

Тема 6. ЦИКЛЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

1. Назначение холодильной установки и теплового насоса. Условия их работы.
2. Цикл паровой компрессионной холодильной установки
3. Цикл теплового насоса

1. НАЗНАЧЕНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ТЕПЛОВОГО НАСОСА, УСЛОВИЯ ИХ РАБОТЫ.

*Во многих отраслях производства, например при хранении пищевых продуктов, а также в различных технологических процессах необходимо поддерживать температуру на более низком уровне, чем температура окружающей среды. Иногда требуется трансформация теплоты с более низкого температурного уровня на более высокий.

Холодильные установки предназначены для понижения температуры тел ниже температуры окружающей среды и ее поддержания на требуемом уровне.

*Промышленное получение искусственного холода впервые было осуществлено с помощью холодильной установки, в которой в качестве рабочего тела использовался воздух. Существенный ее недостаток—малая эффективность цикла и весьма ограниченная область возможного применения.

Цикл теплового насоса в принципе не отличается от цикла холодильных машин.

Тепловые насосы применяют для отбора теплоты из окружающей среды и передачи ее объекту с более высокой температурой. Если для холодильных установок теплоприемником является окружающая среда, то для теплового насоса она служит источником теплоты.

Источником теплоты низкой температуры для теплового насоса могут служить внешняя атмосфера, вода водоемов или термальных вод, теплота земли (геотермальные источники), а также охлаждающая вода конденсаторов турбин или компрессоров, выпускные газы двигателей внутреннего сгорания, воздух, удаляемый из помещений ферм, и т. д.

Теплоприемником может быть система отопления помещений или различные технологические процессы.

*Использование тепловых насосов для отопления зданий впервые было предложено В. Томсоном, а детальная техническая разработка этой идеи осуществлена В. А. Михельсоном.

Принцип действия холодильных установок и тепловых насосов основан на совершении рабочим телом обратного термодинамического кругового процесса. В результате этого теплота отводится от охлаждаемого тела и передается окружающей среде, имеющей более высокую температуру.

Количество теплоты, отводимой от охлаждаемого тела за единицу времени (за час), называется *холодильной мощностью холодильной установки*. Холодильная мощность, отнесенная к 1 кг холодильного агента (рабочего тела), называется *удельной холодильной мощностью холодильного агента*. Для характеристики эффективности обратного цикла вводят понятие холодильного коэффициента ϵ_x .

Наибольшее распространение нашли компрессионные установки, в которых энергия, необходимая для выработки искусственного холода, затрачивается в виде механической энергии на привод компрессора и абсорбционные установки, в которых для повышения давления рабочего тела используется термохимическая компрессия.

В настоящее время в качестве рабочих тел (холодильных агентов) применяют так называемые низкокипящие жидкости:

- а) аммиак NH_3 ($t_{\text{кип}} = -33,35^\circ\text{C}$),
- б) различные фреоны — фторхлорпроизводные углеводородов типа C_mH_n :
 - трихлорфторметан: Фреон R11, Фреон-11, Хладон-11 ($t_{\text{кип}} = -23,8^\circ\text{C}$)
 - дифтордихлорметан— Фреон R12, Фреон-12, Хладон-12 ($t_{\text{кип}} = -29,8^\circ\text{C}$) и др.

Фреоны очень инертны в химическом отношении, поэтому они не горят на воздухе, взрывобезопасны даже при контакте с открытым пламенем.

