

Тема 7. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И УСТАНОВОК

1. Компрессоры холодильных машин
2. Теплообменные аппараты холодильных машин
3. Холодильные агрегаты

1. КОМПРЕССОРЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Компрессор холодильной машины обеспечивает сжатие паров холодильного агента, что является физически неотъемлемой частью процесса последующей конденсации холодильного агента в конденсаторе, создает в испарителе низкое давление и связанную с этим низкую температуру кипения, обеспечивает перемещение холодильного агента по всем элементам холодильной машины.

Классификация компрессоров

Компрессоры отличаются принципом действия, холодопроизводительностью, конструктивными признаками.

По принципу действия компрессоры разделяют на поршневые, ротационные, спиральные, винтовые, центробежные.

По холодопроизводительности компрессоры подразделяют на компрессоры малой холодопроизводительности (до 12 кВт), средней холодопроизводительности (от 12 до 90 кВт), большой холодопроизводительности (свыше 90 кВт). Холодопроизводительность компрессоров устанавливают при номинальном температурном режиме работы.

По конструкции компрессоры подразделяют на одноступенчатые или многоступенчатые (двух- и трехступенчатые).

По степени герметичности компрессоры делятся на открытые или сальниковые (электродвигатель соединяется с валом компрессора муфтой или клиноременной передачей), бессальниковые или разъемные, которые в ряде случаев не совсем корректно называются полугерметичными, герметичные. В герметичных компрессорах компрессор и электродвигатель размещаются в общем герметичном сварном неразъемном корпусе.

Поршневые компрессоры

Поршневые компрессоры (рис. 1) являются наиболее распространенным типом компрессоров.

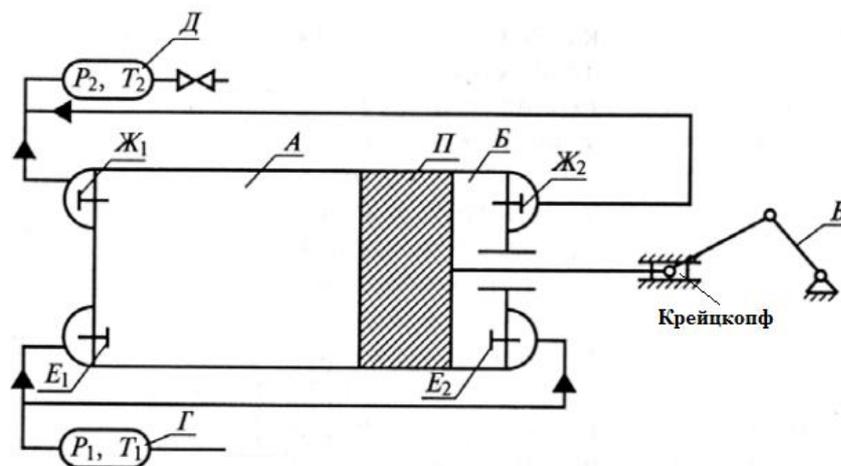


Рис. 1. Схема поршневого крейцкопфного компрессора двойного действия:
А и Б – рабочие полости цилиндра; В – шатун; Г – фильтр-осушитель; Д – ресивер;
Е₁ и Е₂ – всасывающие клапаны; Ж₁ и Ж₂ – нагнетательные клапаны; П – поршень

Для обозначения компрессоров принята буквенно-цифровая индексация:

- **первая буква** в названии компрессора определяет хладагент, для которого предназначен компрессор (Ф — хладон (фреон), А — аммиак);

- **вторая буква** — расположение цилиндров (В — вертикальное, У — V-образное, УУ — W-образное, или веерообразное).

- **цифра**, стоящая за буквами в обозначении компрессора, отражает холодопроизводительность, выраженную в тысячах килокалорий в час ($1 \text{ ккал/ч} = 1,163 \text{ Вт}$).

Для бессальниковых компрессоров в обозначение вводят буквы БС (например, ФВБС6) или ПБ (например ПБ7).

Герметичные компрессоры в буквенной части названия имеют буквы Г (например ФГС, ФГЭС, ФГРС).

