

Содержание

2. Термодинамические основы холодильных машин

2.1 Обратные циклы

2.1.1 Обратный цикл Карно для холодильной машины

2.1.2 Цикл теплового насоса

2.1.3 Комбинированный цикл

[Назад][Содержание][Вперед]

ОСНОВЫ ХЛАДТЕХНИКИ

2. Термодинамические основы холодильных машин

Вспомним. Термодинамические диаграммы

Термодинамические диаграммы

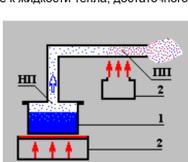
Визуальное отображение тепловых процессов, происходящих в холодильной машине, позволяет более глубоко понять их сущность. Без построения цикла холодильной машины в термодинамических диаграммах s - T (энтропия - температура) или i - lgP (энтальпия - давление) невозможно провести анализ ее работы. Кроме того, диаграммы (в отличие от громоздких таблиц, справочников) позволяют оперативно определить параметры холодильного агента, необходимые для тепловых расчетов.

Общие понятия Насыщенный и перегретый пар. Переохлажденная жидкость

По классическому определению в молекулярной физике насыщенным паром называют газ, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью. Насыщенный пар и жидкость находятся при одинаковом давлении и имеют одинаковую температуру.

Фазовые превращения жидкости в пар (кипение) и наоборот пара в жидкость (конденсация) происходят при одинаковой температуре, называемой температурой насыщения t_с. Для жидкости, кипящей при постоянном давлении, t_с является максимальной величиной, а для образовавшегося пара - минимальной.

Насыщенный пар получают при подводе к жидкости тепла, достаточного для ее кипения (Рис.1).



- 1 - сосуд с кипящей жидкостью
- 2 - источник тепла
- НП - насыщенный пар
- ПП - перегретый пар

Рис. 2.1 Образование насыщенного и перегретого пара.

Причем температура насыщения зависит от давления. При повышении давления температура t_с увеличивается, при понижении - уменьшается.

Температуру насыщенного пара можно повысить при дальнейшем подводе к нему тепла и такой пар называют перегретым. Перегрев пара происходит при достаточном отдалении его от границы с кипящей жидкостью.

Конденсация насыщенного пара происходит при отводе от него тепла. Температуру образовавшейся жидкости можно понизить при дальнейшем отводе от нее тепла и такую жидкость называют переохлажденной.

Таким образом, пар, имеющий температуру выше температуры насыщения (кипения), называют перегретым, а жидкость, имеющую температуру, ниже температуры насыщения (конденсации), называют переохлажденной.

Диаграмма s - T

Диаграмма поделена двумя пограничными кривыми на зоны фазового состояния холодильного агента: А - зона переохлажденной жидкости, В - зона парожидкостной смеси (или влажного насыщенного пара), С - зона перегретого пара.



- 1 - левая пограничная кривая, x=0
- 2 - правая пограничная кривая, x=1
- К - критическая точка;
- А - зона переохлажденной жидкости;
- В - зона парожидкостной смеси;
- С - зона перегретого пара;

Рис. 2.2 Термодинамическая диаграмма s-T (энтропия-температура)

В верхней части пограничные кривые соединяются в точке К, называемой критической. Выше нее холодильный агент находится в состоянии газа, не способного к фазовому переходу.

Из перечисленных наиболее сложной для восприятия является зона В, т.к. фазовые переходы происходят именно в ней. Увеличение энтропии s характеризует подвод тепла к хладагенту, при котором парожидкостная смесь кипит. Процентное содержание пара в смеси характеризуется величиной X, называемой паросодержанием или степенью сухости. В связи с этим в зоне А и на левой пограничной кривой X=0, т.е. пар отсутствует.

На правой пограничной кривой хладагент находится в состоянии насыщенного пара, поэтому X=1, т.е. в смеси 100% пара.

Уменьшение энтропии s характеризует отвод тепла от хладагента, при котором происходит обратный фазовый переход - конденсация пара.

Количество отведенного или подведенного тепла dq пропорционально изменению энтропии ds при температуре происходящего процесса, т.е. dq=ds*T. Изменение энтропии определяется по диаграмме разностью их значений.

