<u>Автономная некоммерческая организация</u>

УНИВЕРСИТЕТ КЛИМАТА

УЧЕБНО–КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР

Дистанционное обучение.

Учебно-методическое пособие по курсу:

Холодильные машины и холодильные установки.
Пример проектирования холодильных центров.

Москва, 2014 г.

Содержание

1. *Теоретические основы получения холода.* 2
Основные понятия и определения. 2

2. *Принципы работы холодильной машины.* 5
2.1 Основные понятия, связанные с работой холодильной машины. 5
2.2 Схема компрессионного цикла охлаждения. 6
2.3 Теоретический цикл охлаждения. 8
2.4 Реальный цикл охлаждения. 11
2.5 Оценка эффективности цикла охлаждения. 12

3. *Основные элементы холодильной машины.* 12

3.1 Компрессор. 12
3.1.1 Компрессоры поршневые. 13
3.1.2 Ротационные компрессоры вращения. 16
3.1.3 Спиральный компрессор *SCROLL.* 17
3.1.4 Винтовые компрессоры. 20

3.2 Конденсатор. 23
3.1.1 Конденсаторы с воздушным охлаждением. 23
3.2.2 Конденсаторы с водяным охлаждением. 26

3.3 Испаритель. 30

3.4 Вентилятор. 32

3.5 Регулятор потока. 33

4. *Работа холодильной машины в режиме теплового насоса.* 35

5. *Работа холодильной машины при низкой температуре окружающего воздуха.* 37

6. *Принципиальные схемы холодильных центров с холодильными машинами с воздушным охлаждением конденсаторов.* 39

6.1 Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами наружной установки. 40
6.2 Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с холодильными машинами внутренней установки и выносными конденсаторными блоками. 44
6.3 Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами внутренней установки. 47
6.4 Двухконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами наружной установки. 51

7. *Тепловая изоляция трубопроводов.* 53

7.1 Общие положения. 53
7.2 Расчёт тепловой изоляции для стальных трубопроводов. 54

1. Теоретические основы технологии получения холода.

1.1 Основные понятия и определения.

Специалисты в области холодильной техники используют более 3 000 специальных терминов. Далее приведены некоторые из них, без которых изложить основы технологии получения холода не представляется возможным.

Совокупность тел, которые энергетически взаимодействуют между собой, с другими телами и с окружающей их средой, составляет ***термодинамическую систему***.

Величины, характеризующие состояние термодинамической системы, называют ***параметрами состояния системы.***

Параметры состояния, не зависящие от массы термодинамической системы, называются ***интенсивными термодинамическими параметрами*** (например, давление и температура).

Параметры состояния, пропорциональные массе данной термодинамической системы, значение которых равно сумме значений таких же параметров отдельных составляющих системы, называются ***экстенсивными термодинамическими параметрами*** (например, объём и внутренняя энергия).

Энергия является количественной мерой различных форм движения материи. Энергия прямо или косвенно может быть превращена в работу.

Работа определяется как произведение силы на перемещение в направлении действия силы. Если тело обладает энергией, то оно может совершить работу, которая в соответствии с принципом сохранения энергии может быть преобразована в другую форму энергии.

Закон сохранения энергии формулируется следующим образом:
«*Работа внешних сил плюс подведённая теплота расходуется на изменение механической и внутренней энергии рабочего тела*».

К внешним силам относятся, например силы давления и силы трения.

Мощность - это частичное от деления произведённой работы или переданной энергии в течение определённого интервала времени на продолжительность этого интервала.

Физическое состояние однородного вещества однозначно определяется тремя основными параметрами: ***температурой, давлением*** и ***объёмом***. Совокупность этих параметров определяет агрегатное состояние вещества.

Температура характеризует интенсивность теплового движения молекул, атомов и других частиц, образующих термодинамическую систему. Энергия теплового движения прямо пропорциональна абсолютной температуре тела. С молекулярно-кинетической точки зрения температура не может быть отрицательной. Наименьшее значение температуры есть нуль. При этой температуре давление идеального газа равно нулю, движение молекул прекращается. Это есть начальная точка абсолютной шкалы температур.

Абсолютная шкала температур введена английским учёным Кельвином. В этой шкале температура тройной точки воды (термодинамическое состояние, при котором имеются все три фазы вещества: газ, жидкость и твёрдое состояние) - равна *273,16 К*. По шкале Цельсия этому состоянию присвоено значение температуры *0ºС*. Таким образом, между шкалами абсолютной Кельвина (*ºК*) и Цельсия (*ºС*) существует соотношение:

$$К = ºС + 273{,}16; \qquad ºС = К - 273{,}16.$$

Давление - величина, характеризующая интенсивность действия сил на какую либо часть поверхности тела по направлениям, перпендикулярным к этой поверхности. Давление определяется отношением силы, равномерно распределённой по нормали к этой поверхности, к площади этой поверхности. Давление, создаваемое силой в один Ньютон (*1Н = 0,102 кг.*) на площадь один квадратный метр, равно одному Паскалю (*Па*). Более крупная единица *1 бар* = 10^5 *Па*.

Различают барометрическое (атмосферное) давление, абсолютное давление и давление разряжения. Атмосферное давление является результатом давления окружающей воздушной среды на поверхность Земли. Нормальное атмосферное давление на уровне моря уравновешивается столбом ртути *760 мм. рт. ст.*, что соответствует *101 325 Па* ≈ 10^5 *Па = 1 бар* Разность между абсолютным давлением и барометрическим давлением называется ***избыточным давлением***. В закрытых сосудах измеряют избыточное давление, а абсолютное давление определяют путём сложения избыточного и атмосферного. Например, если избыточное давление равно *4 бар*, то абсолютное давление равно *5 бар*.

Соотношения между различными единицами давления.

Таблица 1

Единицы	*Н / м²* *Па*	*кПа*	*бар*	*м бар*	*мм. вод. ст.*	*атм.*	*ат.*
1 Н/м² = 1 Па	1	10^{-3}	10^{-5}	0,01	0,102	$0{,}987 \times 10^{-5}$	$1{,}02 \times 10^{-5}$
кПа	1 000	1	0,01	10	102	$0{,}987 \times 10^{-2}$	$1{,}02 \times 10^{-2}$
бар	10^5	100	1	1 000	$1{,}02 \times 10^4$	0,987	1,02
м бар	100	0,1	10^{-3}	1	10,2	$0{,}987 \times 10^{-3}$	$1{,}02 \times 10^{-3}$
мм. вод. ст.	9,81	$9{,}81\times 10^{-3}$	$9{,}81\times10^{-5}$	$9{,}81 \times 10^{-2}$	1	$0{,}97 \times 10^{-4}$	10^{-4}
атм.	$1{,}01 \times 10^5$	101	1,01	1 010	10 332	1	1,033
ат.	$9{,}81 \times 10^4$	98,1	0,981	981	10 000	0,968	1

Теплотой называется часть энергии, которая непосредственно передаётся данному телу от более нагретого тела в результате теплового контакта между ними. Следует отметить, что этот способ передачи энергии не связан с совершением работы одним телом над другим.

Теплообмен между твёрдыми телами, газами и жидкостями, которые находятся при разных температурах, может происходить тремя способами: ***излучением, теплопроводностью*** и ***конвекцией***.

Передача теплоты излучением происходит путём трансформации тепловой энергии тела в лучистую энергию - электромагнитные волны, которые, распространяясь в пространстве, достигают другого тела и преобразуются в тепловую энергию этого тела.

Передача теплоты теплопроводностью осуществляется за счёт передачи энергии молекул более нагретых частей тела молекулам с меньшей температурой. Молекулы с большей температурой сталкиваются с молекулами с меньшей температурой и передают им часть энергии. В жидкостях и газах наряду с теплопроводностью теплота может передаваться путём перемешивания сред с разной температурой.

При конвективном теплообмене перенос теплоты осуществляется от жидкой или газообразной среды к твёрдому телу (например, в теплообменных аппаратах).

Удельная теплоёмкость вещества (c) характеризует количество теплоты которое, необходимо для нагревания *1 кг*. вещества на *1 К*.

Уравнение (1) является основной формулой калориметрии:

$$Q = c\,m\,(t_к - t_н), \quad ккал$$

где: c - удельная теплоёмкость вещества, *ккал/(кг × К)*;

m - масса вещества, *кг*;

$t_к$, $t_н$ - конечная и начальная температура вещества, *К*.