Герметичные компрессоры отличаются конструктивными особенностями. Название компрессоров заключено в условном обозначении: ФГ — компрессор герметичный, ФГЭ — компрессор герметичный с экранированным ротором, ФГР — компрессор герметичный роторный.

Герметичные компрессоры отличаются температурным режимом и частотой (скоростью) вращения вала электродвигателя (25 с^{-1} ; 50 с^{-1}).

По температурному режиму герметичные компрессоры подразделяют на среднетемпературные (С), низкотемпературные (Н), высокотемпературные (В).

Отличительной особенностью герметичных компрессоров является их «чувствительность» к утечке холодильного агента из холодильной машины. Холодильный агент может выйти из холодильной машины через неплотности в сальниковых уплотнениях на всасывающем и нагнетательном вентилях, через неплотности в ниппельных соединениях трубопроводов с элементами холодильной машины (испарителем, ресивером) и т. д. Таким образом, достаточно совершенная конструкция герметичного компрессора, объединенного в холодильной машине с другими элементами посредством трубопроводов и ниппельных соединений, нуждается в высокой технической культуре обслуживания, в тщательном контроле всех соединений элементов холодильной машины. В противном случае при утечке холодильного агента возможно сгорание обмотки электродвигателя компрессора.

Роторно-пластинчатые компрессоры

По характеру движения ротора роторно-пластинчатые (лопастные) компрессоры разделяют на две основные группы: с катящимся ротором и с вращающимся ротором (рис. 2 и 3).

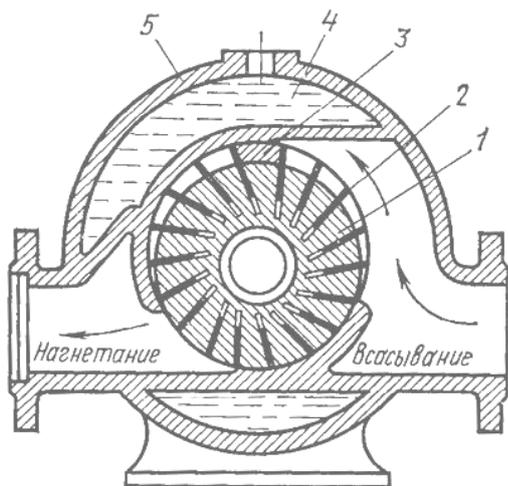


Рис. 2. Роторно-пластинчатый компрессор с вращающимся ротором:

1 — ротор; 2 — пластины; 3 — объем сжимаемого газа; 4 — водяная рубашка; 5 — корпус

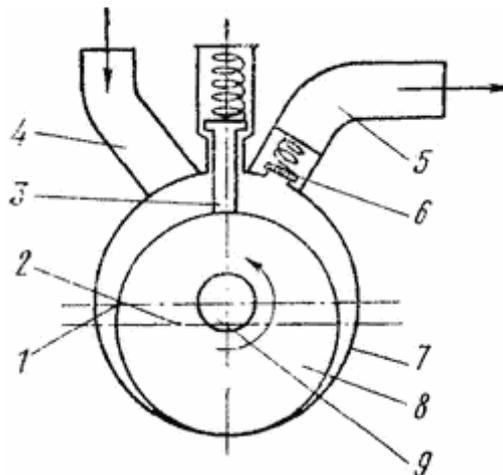


Рис. 3. Лопастной компрессор с катящимся ротором:

1 — ось цилиндра; 2 — ось ротора; 3 — лопасть; 4 — всасывающий патрубок; 5 — нагнетательный патрубок; 6 — нагнетательный клапан; 7 — цилиндр; 8 — ротор; 9 — вал

Ротационные компрессоры более уравновешены, чем поршневые, поскольку у них нет кривошипно-шатунного механизма, совершающего возвратно-поступательное движение. Кроме того, они не имеют всасывающих клапанов и могут работать при больших частотах вращения вала. Габариты ротационных компрессоров невелики.

Ротационные компрессоры используют в основном в установках большой холодопроизводительности в качестве ступеней низкого давления в агрегатах двухступенчатого сжатия. Но выпускают и герметичные компрессоры небольшой холодопроизводительности.

Спиральные компрессоры

Спиральный компрессор состоит из двух спиралей — неподвижной и подвижной (рис. 4).

