

Задача №1.

Вариант №17.

Воздушная холодильная машина работает в интервале температур между температурой охлаждаемого пространства $t_3 = -13^{\circ}\text{C}$ и температурой среды (конденсатора) $t_1 = 25^{\circ}\text{C}$. Известны: давления $p_1 = 0,35 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,101 \text{ МПа}$. В цикле участвует 1 кг воздуха. Определить:

- 1) количество тепла, отнимаемого у охлаждаемого пространства q_2
- 2) необходимую затрату работы $l_{ц}$
- 3) количество подводимого к конденсатору тепла q_1 .
- 4) Определить холодильный коэффициент ε .

Показатель адиабаты воздуха $k=1,4$.

Схема установки и Ts- диаграмма приведены на рис. 1.

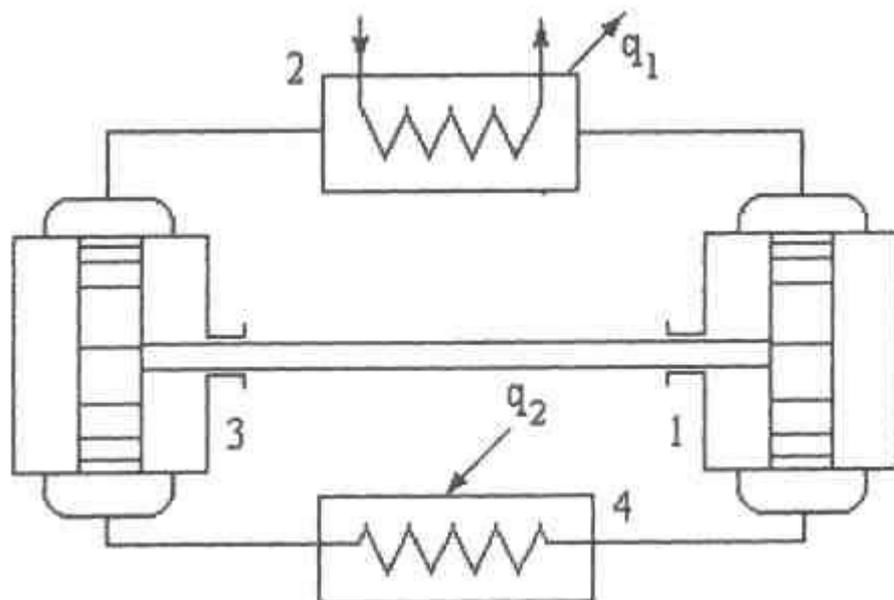


Рис. 1. Схема воздушной холодильной установки:

- 1) Воздушный компрессор
- 2) Воздушный охладитель (теплообменник для отвода теплоты от охлаждаемого воздуха в окружающую среду)
- 3) Воздушный детандер
- 4) Рефрижератор (охлаждаемый объём)

Решение

Воздушная холодильная установка работает по циклу Лоренца (обратному циклу Брайтона).

Процесс 1–2 — адиабатное расширение в детандере

Процесс 2–3 — изобарный теплообмен в рефрижераторе

Процесс 3–4 — адиабатное сжатие в компрессоре

Процесс 4–1 — изобарный теплообмен в рефрижераторе

Для дальнейшего расчета переведем исходные данные в СИ:

$$T_3 = -13 + 273 = 260 \text{ K}$$

$$T_1 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$p_1 = 0,35 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$p_2 = 0,101 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

1. По заданным давлениям в конденсаторе и рефрижераторе определим степень повышения давления в компрессоре и степень понижения давления в детандере.

Они равны между собой

$$\pi_k = \pi_\partial = \frac{p_1}{p_2} = \frac{0,35}{0,101} = 3,465 .$$

2. Определим холодильный коэффициент:

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1} = \frac{1}{3,465^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1} = 2,346 .$$

3. Воздух сжимается в компрессоре (1) (рис. 1), поэтому определим температуру цикла T_4 в конце сжатия по уравнению связи параметров адиабатного процесса:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} ,$$

отсюда температура воздуха на выходе из компрессора

$$\begin{aligned} T_4 &= T_3 \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = T_3 \cdot \pi_k^{\frac{k-1}{k}} = 260 \cdot 3,465^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 260 \cdot 1,426 = 370,84 \text{ K} = \\ &= 97,7 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

На компрессоре температура повышается от -13°C до $97,7^\circ\text{C}$ на $110,8^\circ\text{C}$.