2. ЦИКЛ ПАРОВОЙ КОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

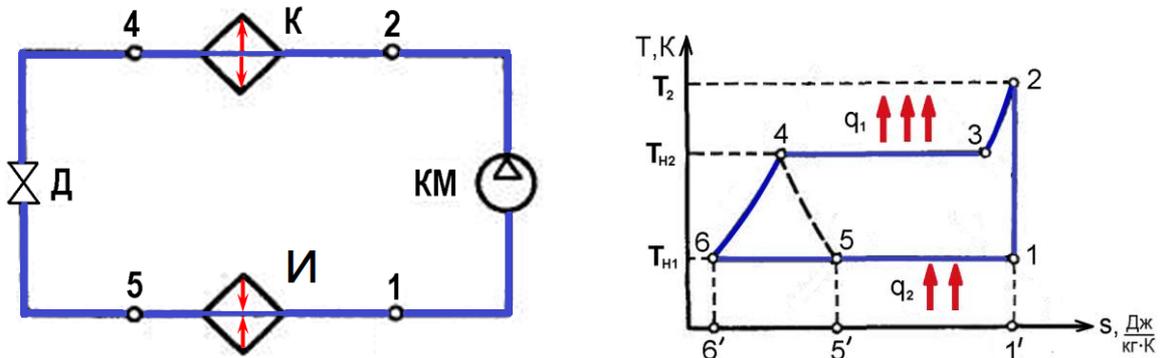


Рис. 1. Схема компрессионной паровой холодильной установки и изображение цикла в Ts-координатах: КМ — компрессор; И — испаритель; Д — дроссельный клапан; К — конденсатор.

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 1, здесь же приведен ее цикл в Ts-координатах (цифры на схеме соответствуют точкам, указанным на Ts-диаграмме).

Установка работает следующим образом.

1) Из испарителя «И» влажный насыщенный пар со степенью сухости x_1 при давлении p_1 и температуре $T_{Н1}$ всасывается компрессором «КМ» и сжимается адиабатно (процесс 1—2) до давления p_2 и температуры T_2 .

2) Из компрессора пар подается в конденсатор «К», где, охлаждаясь водой или окружающим воздухом, при постоянном давлении p_2 превращается вначале в сухой насыщенный пар (процесс 2—3), а затем полностью переходит в жидкость (процесс 3—4).

На T-s-диаграмме теплота q_1 , отданная рабочим телом в конденсаторе, эквивалентна площади: 2—3—4—5—5'—1'—2.

3) На выходе из конденсатора жидкое рабочее тело, проходя через клапан «Д», дросселируется (на диаграмме этот процесс условно изображен линией 4—5).

Дросселированием называется процесс, происходящий при движении потока через местное сопротивление в трубопроводе, связанный с падением давления в направлении течения (рис. 2). Опыт показывает, что если на пути потока встречается местное сопротивление в виде суженного сечения, то в процессе течения потока давление рабочего тела понижается. Дросселирование — это адиабатный процесс, т.к. протекает без подвода (отвода) теплоты извне без совершения внешней работы. Этот процесс необратим и сопровождается возрастанием энтропии.

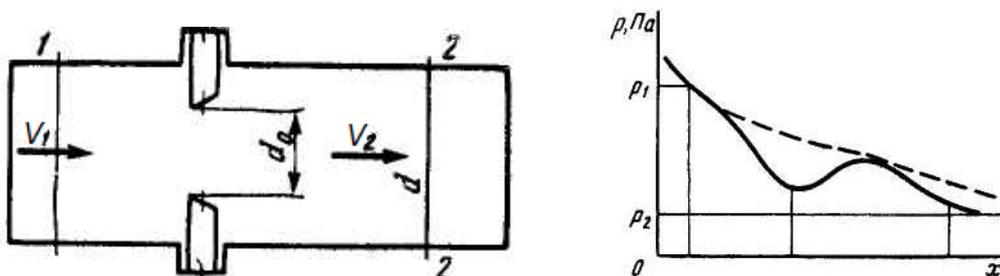


Рис. 2. Схема дросселирования потока и изменение давления вдоль канала при дросселировании.

v_1 и v_2 — скорость движения рабочего тела до и после сужения, м/с

d_0 и d — диаметры дроссельного отверстия и трубопровода, м

Для идеального газа температура одинакова как до суженного сечения, так и после него.

У реальных газов и паров происходит изменение температуры после дроссельного отверстия. Явление изменения температуры рабочего тела в результате адиабатного дросселирования

называют *эффектом Джоуля — Томсона*. Изменение температуры происходит в зависимости от изменения давления:

$$\alpha = \frac{\partial T}{\partial p} \quad (1)$$

где α — коэффициент адиабатного дросселирования, или коэффициент дифференциального дроссель-эффекта.