Это уравнение позволяет определить удельную теплоёмкость тела (вещества), т.е. количество теплоты, которое нужно сообщить (или изъять) телу единичной массы, чтобы повысить (или снизить) его температуру на *1К*.

Удельная теплоёмкость зависит от природы тела и его физического состояния: так, теплоёмкость воды (жидкое состояние) практически в два раза больше, чем теплоёмкость льда (твердое состояние). Следует отметить, что вода - это жидкость с самым высоким значением удельной теплоёмкости. Чтобы обеспечить заданное изменение температуры, вода должна поглотить или отдать тепла больше, чем любое другое тело такой же массы.

При изменении давления и температуры теплоёмкость изменяется. Поэтому, исходя из начального состояния вещества, можно получить два различных конечных состояния и две удельные теплоёмкости:

C_p - удельная теплоёмкость при постоянном давлении;

C_v - удельная теплоёмкость при постоянном объёме.

Для газов - разность между удельной теплоёмкостью при постоянной давлении и удельной теплоёмкостью при постоянной объёме есть величина постоянная и называется *удельной газовой постоянной*.

$$C_p - C_v = R$$

Удельный объём газа или жидкости есть объём единицы массы:

$$\vartheta = \frac{V}{m}, \quad м^3/кг$$

где: V - объём вещества, $м^3$;

m - масса вещества, *кг*.

Величина обратная удельному объёму, называется ***плотностью***.

$$\rho = \frac{1}{\vartheta} = \frac{m}{V}, \quad кг/м^3$$

2. Принципы работы холодильной машины.

2.1 Основные понятия, связанные с работой холодильной машины.

В климатическом оборудовании охлаждение производится за счёт поглощения тепла при кипении жидкости.

Когда мы говорим о кипящей жидкости, мы, естественно думаем, что она горячая. Однако это не совсем верно.

Во-первых, температура кипения жидкости зависит от давления окружающей среды. Чем выше давление, тем выше температура кипения и, наоборот, чем ниже давление, тем ниже температура кипения.

При нормальном атмосферном давлении *760 мм. рт. ст. = 1 атм.* вода кипит при температуре *100ºС*, но если давление пониженное, как например в горах на высоте, вода начнёт кипеть уже при более низкой температуре.

Во-вторых, при одинаковых условиях разные жидкости имеют различные температуры кипения.

Например, фреон *R-22*, широко используемый в холодильной технике, при нормальном атмосферном давлении имеет температуру кипения минус *40,8ºС*.

Если жидкий фреон находится в открытом сосуде, т.е. при атмосферном давлении и температуре окружающей среды, то он немедленно начнёт кипеть, поглощая при этом большое количество теплоты из окружающей среды или из другого любого материала, с которым он находится в контакте. В холодильных машинах фреон кипит не в открытом сосуде, в специальном теплообменнике, называемом испарителем. При этом кипящий в трубках испарителя фреон активно поглощает тепло от воздушного потока, омывающего наружную, как правило, оребрённую поверхность трубок.

Далее рассмотрим процесс конденсации паров жидкости на примере того же фреона *R-22*. Температура конденсации паров фреона, так же, как и температура кипения, зависит от давления окружающей среды. Чем выше давление, тем выше температура конденсации. Так, например, конденсация паров фреона *R-22* при давлении *23 атм.* начинается уже при температуре *55ºС*. Процесс конденсации паров фреона, как и любой другой жидкости, сопровождается выделением большого количества теплоты в окружающую среду или применительно к холодильной машине передачей этой теплоты потоку воздуха или жидкости в специальном теплообменнике, называемом конденсатором.

Естественно, чтобы процесс кипения фреона в испарителе и соответствующего охлаждения воздуха, также процесс конденсации и соответствующий отвод теплоты в конденсаторе был непрерывным, необходимо подавать в испаритель жидкий фреон, а в конденсатор должны поступать пары фреона. Такой непрерывный процесс (цикл) осуществляется в холодильной машине.

Наиболее обширный класс холодильных машин базируется на компрессионном цикле охлаждения, основными конструктивными элементами которого являются - компрессор, испаритель, конденсатор и регулятор потока - капиллярная трубка или терморегулирующий расширительный клапан, соединённые трубопроводами и представляющие собой замкнутую систему, в которой циркуляцию хладагента (фреона) осуществляет компрессор. Кроме обеспечения циркуляции, компрессор поддерживает в конденсаторе (на линии нагнетания) и высокое давление, порядка *20 - 23 атм.*

Теперь, когда рассмотрены основные понятия, связанные с работой холодильной машины, перейдём к более подробному рассмотрению схемы компрессионного цикла охлаждения, конструктивному исполнению и функциональному назначению отдельных узлов и элементов.

2.2 Схема компрессионного цикла охлаждения.

Вначале следует отметить, что кондиционер - это та же холодильная машина, но предназначенная для тепло-влажностной обработки воздушного потока. Кроме того, кондиционер обладает большими возможностями, более сложной конструкцией, многочисленными дополнительными опциями и т.п.

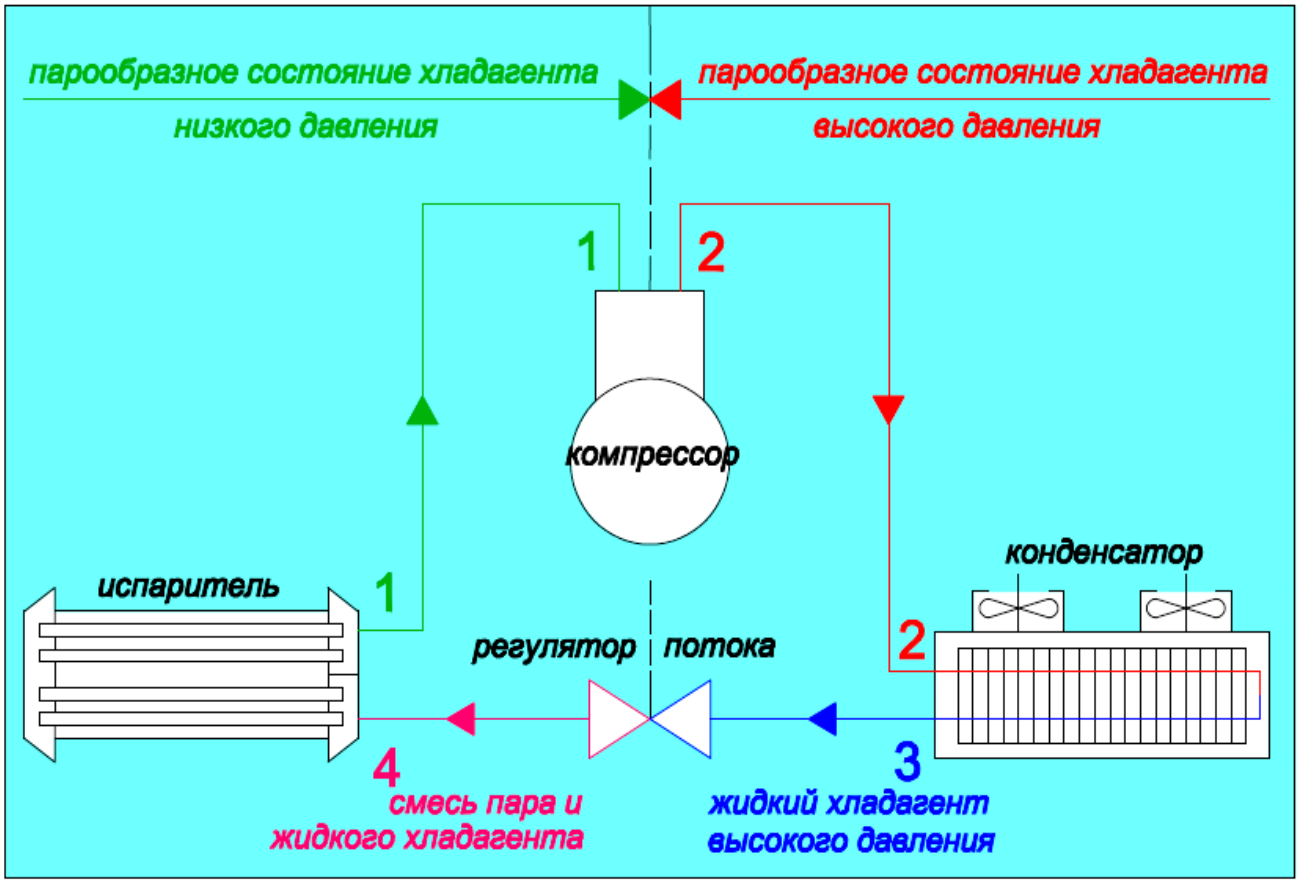
Обработка воздуха предполагает придание ему определённых кондиций, таких как температура и влажность, а также направление движения и подвижность (скорость движения).