4. Сжатый воздух проходит через охладитель (2), и его температура уменьшается от $97,7^\circ\text{C}$ до 25°C на $72,7^\circ\text{C}$.
5. В детандере воздух расширяется, и его температура падает. Определим температуру воздуха T_2 на входе в холодильную камеру (рефрижератор) (4). Процесс расширения адиабатный, поэтому воспользуемся уравнени-

ем связи параметров адиабатного процесса:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}},$$

тогда

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_1}{\pi_\partial^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{298}{3,465^{\frac{1,4-1}{1,4}}} = \frac{298}{1,426} = 208,9 \text{ K} = -64,1^\circ\text{C}.$$

Температура в детандере понизилась на:

$$T_1 - T_2 = 25 - (-64,1) = 89,1^\circ\text{C}.$$

$$T_1 - T_2 < T_4 - T_3;$$

$$89,1^\circ\text{C} < 110,8^\circ\text{C}.$$

Таблица 1.

Температура воздуха в основных точках цикла

Точка	1	2	3	4
Температура, °C	25	-64,1	-13	97,7

- 6.** Определим количество теплоты q_2 , отнятой у охлаждаемого воздуха в холодильной камере (4), в расчете на 1 кг воздуха:

$$q_2 = c_p(T_3 - T_2) = 1,004(-13 - (-64,1)) = 51,27 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Где $c_p = 1,004 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$ — удельная изобарная массовая теплоёмкость воздуха.

- 7.** Определим работу цикла $l_{\text{цикл}}$ с помощью уравнения холодильного коэффициента ε :

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l_{\text{цикл}}},$$

откуда

$$l_{\text{цикл}} = \frac{q_2}{\varepsilon} = \frac{51,27}{2,346} = 21,86 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

- 8.** Определим количество теплоты q_1 , подводимое к охладителю (2):

$$q_2 = q_1 + \varepsilon = 51,27 + 21,86 = 73,13 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Построим рассчитанный холодильный цикл в $p\nu$ - и Ts - координатах:



Рис.2. Цикл воздушной холодильной установки в $p\nu$ - координатах

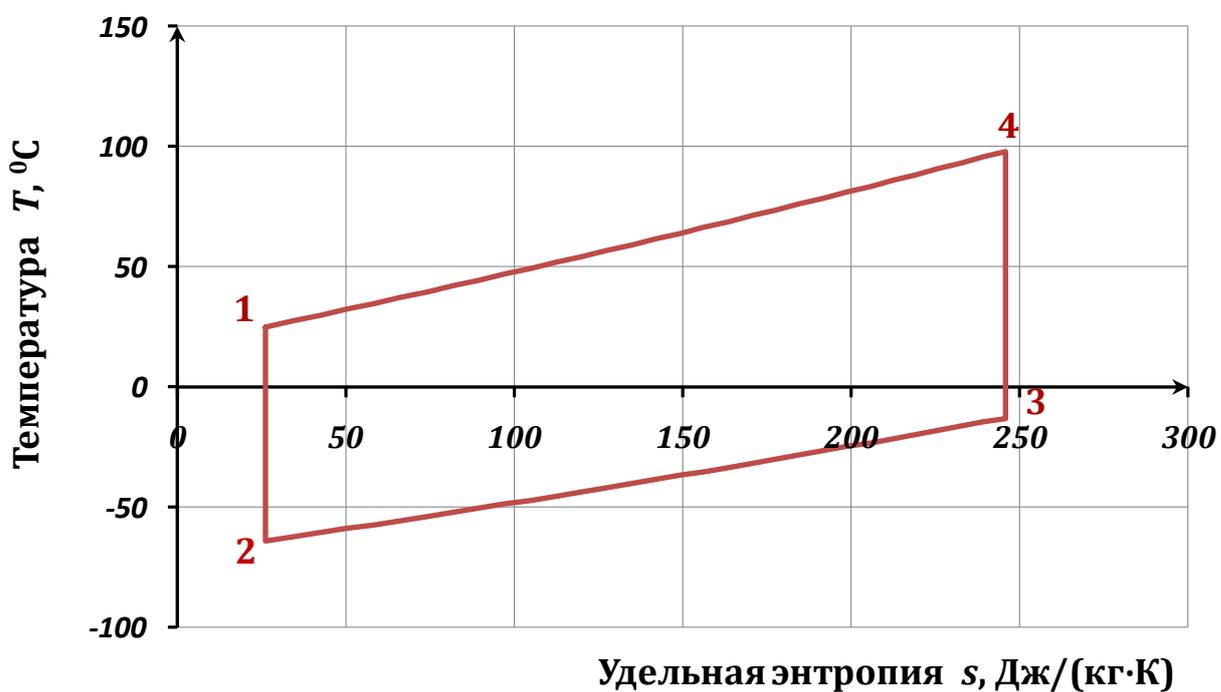


Рис.3. Цикл воздушной холодильной установки в Ts – координатах

Вопрос №3.