Если процесс происходит при постоянной энтропии s=const, т.е. без теплоподвода (отвода) извне, то его называют адиабатным (изэнтропным).

Процессы таких параметров являются сжатием и расширением, которые на данной диаграмме происходят в вертикальном направлении.

Процессы кипения и конденсации в условиях постоянного давления P=const являются изотермическими, т.е. происходят при t=const, поэтому в зоне В изобары P=const совпадают с изотермами t=const.

В зоне А изобары P=const проходят под наклоном вниз, а в нижней части диаграммы они совпадают с левой пограничной кривой. Температура хладагента в этой зоне будет всегда ниже температуры насыщения (при этом же давлении), т.е. жидкость (в зоне А) по отношению к парожидкостной смеси (в зоне В) является переохлажденной.

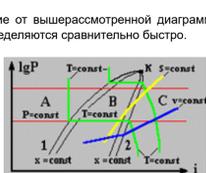
В зоне С изобары поднимаются вверх. Температура пара в этой зоне будет всегда выше температуры насыщения (при этом же давлении), т.е. пар (в зоне С) по отношению к парожидкостной смеси является перегретым.

В зоне В и С можно определить удельный объем пара v (с помощью изохор v=const), а также энтальпию i (с помощью изохор i=const).

Диаграмма s - T наглядно отображает изменение в тепловых процессах таких параметров как температура, энтропия, поэтому является полезной для визуального изучения циклов холодильной машины.

Диаграмма i - lgP

В отличие от вышерассмотренной диаграмма i - lgP более удобна в практическом пользовании, т.к. энтальпия i и давление P, необходимые для расчетов, определяются сравнительно быстро.



- 1 - левая пограничная кривая, x=0
- 2 - правая пограничная кривая, x=1
- К - критическая точка;
- А - зона переохлажденной жидкости;
- В - зона парожидкостной смеси;
- С - зона перегретого пара;

Рис. 2.3 Термодинамическая диаграмма i-lgP (энтальпия-давление)

Причем энтальпию можно определить по нижней и верхней шкале. Кроме того, численный анализ эффективности холодильного цикла проводится легче, т.к. количество подведенного (отведенного) тепла определяется разностью энтальпий конца и начала процесса.

Особенностью диаграммы является контур линий постоянных температур. Изотермы t=const изображены ломаными линиями, причем в зоне В они совпадают с изобарами P=const. Значения температур можно найти на левой и правой пограничной кривых. Для быстрого поиска температур их значения продублированы: в зоне А - в верхней части, в зоне С - в середине и нижней части диаграммы.

Удельный объем пара определяют по изохорам v=const, значения которых указаны в вертикальных столбцах: для насыщенного пара - в середине зоны В, для перегретого пара - в правой части зоны С.

Адиабатные процессы происходят по линии постоянной энтропии

2.1 Обратные циклы

Вспомним.

Из курса термодинамики известны прямые и обратные циклы. В прямых циклах теплота превращается в работу. На этом принципе основана работа паровых двигателей, двигателей внутреннего сгорания и др.

Обратные циклы осуществляются при затрате механической энергии. Из закона сохранения и превращения энергии следует, что теплота может превращаться в механическую работу и наоборот. Таким образом, теплота Q эквивалентна работе L, т.е.

$$Q = A * L,$$

где A - тепловой эквивалент работы

Поскольку теплота и работа измеряются в одинаковых единицах (Джоулях), то A = L, т.е. Q = L.

Действие обратных циклов основано на 2-м законе термодинамики, который применительно к холодильным машинам можно трактовать так - перенос теплоты от менее нагретого тела к более нагретому может быть осуществим при затрате энергии.

Известны три вида обратного цикла :

1. Холодильный цикл, в котором теплота переносится от охлаждаемого объекта к окружающей среде (Рис.) (рис.10а).



- а) цикл холодильной машины;
- б) цикл теплового насоса;
- в) комбинированный цикл;
- нс-нагреваемая среда;
- окр-охлаждаемая среда;
- охл-охлаждаемая среда.