Остановимся на принципе работы и физических процессах, происходящих в холодильной машине.

Охлаждение в кондиционере, или далее по тексту в холодильной машине, обеспечивается непрерывной циркуляцией, кипением и конденсацией хладогента в замкнутой системе. Кипение хладагента происходит при низком давлении и низкой температуре, а конденсация - при высоком давлении и высокой температуре. Принципиальная схема компрессионного цикла охлаждения показана на Рис.1.

Принципиальная схема компрессионного цикла охлаждения.

Рис.1



Начнём рассмотрение работы цикла с выхода хладагента из испарителя (*участок 1-1*). Здесь хладагент находится в парообразном состоянии, с низким давлением и температурой.

Парообразный хладагент всасывается компрессором, который повышает его давление до *15 - 25 атм.* и температуру до *70 - 90ºС* (*участок 2-2*).

Далее, в конденсаторе горячий парообразный хладагент охлаждается и конденсируется, т.е. переходит в жидкую фазу. Конденсатор может быть либо с воздушным, либо с водяным с водяным охлаждением, в зависимости от типа холодильной машины.

На выходе из конденсатора (*точка 3*) хладагент находится в жидком состоянии при высоком давлении. Размеры конденсатора выбираются таким образом, чтобы газ полностью сконденсировался внутри конденсатора. Поэтому температура жидкости хладагента на выходе из конденсатора оказывается несколько ниже температуры конденсации паров. Переохлаждение в конденсаторах с воздушным охлаждением обычно составляет *4 - 7ºС*. При этом температура конденсации паров примерно на *10 - 12ºС* выше температуры атмосферного воздуха.

Затем хладагент в жидкой фазе при высокой температуре и давлении поступает в регулятор потока - капиллярная трубка или терморегулирующий расширительный клапан, где давление смеси резко уменьшается, часть жидкого хладагента при этом может испариться, переходя в парообразную фазу. Таким образом, в испаритель попадает смесь пара и жидкого хладагента (*точка 4*).

Жидкость кипит в испарителе, отбирая теплоту окружающего воздуха, и вновь переходит в парообразное состояние.

Размеры испарителя выбираются таким образом, чтобы жидкость полностью испарилась внутри испарителя. Поэтому температура пара на выходе из испарителя оказывается выше температуры кипения, происходит так называемый перегрев хладагента в испарителе. Для конденсаторов с воздушным охлаждением величина перегрева составляет *5 - 8ºС*. В этом случае, даже самые маленькие капельки хладагента испаряются, и в компрессор не попадает жидкий хладагент. Следует отметить, что в случаи попадания жидкого хладагента в компрессор возникает гидравлический удар и возможны повреждения и поломки клапанов и других деталей компрессора.

Перегретый парообразный хладагент выходит из испарителя (*точка* 1), и цикл возобновляется.

Таким образом, хладагент постоянно циркулирует по замкнутому контуру, изменяя своё агрегатное состояние с жидкого на парообразное и наоборот.

Все компрессионные циклы холодильных машин включают два определённых уровня давления. Граница между ними проходит через нагнетательный клапан на выходе из компрессора с одной стороны и на выходе из регулятора потока - из капиллярной трубки или терморегулирующего расширительного клапана с другой стороны.

Нагнетательный клапан компрессора и выходное отверстие регулятора потока являются разделительными точками между сторонами высокого и низкого давлений хладагента в холодильной машине.

На стороне высокого давления находятся все элементы, работающие при давлении конденсации.

На стороне низкого давления находятся все элементы, работающие при давлении испарения.

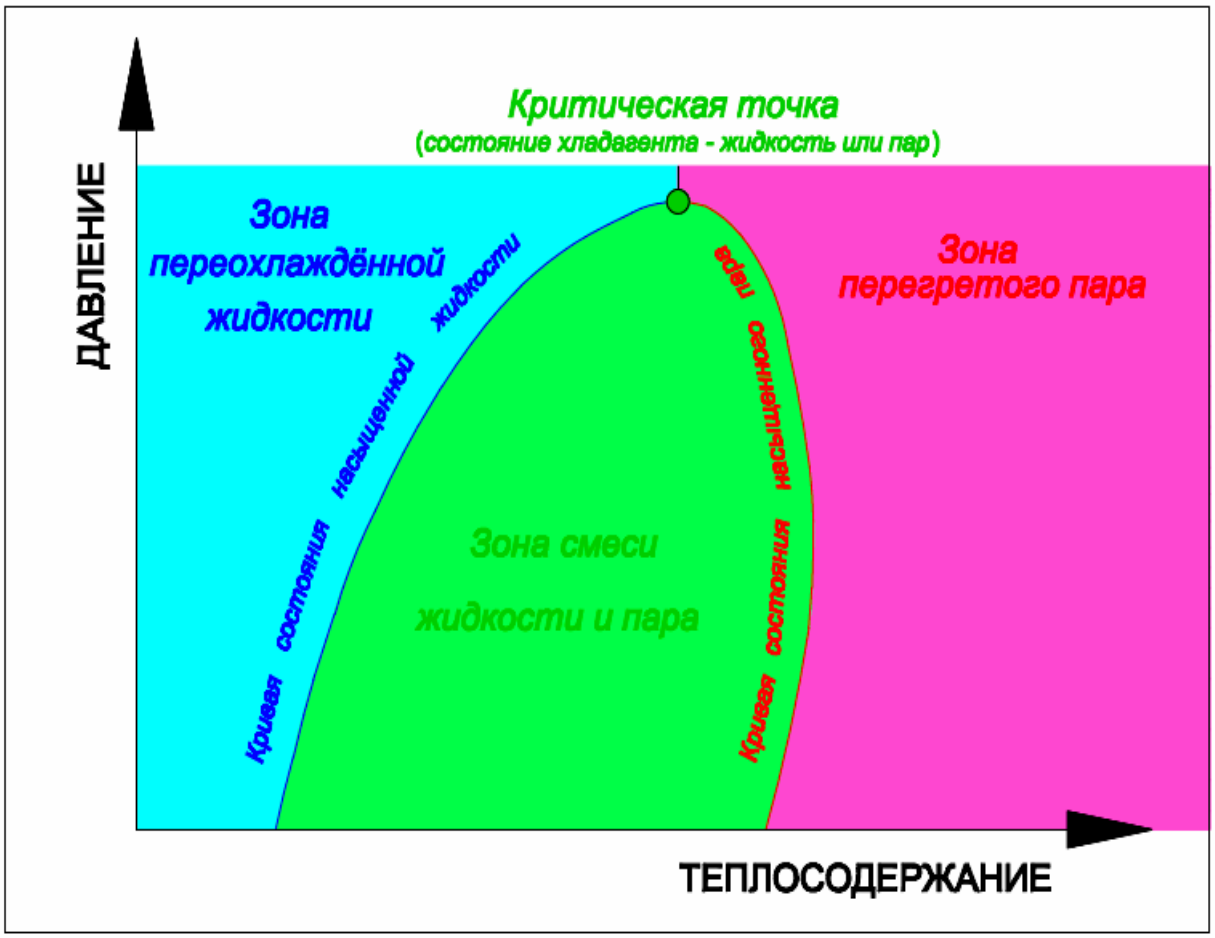
Несмотря на то, что существует много типов компрессионных холодильных машин, принципиальная схема цикла в них практически одинакова.

2.3 Теоретический цикл охлаждения.

Цикл охлаждения можно представить графически в виде диаграммы зависимости абсолютного давления и теплосодержания (энтальпии). На диаграмме (смотри Рис.2) представлена характерная кривая насыщения хладагента.