Какие устройства входят в состав холодильной установки?

С термодинамической точки зрения холодильный цикл предназначен для организации противоестественного переноса теплоты от более холодного тела (охлаждаемый объём) к более горячему (окружающей среде). Самопроизвольно такие процессы идти не могут (согласно второму началу термодинамики), но холодильный цикл как раз позволяет создать условия для такого перехода теплоты.

Основными элементами холодильной установки, воздушной или парокompрессионной, являются:

1. **Компрессор.**
2. **Детандер** (для воздушной) или **дроссельный вентиль** (для парокompрессорной).
3. **Охладитель** (для воздушной) или **конденсатор** (для парокompрессорной).
4. **Рефрижератор** (для воздушной) или **испаритель** (для парокompрессорной).

То есть любой холодильник, работающий по циклу Лоренца (обратному циклу Брайтона) имеют два механические устройства для сжатия и расширения рабочего тела, и два теплообменника, в одном из которых происходит подвод теплоты к рабочему телу (а, значит, отвод теплоты от охлаждаемого объёма), а во втором, наоборот, происходит отвод теплоты от рабочего тела в окружающую среду. Для парокompрессорной холодильной машины первый тип теплообменников называется испарителем, второй — конденсатором, по названию физических процессов, происходящих в них. Для воздушной холодильной машины испарителя как такового нет, просто охлажденная порция воздуха подмешивается к остальному воздуху рефрижератора.

Таким образом, в холодильном цикле организованы две пары взаимно обратных процессов: сжатия-расширения, протекающих адиабатно (без внешнего теплообмена), и отвода-подвода теплоты, протекающих при постоянном давлении (изобарно).

Холодильники традиционных схем делятся на две большие группы: воздушные и парокompрессорные.

Рабочим телом воздушных холодильных машин является атмосферный воздух, который по ходу цикла сжимается в компрессоре до температур, вы-

ше атмосферной; затем охлаждается в охладителе до атмосферной температуры, затем расширяется в детандере (поршневом или турбодетандере) до давления окружающей среды, при этом его температура понижается ниже температуры, поддерживаемой в рефрижераторе (охлаждаемом объеме) и нагнетается в этот самый охлаждаемый объем, подмешиваясь к остальному воздуху и понижая его температуру. Далее воздушный цикл повторяется. По воздушному холодильному циклу работают в основном кондиционеры. Никаких фазовых переходов с рабочим телом — воздухом в таком цикле не происходит. Поэтому степень захлаживания воздушной холодильной установки, как и холодильный коэффициент, относительно не высокие.

В парокompрессорной холодильной установке рабочим телом выбирается такое вещество (обычно, один из фреонов), которое и в испарителе, и в конденсаторе претерпевает фазовый переход, который, как известно, интенсифицирует все процессы теплообмена. В конденсаторе происходит охлаждение перегретого пара до температуры насыщения с последующей конденсацией при той же самой температуре насыщения, которая выбирается, обычно, несколько выше температуры охлаждаемой среды. В испарителе, напротив, влажный насыщенный пар забирая теплоту у охлаждаемого, испаряется, становясь сухим насыщенным. Эти процессы возможны благодаря тому, что рабочее тело в конденсаторе находится при высоком давлении, а в испарителе — при давлении разряжения. Дроссель — устройство, позволяющее создавать разряжение, представляет собой участок резкого сужения проходного сечения канала. Адиабатное дросселирование жидкости, находящейся при температуре насыщения сопровождается вскипанием и резким понижением температуры. Поэтому степень захлаживания и холодильный коэффициент парокompрессорной холодильной машины выше, чем воздушной. А дроссельные устройства, в силу своей простоты, в парокompрессорных холодильных машинах в основном вытеснили детандеры, хотя в промышленных холодильниках большой хладопроизводительности используются турбодетандеры, или просто турбины.

Цикл воздушной холодильной машины представлен на рис. 2 и 3 предыдущей задачи.