Одна из спиралей, связанная с эксцентриковым валом, совершает плоскопараллельное орбитальное движение. Вторая спираль закреплена неподвижно относительно корпуса компрессора. В процессе работы пар всасывается с периферии и перемещается к центру, испытывая повышение давления и температуры из-за уменьшения объема полости, и в конце процесса сжатия через нагнетательное отверстие в центре выводится из компрессора.



Рис. 4. Рабочий орган и схема спирального компрессора

Количество движущихся частей спирального компрессора сравнительно с поршневым компрессором снижено на 80% (с 15 у поршневого до 3 у спирального).

Движущаяся спираль совершает плавное движение, так как она хорошо сбалансирована. Поэтому движение потока на всасывании и нагнетании имеет непрерывный характер, что обеспечивает практически бесшумную работу компрессора. Он в 8 раз «тише», чем поршневой аналог.

Спиральный компрессор не боится «влажного хода», а равным образом и механических примесей. Пуск компрессора происходит без нагрузки, поэтому не требует специального вспомогательного пускового устройства.

Спиральные компрессоры имеют наименьший процент отказов по сравнению с компрессорами любых других типов, в силу чего их по праву считают «вечными».

Относительным «недостатком» компрессора является необходимость его изготовления на станках с ЧПУ, поскольку спиральный компрессор — это техническая конструкция очень высокого технологического уровня и организации производства.

Винтовые компрессоры

Винтовые компрессоры — компрессоры объемного типа, основу которых составляют два ротора (оба с зубчато-винтовыми лопастями): ведущий и ведомый, расположенные в корпусе (рис. 5).

Винтовые впадины роторов, проходя мимо всасывающего окна, заполняются газообразным холодильным агентом. При дальнейшем вращении роторов газ сжимается, так как зубья одного ротора входят во впадины другого и при этом уменьшается объем, занимаемый газом. К концу сжатия впадины со сжатым газом объединяются с нагнетательным окном.

Пар движется в осевом и радиальном направлениях. Сжатие пара продолжается до тех пор, пока полость между выступом и впадиной не достигнет нагнетательного окна в цилиндре.

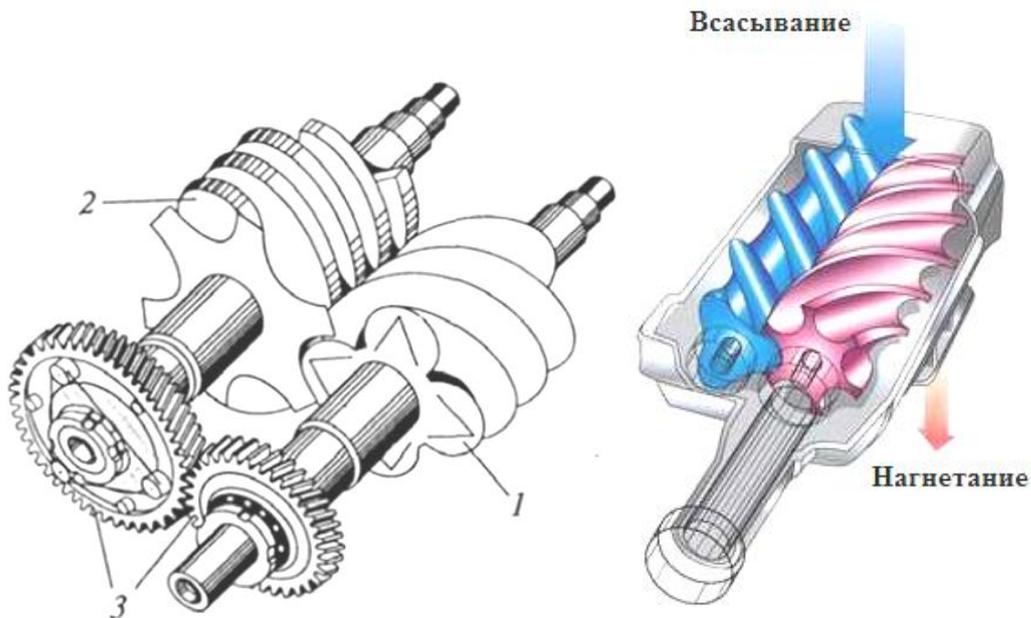


Рис. 5. Винтовой роторный компрессор:
 1 — ведущий ротор с винтовыми зубьями; 2 — ведомый ротор с винтовыми впадинами;
 3 — синхронизирующие шестерни

К достоинствам этого типа компрессора относят возможность плавного регулирования холодопроизводительности, возможность работы практически на любом холодильном агенте при высокой степени сжатия и в широком температурном диапазоне кипения, прежде всего низкотемпературном диапазоне кипения, и, соответственно, при низкой температуре воздуха в охлаждаемом объеме.