Диаграмма давления и теплосодержания.

Рис.2

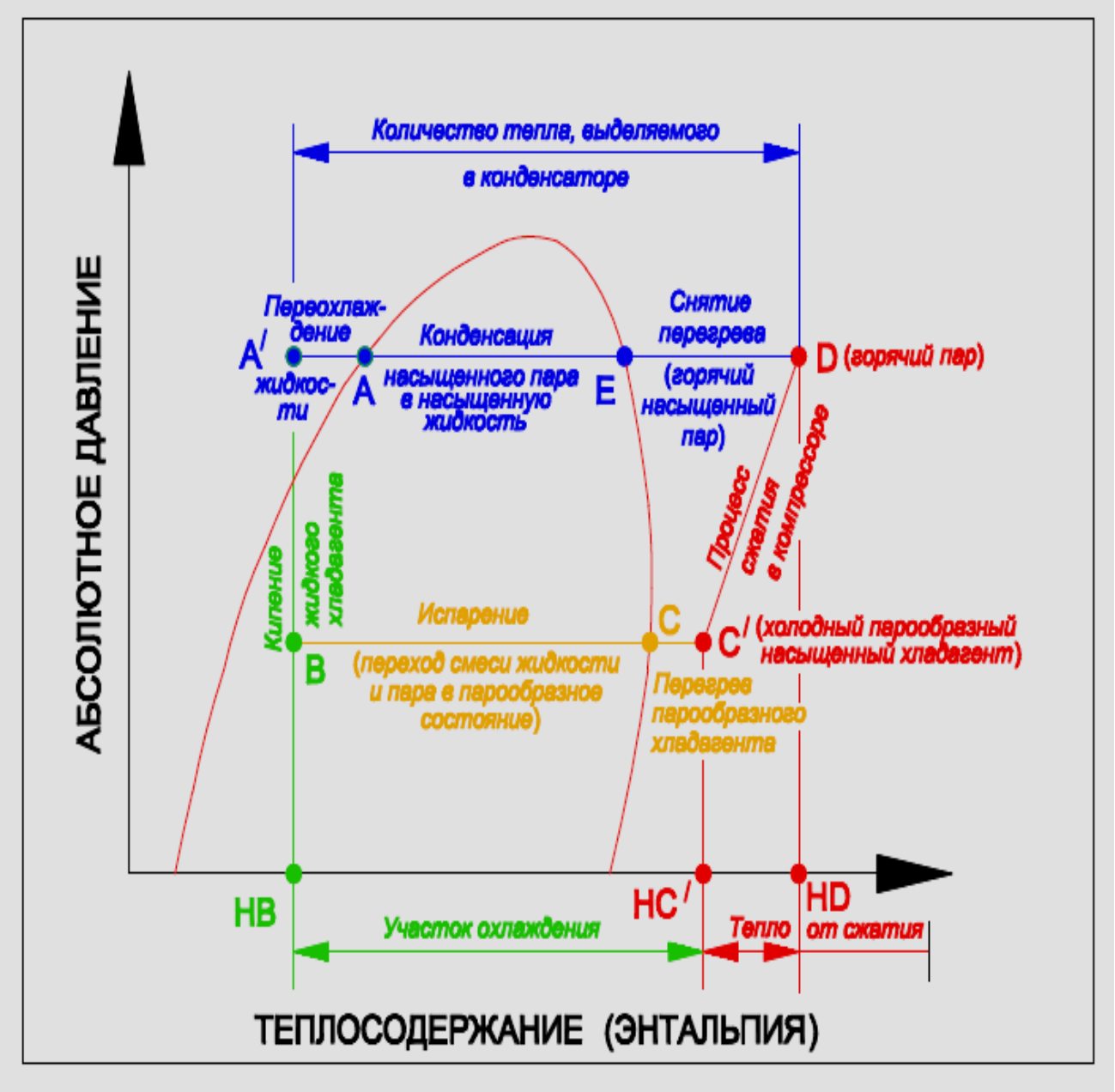


Левая часть кривой соответствует состоянию насыщенной жидкости, правая часть - состоянию насыщенного пара. Две кривые соединяются в центре в так называемой «критической точке», где хладагент может находиться как в жидком, так и в парообразном состоянии. Зоны слева и справа от кривой соответствуют переохлаждённой жидкости и перегретому пару. Внутри кривой линии помещается зона, соответствующая состоянию смеси жидкости и пара.

Рассмотрим схему теоретического (идеального) цикла охлаждения и наиболее характерные процессы, происходящие в компрессионном цикле охлаждения с тем, чтобы лучше понять действующие факторы (см. Рис.3).

Изображение теоретического цикла сжатия на диаграмме «Давление и теплосодержание».

Рис.3



Сжатие пара в компрессоре.

Холодный парообразный насыщенный хладагент поступает в компрессор (*точка* $C^{/}$). В процессе сжатия хладагента повышаются его давление и температура (*точка* D). Теплосодержание (энтальпия) также повышается на величину, определяемую отрезком $HC^{/}$ - HD, то есть проекцией линии $C^{/}$ - D на горизонтальную ось.

Конденсация.

В конце цикла сжатия (*точка D*) горячий пар поступает в конденсатор, где начинается его конденсация и переход из состояния горячего пара в состояние горячей жидкости. Этот переход в новое состояние происходит при постоянном давлении и постоянной температуре. Следует отметить, что, хотя температура смеси остаётся практически неизменной, теплосодержание уменьшается за счёт отвода теплоты от конденсатора и превращения пара в жидкость. Поэтому этот процесс на диаграмме изображается в виде прямой, параллельной горизонтальной оси.

Процесс в конденсаторе происходит в три фазы: снятие перегрева (*линия D - E*), собственно конденсация (*линия E - A*) и переохлаждение жидкости (*линия A - A*$^{/}$). Рассмотрим кратко каждую фазу.

Снятие перегрева (линия D - E).

Это первая фаза, происходящая в конденсаторе, и в течение её температура охлаждаемого пара снижается до температуры насыщения или конденсации. На этом этапе происходит лишь отъём излишней теплоты и не происходит изменение агрегатного состояния хладагента.

На этом участке снимается примерно *10 - 20%* общего теплосъёма в конденсаторе.

Конденсация (линия E - A).

Температура конденсации охлаждаемого пара и образующейся жидкости сохраняется постоянной на всём протяжении всей этой фазы. Происходит изменение агрегатного состояния хладагента с переходом насыщенного пара в состояние насыщенной жидкости.

На этом участке снимается *60 - 80%* теплосъёма.

Переохлаждение жидкости (линия A - A$^{/}$*).*

На этой фазе хладагент, находящийся в жидком состоянии, подвергается дальнейшему охлаждению, в результате чего его температура понижается. Получается переохлаждённая жидкость (по отношению к состоянию насыщенной жидкости) без изменения агрегатного состояния.

Переохлаждение хладагента даёт значительные энергетические преимущества: при нормальном функционировании понижение температуры хладагента на один градус соответствует повышению мощности холодильной машины примерно на *1%* при том же уровне энергопотребления.

Количество теплоты, выделяемой в конденсаторе.

Участок *D - A*$^{/}$ соответствует изменению теплосодержания хладагента в конденсаторе и характеризует количество теплоты, выделяемой в конденсаторе.

Регулятор потока (линия A$^{/}$*- B).*

Переохлаждённая жидкость с параметрами в точке *A*$^{/}$ поступает на регулятор потока (капиллярную трубку или терморегулирующий расширительный клапан), где происходит резкое снижение давления. Если давление за регулятором потока становится достаточно низким, то кипение хладагента может происходить непосредственно за регулятором, достигая параметров в точке *B*.

Испарение жидкости в испарителе (линия B - C$^{/}$*).*

Смесь жидкости и пара (*точка B*) поступает в испаритель, где она поглощает теплоту окружающей среды (потока воздуха) и переходит полностью в парообразное состояние (*точка C*).

Процесс происходит при постоянной температуре, но с увеличением теплосодержания.