Рис. 2.4 Обратные циклы Карно для различных интервалов температур

2. Цикл теплового насоса, в котором теплота переносится от окружающей среды к нагреваемому объекту, имеющему более высокую температуру (Рис.) (рис.10б).

3. Комбинированный цикл, в котором теплота переносится от охлаждаемого объекта к нагреваемому объекту, имеющему более высокую температуру (Рис.) (рис.10в).

Обратные циклы являются поворотными, если процессы, происходящие в них, являются обратимыми, т.е. тела, участвующие в этих процессах, могут быть возвращены в первоначальное состояние, без остаточных изменений. Например, в процессе кипения жидкости теплота превращается в пар, а в процессе конденсации пар возвращается в исходное жидкое состояние.

Обратимые циклы экономически эффективны, поскольку совершаются при минимальных затратах энергии. К таким относят обратные циклы Карно.

2.1.1 Обратный цикл Карно для холодильной машины

Рассмотрим работу идеальной холодильной машины, которая теоретически осуществляется по обратному циклу Карно (рис.).



Рис. 2.5 Обратный цикл Карно холодильной машины

В процессе охлаждения должны участвовать три тела: охлаждаемая среда, т.е. объект охлаждения с температурой T_{охл}, охлаждающая среда - холодильный агент с температурой T_{охл} (в холодном состоянии) и T (в нагретом виде) и окружающая среда (T_{окр}), в которую переносится теплота от охлаждаемой среды. Обычно ею является наружный воздух или вода.

Условия работы:

1. Температура холодильного агента T_о и окружающей среды T_{окр} в процессах теплообмена должна быть постоянной (т.е. они являются бесконечно большими телами).

2. Теплообмен между холодильным агентом и охлаждаемым объектом (а также окружающей средой) должен быть идеальным. Отсюда следует, что холодильный агент должен понизить температуру охлаждаемого объекта до своего уровня, т.е. T_о = T_{охл}.

Для переноса в окружающую среду теплоты, взятой от объекта охлаждения, холодильный агент должен быть нагрет до температуры T_{окр}.

В реальных условиях такой теплообмен невозможен и состоит только при наличии разности температур. Т.е. температура холодильного агента T_ореал должна быть ниже температуры объекта охлаждения T_{охл}.

Аналогично, температура нагретого хладагента T_{реал} должна быть выше температуры окружающей среды T_{окр}.

Цикл Карно для холодильной машины состоит из двух обратимых изотермических процессов (4-1) и (2-3) и двух обратимых адиабатных процессов (1-2) и (3-4). Рассмотрим каждый из них.

(4-1) - процесс, при котором к холодильному агенту подводится тепло от охлаждаемого объекта. Поскольку холодильный агент является бесконечно большим телом, поэтому его температура T_о при охлаждении остается постоянной. Тепло, полученное 1 кг холодильного агента, называют удельной массовой холодопроизводительностью и обозначают q_о, кДж/кг.

Клаузиусом (на основе работ Карно) было введено понятие об энтропии и установлено, что, увеличение энтропии DS, умноженное на температуру T, определяет количество тепла, полученное телом, т.е.

$$\Delta Q = T * \Delta S.$$

Процесс (4-1) происходит при температуре T_о, а изменение энтропии DS равно S_а - S_б, тогда количество полученного тепла равно:

$$q_o = T_o(S_a - S_b)$$

На цикле отрезок T_о является высотой прямоугольника, а (S_а - S_б) является его основанием, поэтому произведение T_о на (S_а - S_б) графически выражает площадь. В связи с этим, в дальнейшем холодопроизводительность q_о можно визуальнo представлять в виде площади, ограниченной точками (а - 1 - 4 - в).

Для того, чтобы передать полученное тепло q_о окружающей среде, (т.е. перенести тепло с низшего температурного уровня на высший), необходимо холодильный агент нагреть до температуры окружающей среды, иначе теплообмен не состоится. Это достигается адиабатным сжатием холодильного агента - процесс (1-2). В результате повышения давления от P_о до P температура хладагента T_о увеличивается до T. Обычно сжатие происходит в компрессоре, поэтому затрачивается работа сжатия I_{сж}.