Знак изменения dT зависит от знака α . Если $\alpha > 0$, то $dT < 0$, т.е. при дросселировании рабочее тело охлаждается. Это явление называют *положительным эффектом Джоуля—Томсона*. При $\alpha < 0$ $dT > 0$, т.е. при дросселировании рабочее тело нагревается — *отрицательный эффект Джоуля — Томсона*. При $\alpha = 0$ $dT = 0$ т.е. в результате дросселирования рабочее тело не меняет своей температуры.

При дросселировании энтальпия рабочего тела не изменяется $h_4 = h_5$, при этом давление падает от p_2 до p_1 . В нашем случае коэффициент адиабатного дросселирования $\alpha > 0$, поэтому температура рабочего тела снижается до $T_{н1}$. В точке 5 пар влажный насыщенный (степень сухости x_5).

4) После дроссельного клапана рабочее тело поступает в рефрижератор. В результате подвода теплоты q_2 , хладагент испаряется до состояния, изображаемого точкой 1 (процесс 5—1).

На T-s-диаграмме подведенная теплота q_2 эквивалентна площади: 5—1—1'—5'—5.

Холодильный коэффициент этой установки

$$\varepsilon_x = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

где h_1 и h_2 — энтальпии рабочего тела до и после компрессора;
 h_5 — энтальпия рабочего тела после дроссельного клапана.

Работа, затраченная в компрессоре равна:

$$l_K = h_2 - h_1 \quad (3)$$

3. ЦИКЛ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Схема теплового насоса приведена на рисунке 3.

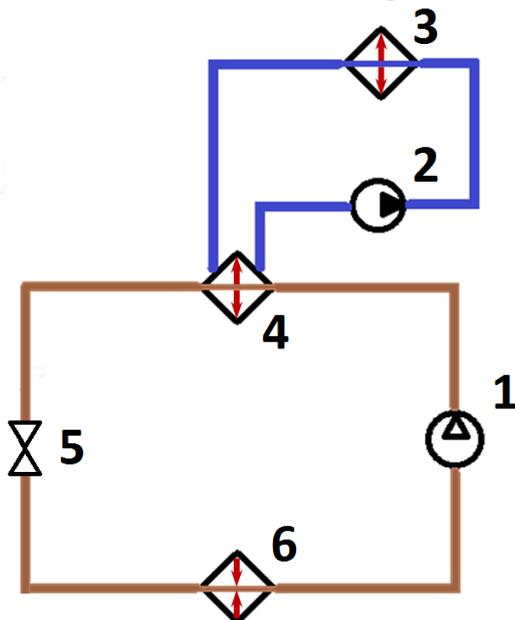


Рис. 3. Схема теплового насоса

1) В испарителе 6 хладагент испаряется за счет теплоты q_2 , подведенной из окружающей среды, например из водоема.

2) Затем пар поступает в компрессор 1, где сжимается за счет затраченной работы l_K .

3) После сжатия в компрессоре хладагент подается в конденсатор 4, где превращается в жидкое состояние.

Змеевик омывается водой, циркулирующей через обогреваемый объект (к примеру, в системе отопления помещения). При этом к воде подводится кроме теплоты q_2 , по своей сути даровой, также теплота, эквивалентная затраченной работе компрессора l_K .

4) Затем конденсат через дроссельный клапан 5 поступает в испаритель 6.

5) Из змеевика конденсатора 4 с помощью насоса 2 нагретая вода поступает к радиатору отопления 3.

Эффективность теплового насоса оценивают коэффициентом преобразования, представляющим собой отношение количества теплоты Q_1 , сообщенной нагреваемому объекту к затраченной работе $l_{ц}$:

$$\psi = \frac{q_1}{l_{ц}} = \frac{(q_2 + l_{ц})}{l_{ц}} = \varepsilon_x + 1 \quad (4)$$

где ε_x — холодильный коэффициент.

Отсюда следует, что коэффициент преобразования ψ больше единицы. Его значение колеблется в пределах 3... 7, а при использовании высокотемпературных источников (к примеру, выпускных газов тепловых двигателей) еще выше.