Как уже говорилось выше, парообразный хладагент несколько перегревается на выходе из испарителя. Главная задача фазы перегрева (*линия C - C*$^{/}$) - обеспечение полного испарения оставшихся капель жидкого хладагента, чтобы в компрессор поступал только парообразный хладагент. Это требует повышения площади теплообменной поверхности испарителя на *2-3%* на каждые *0,5°C* перегрева. Поскольку обычно перегрев составляет *5-8°C*, то увеличение площади поверхности испарителя может составить около *20%*, что безусловно оправдано, т.к. увеличивается эффективность охлаждения.

Количество теплоты, поглощаемой испарителем.

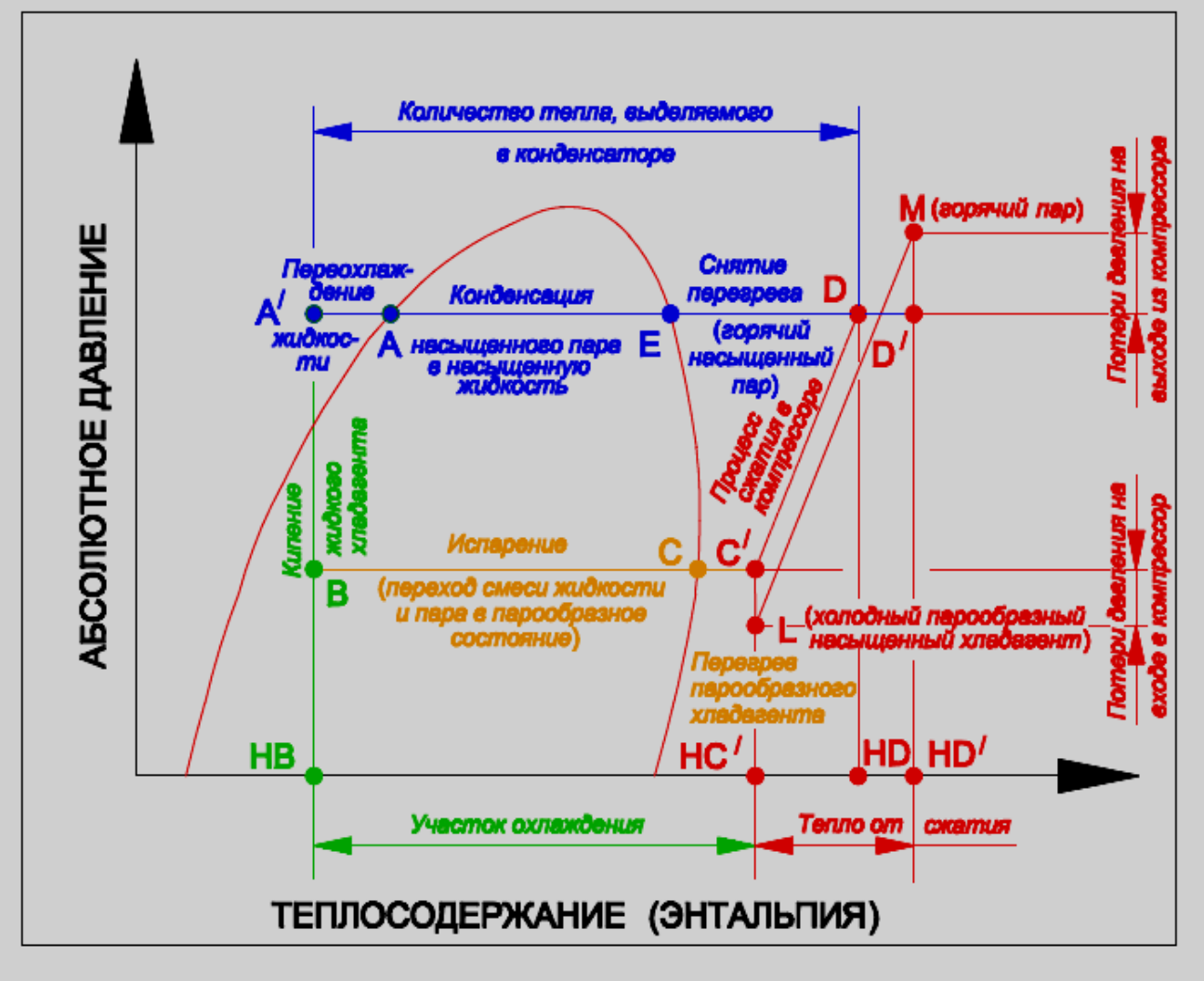
Участок *HB - HC*$^{/}$ соответствует изменению теплосодержания хладагента в испарителе и характеризует количество теплоты, поглощаемой испарителем.

2.4 Реальный цикл охлаждения.

В действительности в результате потерь давления, возникающих на линии всасывания и линии нагнетания, а также в клапанах компрессора, цикл охлаждения изображается на диаграмме несколько иным образом (см. Рис.4).

Изображение цикла реального сжатия на диаграмме «Давление - теплосодержание».

Рис.4



C$^{/}$*L* - потери давления при всасывании в компрессор;
MD - потери давления при выходе из компрессора;
HDHC$^{/}$ - теоретический термический эквивалент сжатия;
HD$^{/}$*HC*$^{/}$ - реальный термический эквивалент сжатия;
C$^{/}$*D* - теоретическое сжатие;
LM - реальное сжатие.

Из-за потерь давления на входе (*участок* $C^{/}$ - L) компрессор должен производить всасывание при давлении ниже давления испарения.

С другой стороны, из-за потерь давления на выходе (*участок* M - $D^{/}$) компрессор должен сжимать парообразный хладагент до давлений выше давления конденсации.

Необходимость компенсации потерь увеличивает работу сжатия и снижает эффективность цикла.

Помимо потерь давления в трубопроводах и клапанах, на отклонение реального цикла от теоретического влияет также потери давления в процессе сжатия.

Во-первых, процесс сжатия в компрессоре отличается от адиабатического. Поэтому реальная работа сжатия оказывается выше теоретической, что также ведёт к энергетическим потерям.

Во-вторых, в компрессоре имеются чисто механические потери, приводящие к увеличению потребляемой мощности электродвигателя компрессора и увеличению работы сжатия.

В-третьих, из-за того, что давление в цилиндре компрессора в конце цикла всасывания всегда ниже давления пара перед компрессором (давление испарения) происходит уменьшение производительности компрессора. Кроме того, в компрессоре всегда имеется объём, не участвующий в процессе сжатия, например, объём под головкой цилиндра.

2.5 Оценка эффективности цикла охлаждения.

Эффективность цикла охлаждения обычно оценивается коэффициентом полезного действия или коэффициентом термической (термодинамической) эффективности.

Коэффициент эффективности может быть вычислен как отношение изменения теплосодержания хладагента в испарителе к изменению теплосодержания в процессе сжатия, т.е.:

$$K_{эффект.} = \frac{HC^{/} - HB}{HD - HC^{/}}$$

Фактически этот коэффициент представляет собой отношение холодильной мощности и электрической мощности, потребляемой компрессором.

$$K_{эффект.} = \frac{Q_{холода}}{N_{компрессора}}$$

Причём коэффициент термической эффективности не является показателем производительности холодильной машины, а представляет собой сравнительный параметр при оценке эффективности процесса передачи энергии. Так, например, если холодильная машина имеет коэффициент термической эффективности, равный *3*, то это означает, что на каждую единицу электроэнергии, потребляемой холодильной машиной, производится *3* единицы холода.

3. Основные элементы холодильной машины.

3.1 Компрессор.

Компрессор всасывает парообразный хладагент, поступающий от испарителя при низкой температуре и низком давлении, производит его сжатие, повышая давление и температуру, и направляет затем к конденсатору. В зависимости от условий работы холодильной машины, давление паров хладагента на выходе из компрессора может составлять *15 - 25 атм.*, а температура *70 - 90°С*.

Важной характеристикой компрессора является степень сжатия и объём хладагента, который нагнетается компрессором. Степень сжатия определяется как отношение максимального давления на выходе из компрессора, к максимальному давлению на входе в компрессор.

По своему конструктивному исполнению компрессоры, используемые в холодильных машинах, могут быть разделены на две основные категории:
- поршневые;
- ротационные, спиральные (*SCROLL*), и винтовые (*SCREW*).