Компрессоры центробежные

Компрессоры этого типа используют для достижения большой холодопроизводительности в установках химической промышленности или системах кондиционирования зданий и зрелищных сооружений (рис. 6).

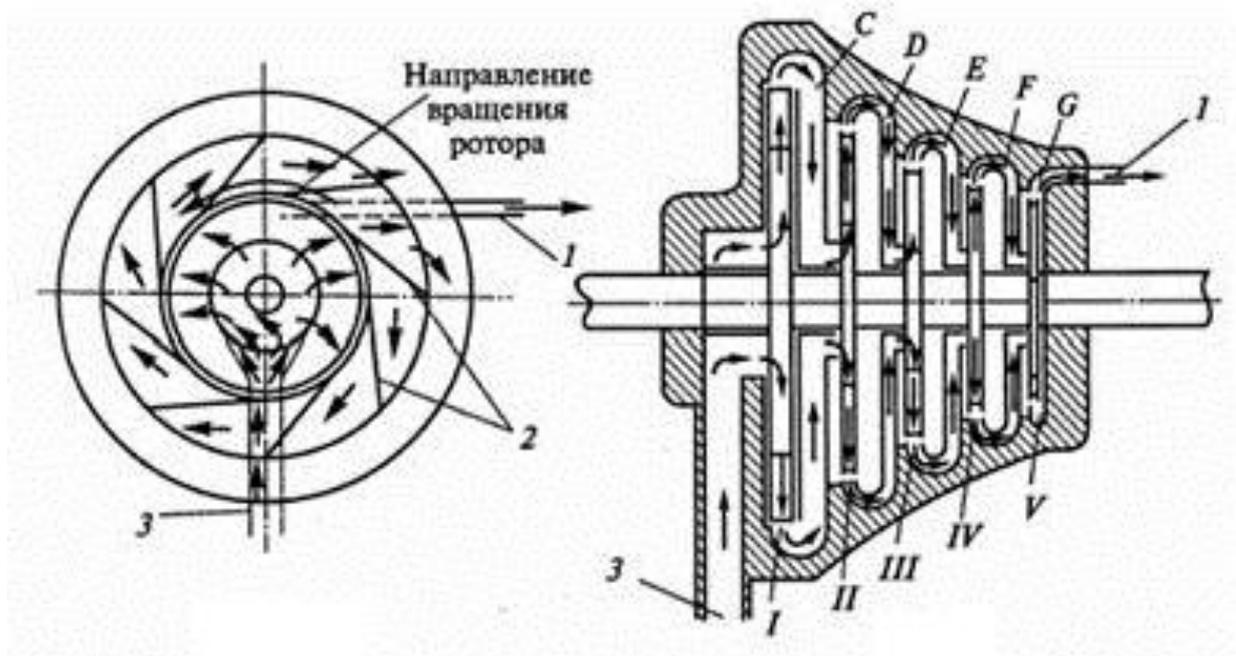


Рис. 6. Центробежный компрессор:
 1 — нагнетательный патрубок; 2 — лопатки ротора; 3 — всасывающий патрубок

Центробежные компрессоры конструктивно выполняются из сборки роторов, насаженных на один вал. Каждый ротор помещается в отдельной полости, выполняя функцию отдельной ступени сжатия.

Холодильный агент последовательно переталкивается из одной полости в другую, (C → D → E → F → G) со все возрастающим давлением, равным на выходе давлению конденсации.

Центробежные компрессоры являются уравновешенными, однако они предназначены для работы при большой частоте вращения ротора.