(2-3) - изотермический процесс, при котором холодильный агент отдает тепло q окружающей среде. По аналогии с ΔQ = T*ΔS можно записать, что количество - теплоты, переданное окружающей среде равно:

$$q = T * (S_a - S_b)$$

Теплота q эквивалентна площади, ограниченной точками (а-2-3-б).

Для возврата холодильного агента в исходное холодное состояние применяют процесс адиабатного расширения (3-4), при котором T снижается до T_о, при этом совершается работа расширения I_{расш}.

При совершении обратного цикла Карно работа равна:

$$I = I_{сж} - I_{расш}$$

Эта работа воспринимается холодильным агентом в виде тепла (см. закон сохранения энергии) в количестве, эквивалентном затраченной работе. Таким образом, тепло I, как и тепло q_о, передается окружающей среде. Общее количество тепла, переданное окружающей среде, равно их сумме и обозначается символом q.

Тепловой баланс цикла Карно

$$q = q_o + I$$

Эффективность работы холодильной установки характеризуется холодильным коэффициентом ε.

$$\epsilon = q_o / I = T_o * 7(S_a - S_b) / (T - T_o) * 7(S_a - S_b) = T_o / (T - T_o) \quad (2)$$

Холодильный коэффициент цикла Карно зависит не от свойств холодильного агента, а от температурного режима холодильной машины. Чем выше ε, тем экономичней работа холодильной машины. Иными словами, холодильная машина будет работать достаточно эффективно, если без необходимости не снижать температуру хладагента T_о и не повышать его температуру сжатия T. Поскольку в идеальных условиях T = T_{окр}, то эффективность работы машины зависит от температуры окружающей среды T_{окр}. Поэтому в жарком климате эффективность работы холодильной машины снижается.

Как отмечалось ранее, в реальных условиях температура холодильного агента T_ореал должна быть ниже температуры охлаждаемой среды T_{охл} (поскольку из условий работы T_{охл}=T_о, то T_ореал < T_о), а температура нагретого хладагента T_{реал} должна быть выше температуры окружающей среды T_{окр}, т.е. T_{реал} > T. В этом случае работа на совершение цикла в реальной холодильной машине I_{реал} будет больше работы, затрачиваемой в идеальной холодильной машине I_{ид.Карно}, т.е. I_{реал} > I_{ид.Карно}. (Рис.) См. рис. . Из выражения (2) можно заключить, что ε_{реал} < ε_{ид.Карно}.

2.1.2 Цикл теплового насоса

В цикле теплового насоса (Рис.) (Рис.11б) тепло переносится от окружающей среды с температурой T_{окр} к нагреваемой среде (с ограниченными размерами) с температурой T_{нс}.

Тепловые насосы применяют для отопления и горячего водоснабжения небольших поселков. Использование тепловых насосов позволяет отказаться от котельных и от топлива для них, что, в свою очередь, улучшает экологическую ситуацию в районе его установки.

Кроме того, использование тепла нагретого холодильного агента, которое на некоторых предприятиях является бросовым, экономически является выгодным.

Эффективность работы теплового насоса характеризуется коэффициентом преобразования (отопительным коэффициентом) m.

$$m = q_r / I,$$

где q_r - количество тепла, переданное 1 кг рабочего тела нагреваемой среде

Поскольку ε = q_о / I, то m = ε + 1, следовательно, энергетическая эффективность теплового насоса выше, чем эффективность холодильной машины.

Будет Дополнительная информация и рисунки

2.1.3 Комбинированный цикл

Широко распространены машины работающие по комбинированному циклу. В этих циклах (Рис.) (Рис.11в) тепло q_о отводится от охлаждаемой среды (T_{охл}) и передается нагреваемой среде с температурой T_{нс}.

При этом машина одновременно вырабатывает холод и нагревает какой-либо объект. Например, на промышленных предприятиях их применяют для охлаждения воды (рассола) и одновременного нагрева технологической воды до 50 - 60°С.

Работа по данному циклу является более эффективной, чем работа холодильной машины и теплового насоса. Применение подобных машин осуществляют с различным приоритетом в зависимости от основного назначения: преимущественная выработка холода, преимущественная выработка тепла или равная выработка холода и тепла.

Будет Дополнительная информация и рисунки