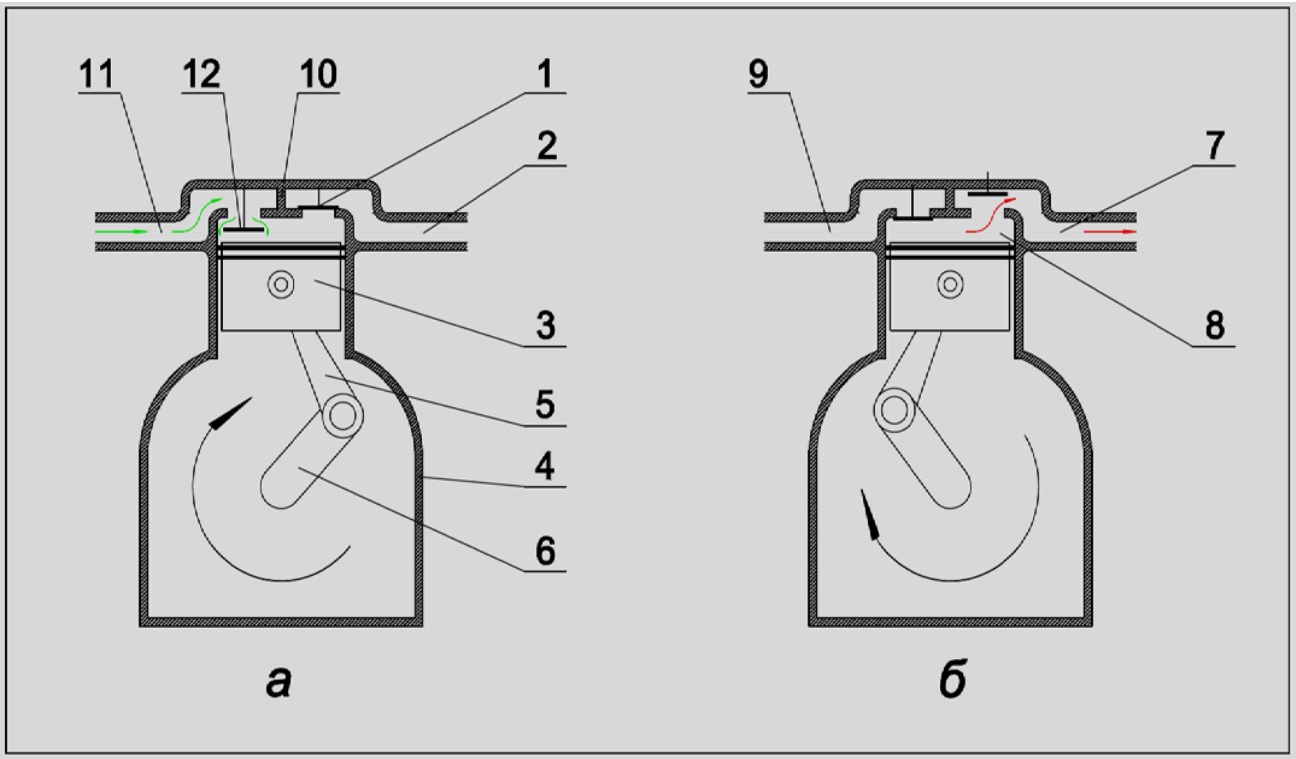
Принципиальное отличие ротационных, спиральных и винтовых компрессоров от поршневых компрессоров заключается в том, что всасывание и сжатие хладагента осуществляется не за счёт возвратно-поступательного движения поршней в цилиндрах, а за счёт вращательного движения рабочих органов компрессоров соответственно - пластин, спиралей и винтов.

3.1.1 Компрессоры поршневые.

Наибольшее распространение получили поршневые компрессоры. Схема работы такого компрессора показана на Рис.5 *а, б*.

Схема работы поршневого компрессора.

Рис.5 *а, б*



1 - выпускной клапан;
2 - линия нагнетания к конденсатору;
3 - поршень;
4 - цилиндр;
5 - шатун;
6 - коленчатый вал;
7 - давление нагнетания;
8 - давление в цилиндре;
9 - давление всасывания;
10 - головка клапанов;
11 - линия всасывания от испарителя;
12 - впускной клапан.

Сжатие газа обеспечивается поршнем (*3*) при его движении вверх по цилиндру (*4*).

Перемещение поршня обеспечивается электродвигателем через коленчатый вал (*6*) и шатун (*5*).

Всасывающие и выпускные клапаны открываются и закрываются под действием давления газа.

Фаза всасывания хладагента показана на Рис.5 *а*. Поршень (*3*) начинает опускаться в цилиндре (*4*) от верхней «мёртвой точки». При движении поршня вниз, над поршнем создаётся разряжение и парообразный хладагент через открытый впускной клапан (*10*) всасывается в цилиндр.

Фаза сжатия и выпуска разогретого пара высокого давления показана на Рис.5 *б*. Поршень двигается в цилиндре вверх и сжимает пар. Выпускной клапан (*1*) открывается, и пар под давлением выходит из компрессора. Конструкция цилиндра такова, что поршень никогда не касается головки клапана (*10*), всегда оставляя некоторое свободное пространство, называемое «мёртвым объёмом».

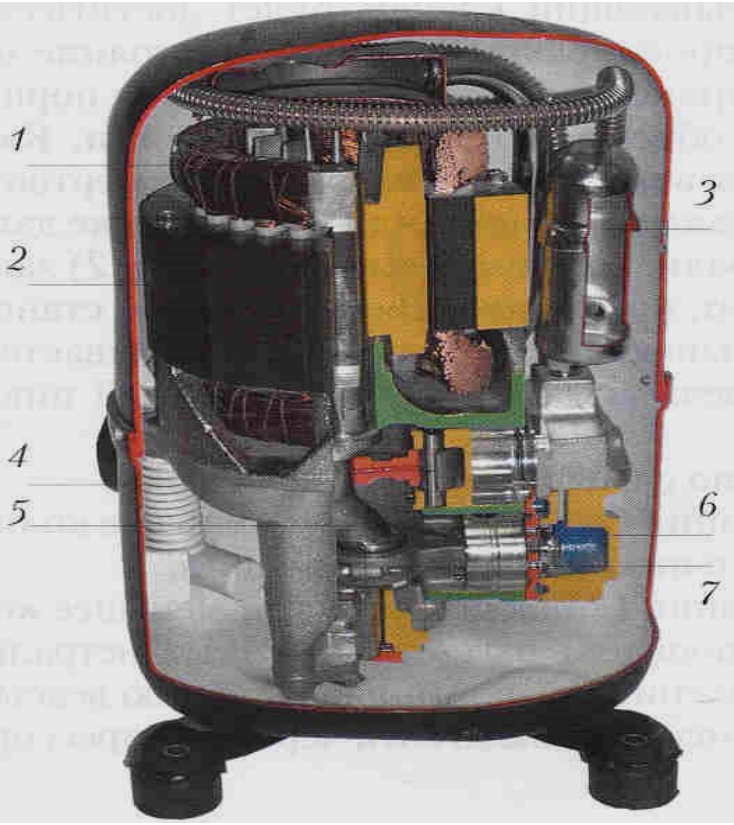
Поршневые компрессоры производятся в различных модификациях. В зависимости от типа конструкции компрессора и от типа электродвигателя различают следующие типы:

- герметичные;
- полу - герметичные;
- открытые.

В герметичных компрессорах электродвигатель и компрессор находятся в едином герметичном корпусе. Мощность таких компрессоров может составлять от *1,7* до *35 кВт*. Они широко используются в холодильных машинах малой и средней мощности.
типовой герметичный компрессор показан на Рис.5 *в*.

