий. В качестве универсального средства решения этой проблемы продавцы чаще всего предлагают приобрести компрессор с инвертором. Такой компрессор стоит существенно дороже, но в течение срока эксплуатации разница в цене окупается за счет экономии электроэнергии. Следует обратить внимание на следующие моменты:

— размер экономии существенно зависит от режима эксплуатации оборудования;

— производители стремятся завышать размер экономии электроэнергии и занижать сроки окупаемости компрессора с инвертором;

— инвертор не единственный способ экономии, существуют и другие способы снижения энергопотребления. Прежде всего, это отказ от централизованной компрессорной станции и установка компрессоров непосредственно на производственных участках. Снижение энергопотребления дает также и применение производителем электродвигателей нового поколения, соответствующего стандартам eff1, eff2, eff3.



Условия эксплуатации.

Как правило, все современные компрессоры работают в автоматическом режиме и не требуют присутствия оператора. Большинство винтовых компрессоров оснащены также электронным программируемым блоком управления. Не стоит, правда, переоценивать значение указанного блока, поскольку большинство регулируемых параметров доступно только специалистам сервисного центра продавца.

Монтаж и подключение.

При рассмотрении цены всегда необходимо уточнять условия подключения оборудования:

— существуют ли специальные требования к монтажу? Если да, то кто и как его проводит? Сколько это стоит?

— возможно ли подключение оборудования самостоятельно покупателем или обязательно присутствие продавца? Какова стоимость подключения?

Некоторые фирмы декларируют бесплатное подключение, но при этом требуют плату за выезд своего специалиста, в противном случае аннулируется гарантия на оборудование.

Условия гарантии.

Все производители компрессорного оборудования предоставляют гарантию на свою продукцию как минимум 12 месяцев. При этом условия предоставления гарантии могут быть различны, и это необходимо уточнять у продавца. Например, под гарантией может пониматься только бесплатная замена запасных частей, признанных дефектными по вине производителя. Реально это означает, что работа механиков по гарантийному ремонту должна оплачиваться дополнительно, к тому же может возникнуть необходимость передать дефектную деталь производителю и ждать его решения. Некоторые компании осуществляют бесплатный ремонт и замену неисправных узлов, но при этом требуют оплату за выезд специалиста.

Срок гарантии.

Срок гарантии, предлагаемой разными компаниями, колеблется от 1 до 5 лет. На первый взгляд 5-летняя гарантия явно предпочтительней. Но при этом следует иметь в виду несколько важных моментов, а именно:

— компрессоры, имеющие гарантию более одного года, как правило, дороже. Другими словами, производитель закладывает в стоимость компрессора и вероятность последующего гарантийного ремонта;

— после 12 месяцев условия гарантии могут распространяться не на весь компрессор, а только на отдельные узлы;

— при длительных сроках гарантии продавец, как правило, накладывает определенные ограничения на подключение и техническое обслуживание оборудования.

Наиболее распространенная в этом случае схема такова:

— подключение только силами продавца (платная услуга);

— техническое обслуживание только специалистами продавца (за дополнительную плату);

— приобретение только оригинальных расходных материалов и только в сервисном центре продавца, следовательно продавец может установить цены на расходные материалы в несколько раз выше их себестоимости.

Таким образом, при приобретении оборудования с длительным сроком гарантии следует учитывать его первоначальную стоимость, а также просчитать, во что обойдется его эксплуатация и техническое обслуживание в течение гарантийного срока (довольно часто эта цифра приближается и даже превосходит стоимость самого компрессора).

Стоимость технического обслуживания.

На стоимость технического обслуживания влияет:
— стоимость расходных материалов;
— интервалы регламентных работ;
— стоимость услуг сервисного центра продавца на проведение технического обслуживания компрессора (некоторые компании допускают самостоятельное обслуживание своего оборудования, а некоторые — нет).



Рекомендуется получить от продавца объем и интервалы регламентных работ не только на ТО-1, но и на последующие 2–3 года эксплуатации, и, конечно, цены на расходные материалы.

Время на проведение ремонта.

Любое самое совершенное оборудование выходит из строя, и покупатель должен это учитывать. Оптимальным вариантом является наличие резервного источника сжатого воздуха. Если же такое решение представляется слишком дорогим, то решающее значение приобретает время на проведение ремонта.

Время ремонта зависит от 2-х основных параметров:
— мобильности и организованности центра технического обслуживания продавца;
— наличия запасных частей на складе (если деталь придется заказывать у производителя, то время ремонта существенно увеличивается).

Стоимость ремонта.

В послегарантийный период стоимость ремонта состоит из 2-х составляющих: стоимости запасных частей и стоимости работы представителя продавца на его проведение. Для оценки возможных расходов покупателю следует запросить цены на основные узлы и детали компрессора, а также выяснить, как и по каким ставкам осуществляется выезд специалиста для проведения ремонта.

Как видите, критериев принятия решения довольно много. В конечном счете, только сами покупатели могут определить, что для них важнее. Одни могут предпочесть наиболее экономичное решение на момент приобретения оборудования, другие учтут затраты на более или менее длительный период эксплуатации компрессоров, а кто-то решит полностью отдать заботу о своем оборудовании продавцу.

fiac
AIR COMPRESSORS

ВИНТОВЫЕ КОМПРЕССОРЫ

- Простота монтажа и технического обслуживания
- Высокое качество сжатого воздуха
- Удобство эксплуатации
- Экономичность
- Надежность



ООО «АИРГРУПП»:
107553, Москва,
ул. Б. Черкизовская, д. 24-А
тел./факс: (495) 926-78-06
e-mail: info@fiak.ru
www.fiak.ru

Авторы:



Краснов Дмитрий
технический директор ООО «Аиргрупп»; компрессорным оборудованием занимается с 2001 г.
Главный редактор информационного бюллетеня «Компрессоры и Пневматика» (с 2005 г.). Автор около 20 статей, опубликованных в журналах «Правильный автосервис», «СтройТех Эксперт», «Мебельщик», «ТехСовет», «Полимеры-Деньги», «Промышленная окраска».



Савельев Игорь
работает на рынке компрессорного оборудования с 1995 года. Начинал в качестве менеджера по продажам, впоследствии «дослужился» до руководителя фирмы. Принимал активное участие в создании информационного бюллетеня «Компрессоры и Пневматика».
Главный редактор «КиП» с 2003 по 2005 года.