Холодопроизводительность поршневого компрессора

Теоретическая холодопроизводительность компрессора Q_0 , Вт, выражается произведением объема пара, всасываемого компрессором в цилиндр V_h и объемной холодопроизводительности q_v , Дж/м³:

$$Q_0 = V_h \cdot q_v, \text{ Вт}$$

где V_h — объем, описываемый поршнем, соответствующий теоретическому объему пара, поступающего в цилиндр компрессора, м³/с;

q_v — удельная объемная холодопроизводительность, Дж/м³.

Теоретическая объемная производительность поршневого компрессора V_h зависит от геометрических характеристик компрессора (диаметра цилиндра и хода поршня), частоты вращения вала компрессора, числа цилиндров.

Объем пара, всасываемого в компрессор V_h , м³/с, определяется размерами цилиндра и частотой вращения вала:

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot z, \text{ м}^3/\text{с}$$

где D — диаметр цилиндра, м;

S — ход поршня, м;

n — частота вращения вала компрессора, с⁻¹;

z — число цилиндров.

2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Конденсаторы

Различают следующие типы конденсаторов: кожухотрубные горизонтальные, кожухотрубные вертикальные, кожухозмеевиковые, испарительные и воздушные.

Кожухотрубные горизонтальные конденсаторы используют в аммиачных и хладоновых холодильных установках пищевых предприятий. Они имеют цилиндрический стальной кожух, в котором Прямые трубы (стальные или медные) расположены горизонтально, концы их развальцованы в трубных решетках. Охлаждающая вода под напором проходит по этим трубам. На конденсаторе устанавливают предохранительный клапан, указатель уровня холодильного агента, вентиль для выпуска воздуха из межтрубного пространства. Пары хладагента конденсируются в межтрубном пространстве на наружной поверхности труб. Такие конденсаторы обычно работают в комплекте с водоохлаждающими устройствами.

Кожухотрубные вертикальные конденсаторы используют в крупных аммиачных холодильных установках. Главный их недостаток — сложность равномерного распределения воды по трубам.

Кожухозмеевиковые конденсаторы отличаются от кожухотрубных горизонтальных отсутствием второй трубной решетки, кожух конденсатора выполнен в виде горизонтально расположенного стакана, внутри которого водяные трубки соединены попарно.

Испарительные конденсаторы применяют на пищевых предприятиях. В них теплота от холодильного агента передается через стенку трубы воде, стекающей тонкой пленкой по наружной поверхности труб, и далее воздуху посредством испарения части воды.

Конденсатор представляет собой закрытый корпус. Под конденсатором располагается водяной бак, куда вода сливается самотеком. Из водяного бака циркулирующая вода снова нагнетается насосом в водяной коллектор (оросительную систему). Сверху вентилятором подается поток воздуха, который усиливает испарение воды и служит приемником теплоты водяного пара. Использование этого типа конденсаторов эффективно в районах с сухим и жарким климатом.

Воздушные конденсаторы широко используют в агрегатах, обслуживающих торговое оборудование, бытовых холодильниках, изотермическом транспорте. Применение их позволяет уменьшить расход воды, сократить затраты на сооружение устройств для охлаждения оборотной воды.

Воздушные конденсаторы представляют собой систему трубчатых змеевиков, расположенных в металлическом корпусе. Холодильный агент проходит внутри змеевиков, с наружных оребренных поверхностей которых осуществляется съем теплоты естественной или принудительной конвекцией движения воздуха. Ребра труб змеевиков пластинчатые, но иногда для устранения контактного сопротивления теплопередачи между трубой и ребрами эти конденсаторы изготавливают с литыми ребрами.

Испарители

Испарители — теплообменные аппараты, предназначенные для охлаждения промежуточного хладоносителя путем теплообмена с кипящим холодильным агентом.

По конструкции кожухотрубный и кожухозмеевиковый испарители подобны горизонтальному кожухотрубному и кожухозмеевиковому конденсаторам. Хладоноситель циркулирует в трубах, а в межтрубном пространстве испарителя кипит холодильный агент.

Испарители изготавливают с закрытой и открытой циркуляцией охлаждаемой жидкости. Испарители с закрытой циркуляцией выполняются кожухотрубными. Охлаждаемая жидкость протекает в них под напором, который создает насос. В испарителях с открытой циркуляцией трубы, по которым протекает кипящий холодильный агент, погружаются в охлаждаемую жидкость, наливаемую в баки.