Поршневой герметичный компрессор

Рис.5 *в*



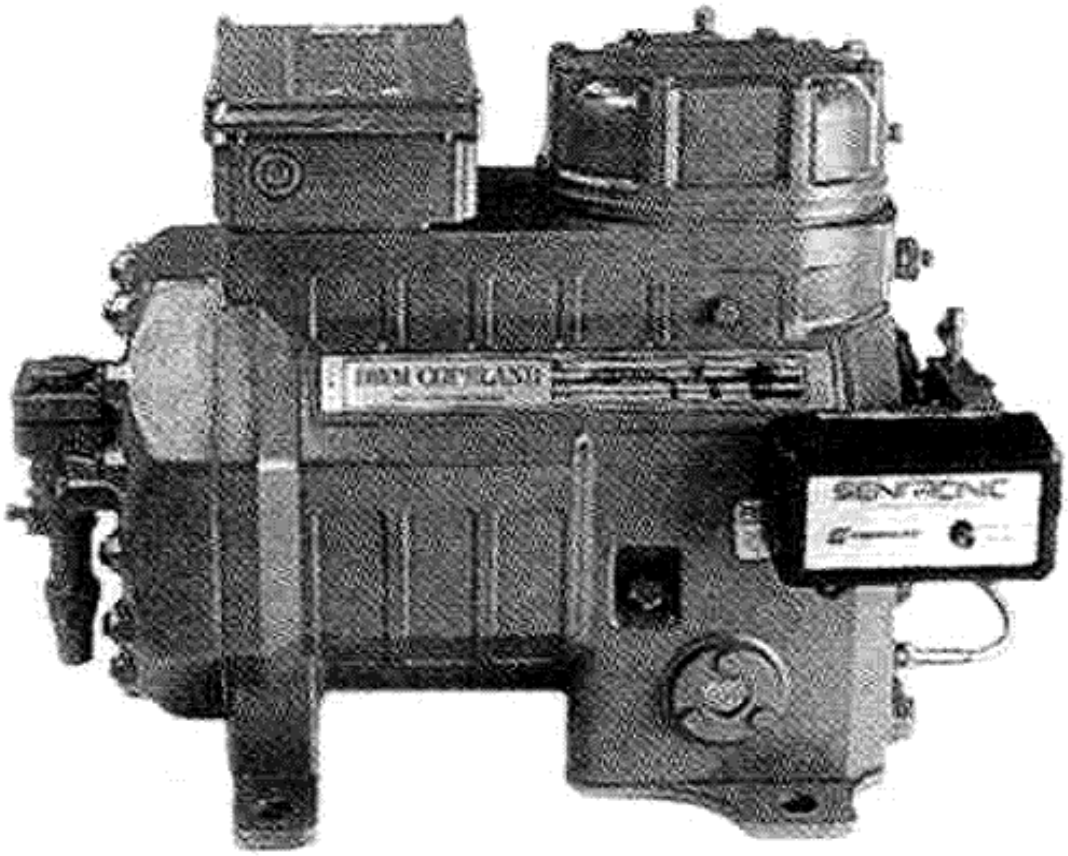
1 - обмотка электродвигателя;
2 - сердечник электродвигателя;
3 - глушитель;
4 - пружинный амортизатор;
5 - коленчатый вал;
6 - цилиндр;
7 - шатун.

В полу - герметичных компрессорах электродвигатель и компрессор - закрыты. Они соединены напрямую и расположены по горизонтали в едином разборном контейнере. Эти компрессора производятся в широкой линейке мощностей от *30* до *300 кВт*. В случае повреждения можно вынимать электродвигатель, получая доступ к клапанам, поршню, шатунам и другим повреждённым частям.

Они широко применятся в холодильных машинах средней и средне-большой мощности. Общий вид полу - герметичного компрессора показан на Рис.5 *г*.

Полу - герметичный компрессор.

Рис.5 *г*



В открытых компрессорах электродвигатель расположен снаружи. Вал с соответствующими сальниками выведен за пределы корпуса. Соединение электродвигателя с компрессором может быть прямым (в линию) либо через трансмиссию.

Охлаждение электродвигателя герметичных и полу - герметичных компрессоров производится самим же всасывающим хладагентом.

Регулирование мощности холодильной машины может выполняться как в режиме «пуск-остановка», так и сплавной регулировкой скорости вращения компрессора, с использованием специальных устройств, называемых инверторами.

В полу - герметичных компрессорах регулирование мощности может обеспечиваться также перепуском газа с выхода на вход либо закрытием всасывающего клапана одного из нескольких цилиндров.

Для привода компрессора используются, в зависимости от мощности, однофазные с конденсаторным пуском или трёхфазные электродвигатели.

Основным недостатком поршневого компрессора является наличие пульсаций давления паров хладагента на выходе из компрессора, а также большие пусковые нагрузки. Поэтому электродвигатель должен иметь запас мощности для пуска компрессора и иметь акустическую защиту для снижения уровня шума.

Количество запусков компрессора является наиболее критичным для его срока службы. Именно на режиме запуска происходит большое количество отказов, поэтому система управления холодильной машины ограничивает время между повторными пусками компрессора (как правило, не менее 6 минут) и время между основным и повторным пуском (2 - 4 минуты).

3.1.2 Ротационные компрессоры вращения.

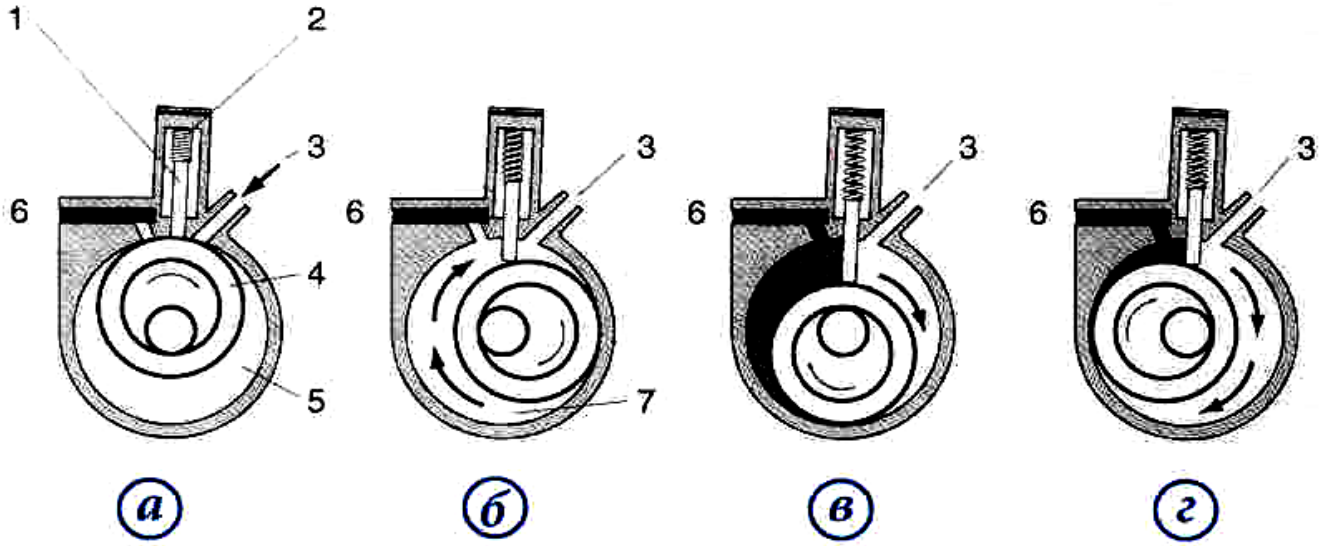
Ротационные компрессоры осуществляют всасывание и сжатие газа с помощью вращательного движения пластин.

В ротационных, так же, как в спиральных и винтовых компрессорах, существенно снижены пульсации давления и пусковые токи за счёт вращательного движения рабочих органов. Кроме того, поскольку такие компрессоры не имеют масляного картера, то значительно снижается возможность выброса масла при запуске компрессора.

Ротационные компрессоры производятся в двух вариантах: со стационарными пластинами (смотри Рис.6) и с вращающимися пластинами (смотри Рис.7).

Компрессор ротационный с неподвижными пластинами.

Рис.6



а *- заполнение газом имеющегося пространства;*

б *- начало сжатия и начало всасывания;*

в *- продолжение сжатия и всасывания;*

г *- завершение сжатия и окончательное заполнение газом существующего пространства.*

1 - пластина;
2 - пружина;
3 - всасывание;
4 - эксцентричный ротор;
5 - газ, сохранившийся при предыдущем витке вращения;
6 - выпуск;
7 - сжатие.

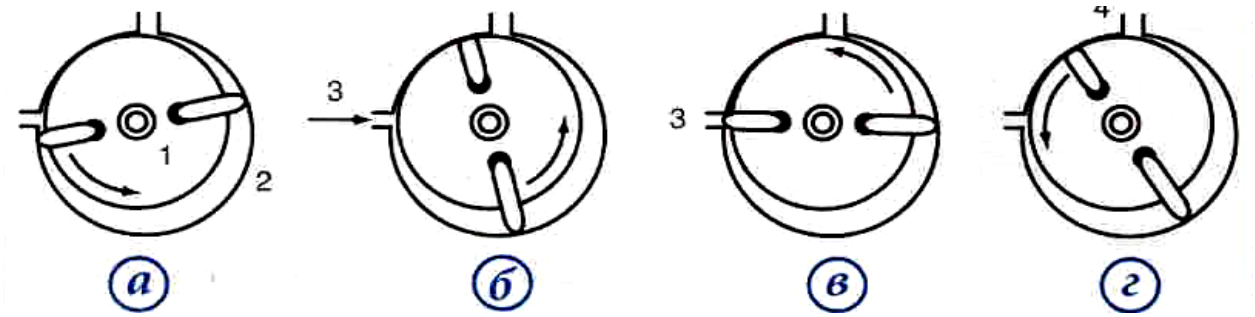
В компрессоре со стационарными пластинами на роторе двигателя установлен эксцентрик. При вращении ротора эксцентрик обкатывается по внутренней поверхности цилиндра, сжимая перед собой очередную порцию хладагента. Пластины разделяют зоны высокого и низкого давления.

Последовательные циклы всасывания и сжатия показаны на Рис. 6 *в*, *г*.

В компрессорах с вращающимися пластинами (смотри Рис.7) используется ротор (*1*), на котором установлены две или несколько пластин.

Ротационный компрессор с двумя подвижными пластинами.

Рис.7



а *- заполнение газом имеющегося пространства*; *1 - ротор*;

б *- начало сжатия и начало всасывания*; *2 - цилиндр*;

в *- завершение сжатия и всасывания*; *3 - всасывание*;

г *- начало всасывания и начало сжатия.* *4 - выпуск.*

Ось ротора смещена относительно оси цилиндра (*2*). Две пластины (*1*) образуют две чётко разграниченные зоны: зону высокого давления и зону низкого давления. Цикл всасывания и сжатия показан на Рис.7 *а ÷ г*.

3.1.3 Спиральные компрессоры SCROLL.

Спиральные компрессоры появились несколько лет назад и нашли широкое применение в холодильных машинах малой и средней мощности.

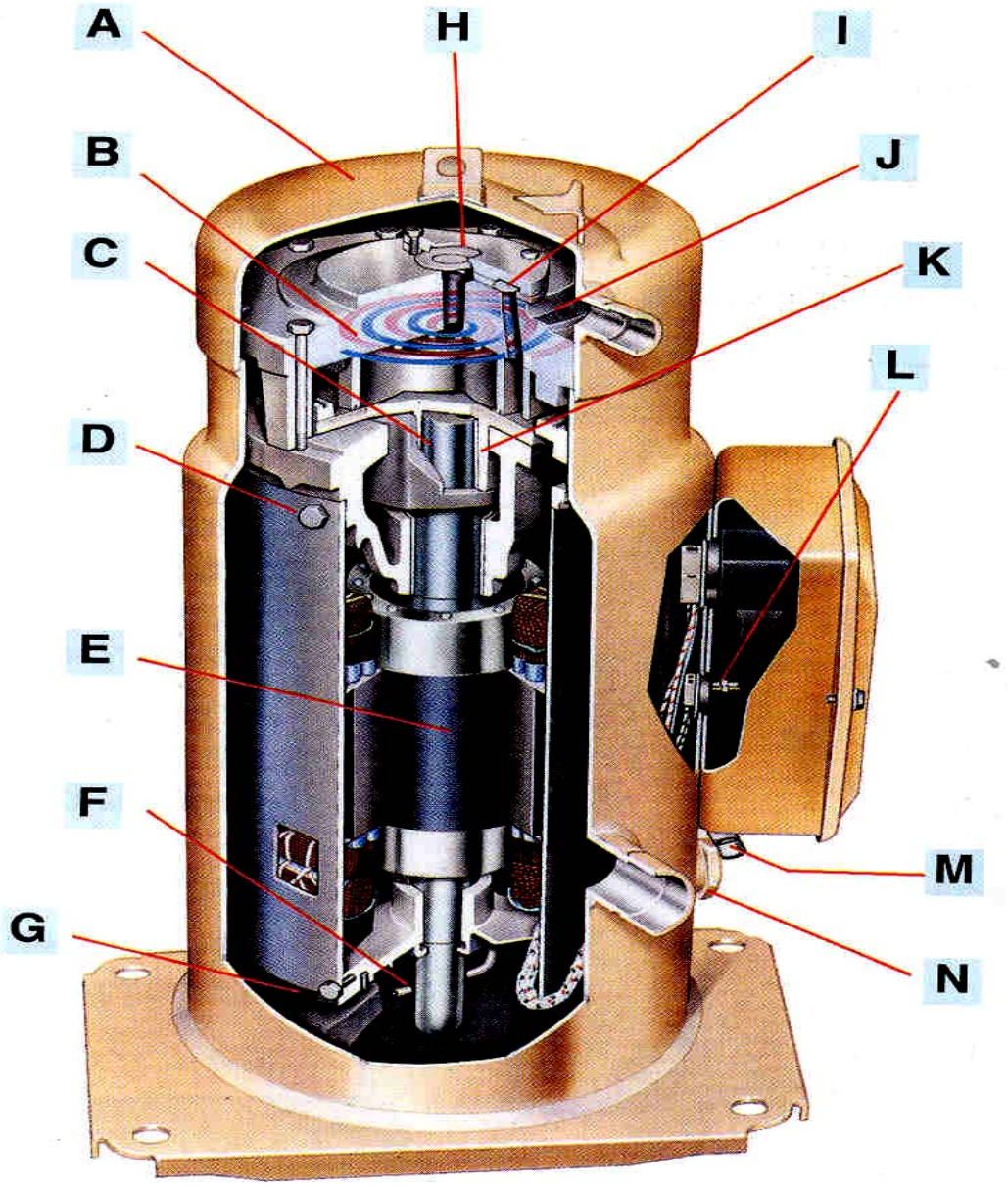
Компрессор состоит из двух стальных пластин, расширяющихся от центра к краю цилиндра и вставленных одна в другую (смотри Рис.8). Одна из спиралей закреплена неподвижно (*1*), вокруг неё вращается спираль подвижная (*2*).

Профиль спиралей образован кривой, которая в математике называется «эвольвентой». К примеру, зубчатые колёса шестерён имеют такой же профиль, благодаря которому в местах контакта зубья перекатываются друг по другу без проскальзывания.

В компрессоре *SCROLL* подвижная спираль (*2*) установлена на эксцентрике и при вращении её внешняя поверхность как бы катиться по внутренней поверхности неподвижной спирали (*1*). Благодаря этому точка контакта обеих спиралей постепенно перемещается от периферии к центру, сжимая перед собой пары хладагента и вытесняя их в центральное отверстие (*3*) в верхней крышке (*4*). Так как точек контакта несколько (они расположены на каждом витке подвижной спирали), то происходит плавное сжатие паров, уменьшается нагрузка на электродвигатель, особенно в момент пуска.

Спиральный компрессор SCROLL.

Рис.8



A: Камера нагнетания увеличенных размеров для амортизации пульсации горячих газов.

B: Чугунные спирали для уменьшения термических напряжений и увеличения коэффициента производительности (COP).

C: Упрощенная система привода подвижной спирали.

D: Труба для юстировки двигателя. Также снижает скорость газов на линии всасывания. Это позволяет улавливать посторонние частицы в нижней части компрессора.

E: Высокопроизводительный двигатель для снижения потребления электроэнергии.

F: Резервуар повышенной емкости для масла, предназначенный для оптимизации смазки при любых условиях работы.

G: Сепаратор примесей, позволяющий продлить срок службы компрессора.

H: Обратный клапан новой конструкции для уменьшения потерь давления и лучшей герметичности.

I: Клапан для предотвращения любого ущерба в случае инверсии фазы электрического тока.

J: Оптимизированный профиль спиралей для получения более высокого коэффициента производительности (COP).

K: Подшипники скольжения для снижения уровня шума.

L: Датчик температуры двигателя для более эффективной защиты.

M: Отверстие для слива и замены масла.

N: Указатель уровня масла.