Испарители с открытой циркуляцией — панельные. В них жидкость перемешивается мешалкой. Панельный испаритель выполнен в виде прямоугольного бака, в который помещаются испарительные секции панельного типа.

Панельные испарители поставляются в комплекте с отделителями жидкости. При применении в качестве хладоносителя ледяной воды панельные испарители можно использовать как испарители-аккумуляторы для сглаживания неравномерности тепловой нагрузки на молочных предприятиях.

Охлаждающие приборы

Охлаждающие приборы (батареи) подразделяют на приборы непосредственного кипения и с промежуточным хладоносителем (рассольные). Наружная поверхность труб может быть гладкой или оребренной.

Распространены воздухоохладители из оребренных труб или пластин с каналами, внутри которых кипит хладагент или циркулирует хладоноситель. Воздух продувается с помощью вентилятора. Разность температур воздуха и поверхности охлаждения может достигать 12 °С.

Воздухоохладители бывают постаментные и подвесные, они komponуются из секций-модулей. Подвесные воздухоохладители обозначаются: ВОП-50, ВОП-75, ВОП-100, ВОП-150, где ВО — воздухоохладитель, П — подвесной, цифры — теплопередающая поверхность (в м²).

Производительность ВОП от 5,8 до 17,4 кВт. Для оттаивания инея в них предусмотрены электронагреватели — ТЭНы мощностью от 8,7 до 12 кВт.

Помимо ВОП выпускают воздухоохладители ВОГ-230, в которых воздух перемещается горизонтально осевым вентилятором. Батареи ВОГ-230 выполняют из тех же секций, что и ВОП. Оттаивание происходит с помощью горячих паров аммиака или электронагревателей мощностью 25 кВт.

Подвесные воздухоохладители применяют в холодильных камерах молокозаводов и на мясокомбинатах для охлаждения и замораживания пищевых продуктов.

Для охлаждения камер длительного хранения мороженых грузов используют панельные батареи, представляющие собой стальные листы, к которым приваривают цельнотянутые трубы.

Хладоновые потолочные и пристенные батареи из оребренных красномедных труб применяют в небольших холодильных установках. В бытовых холодильниках, льдогенераторах кубикового льда и некоторых видах торгового холодильного оборудования применяют листотрубные испарители. Их изготавливают электросваркой листов с выштампованными канавками или гидравлической раздачей канавок в плоских сваренных между собой листах.

3. ХОЛОДИЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ

Агрегатом называют конструктивное объединение нескольких или всех элементов холодильной машины. Агрегаты бывают:

1) компрессорные (тип К) — компрессор объединяется с электродвигателем, электропусковой аппаратурой и приборами автоматики;

2) компрессорно-конденсаторные (тип АК) — компрессор, конденсатор, электродвигатель и приборы автоматики смонтированы на одной станине;

3) испарительно-регулирующие (тип АИР) — испаритель, ресивер, регулирующая станция и приборы автоматики;

4) испарительно-конденсаторные (тип АПК) — испаритель, конденсатор, регулирующая станция с приборами автоматики;

5) комплексные — объединяющие все элементы машины — компрессор, конденсатор, испаритель и весь комплекс автоматических регулирующих приборов и электропривод.

Холодильные машины могут компоноваться из отдельных агрегатов, например компрессорно-конденсаторного (АК) и испарительно-регулирующего (АИР).

Агрегаты **одноступенчатого сжатия** комплектуются поршневыми компрессорами.

Агрегаты двухступенчатого сжатия следует применять при температуре кипения холодильного агента $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, когда отношение давлений $P_K/P_0 \geq 9$.

Двухступенчатое сжатие может осуществляться следующими способами:

1) одним компрессором, часть цилиндров которого работает как ступень низкого давления, а остальные — как ступень высокого давления;

2) агрегатами двухступенчатого сжатия, скомпонованными как из компрессора низкого давления, так и из компрессора высокого давления.

В качестве ступени низкого давления в двухступенчатых агрегатах используют ротационные или винтовые компрессорные агрегаты, высокого — поршневые компрессорные агрегаты. В комплект поставки агрегата входит также промежуточный сосуд с щитом приборов.