

Тема: ЦИКЛЫ КАРНО.

1. Прямой цикл Карно.
2. Обратный цикл Карно

1. ПРЯМОЙ ЦИКЛ КАРНО.

Все тепловые двигатели, превращающие тепловую энергию в механическую энергию, работают по круговым циклам или термодинамическим циклам.

Цикл Карно — идеальный термодинамический цикл тепловых машин. Цикл разработан французским ученым Сади Карно в 1824 г. Тепловая машина Карно, работающая по этому циклу, обладает максимальным КПД из всех тепловых машин.

Различают прямой цикл Карно и обратный цикл Карно.

Прямой цикл является наиболее экономичным для данного интервала температур. Он является идеальным циклом теплового двигателя.

В качестве рабочего тела служит идеальный газ. Цикл состоит из четырех процессов: двух адиабатных и двух изотермических.

Данные процессы следуют друг за другом последовательно.

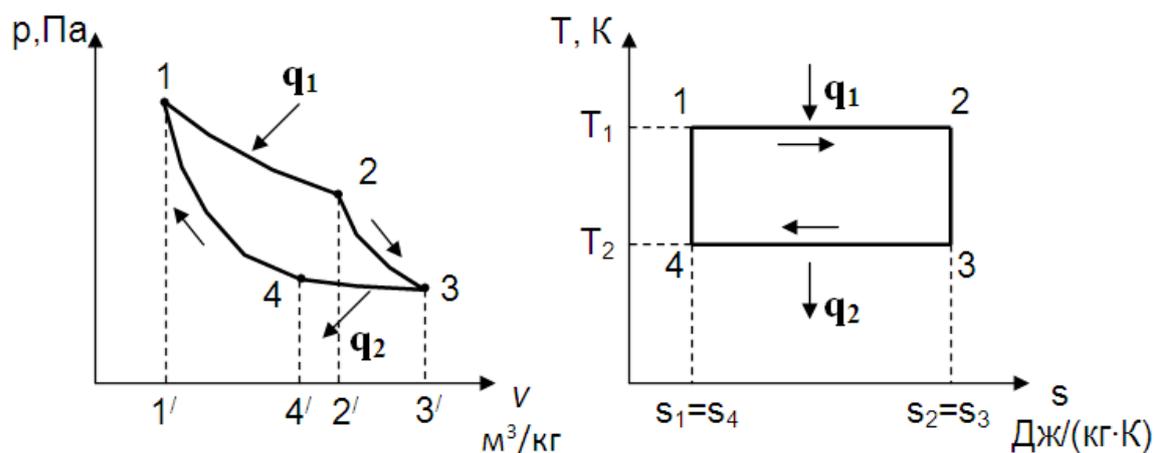


Рис. 1 Диаграмма прямого цикла Карно

1-2 – изотермический 2-3 – адиабатный 3-4 – изотермический 4-1- адиабатный

Прямой цикл Карно работает следующим образом (рис. 1):

От точки 1 газ изотермически расширяется до состояния точки 2. В течение изотермического процесса расширения 1-2, цилиндр двигателя подключается к теплодатчику с постоянной температурой $T_1 = const$, при этом газу сообщается теплота q_1 , затрачиваемая целиком на работу расширения. По достижении газом состояния, характерного точке 2 происходит адиабатное расширение до состояния точки 3. Во время адиабатного процесса расширения 2-3 цилиндр отключается от теплодатчика и накладывается тепловая изоляция, исключая теплообмен с внешней средой ($q_{2-3} = 0$). От точки 3 газ изотермически сжимается до состояния, отображаемого

точкой 4, при этом тепловая изоляция снимается с цилиндра и его подключают к холодильнику (окружающая среда) с температурой $T_2 = const$, который поглощает теплоту q_2 от рабочего тела на протяжении всего изотермического сжатия 3-4. По достижении газом состояния точки 4 цилиндр отключают от холодильника и накладывают тепловую изоляцию, и газ адиабатно сжимается до исходного состояния в точке 1 ($q_{4-1} = 0$). После достижения состояния точки 1 цикл возобновляется в той же последовательности.

Работа каждого процесса выражается на диаграмме площадью, расположенной под характерной кривой и ограниченной перпендикулярами в крайних точках этой кривой.

Работа расширения будет равна площади фигуры 1-2-3-3'-1'-1, а работа сжатия 3-4-1-1'-3'-3.

Полезная работа будет равна площади фигуры 1-2-3-4-1.

Зависимость между полезной работой, совершаемой 1 кг газа и теплотой, затраченной в цикле будет выражаться:

$$q = q_1 - q_2 = l \quad (1)$$

Согласно 2-му закону ТД термический КПД теплового цикла определяется по формуле:

$$\eta_T = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (2)$$

Для адиабатных процессов запишем:

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4} \quad (3)$$

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (4)$$

Подставим правые части выражений (3) и (4) в уравнение (2) и получим:

$$\eta_T = 1 - \frac{RT_2 \ln \frac{v_3}{v_4}}{RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}} = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{v_3}{v_4}}{T_1 \ln \frac{v_2}{v_1}} \quad (5)$$

Для адиабатных процессов 2-3 и 4-1 коэффициент адиабаты равен:

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (6)$$

Также для адиабатных процессов справедливы следующие соотношения:

$$\frac{v_3}{v_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad \text{и} \quad \frac{v_4}{v_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad (7)$$

Отсюда можно записать следующие равенства:

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{v_4}{v_1} \Rightarrow \frac{v_3}{v_4} = \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow \ln \frac{v_3}{v_4} = \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (8)$$

Таким образом, мы пришли к выводу, что КПД прямого цикла Карно равен:

$$\eta_{Т.К.} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (9)$$

Отсюда видно, что величина КПД прямого цикла Карно зависит от отношения абсолютных температур, в интервале которых совершается цикл и не зависит от свойств рабочего тела.

Чем больше разность температур, тем больше КПД стремится к единице $\eta_{Т.К.} \rightarrow 1$.

На практике имеет место $\eta_{Т.К.} \neq 1$, т.к. $T_2 \neq 0$ и $T_1 \neq \infty$

2. ОБРАТНЫЙ ЦИКЛ КАРНО

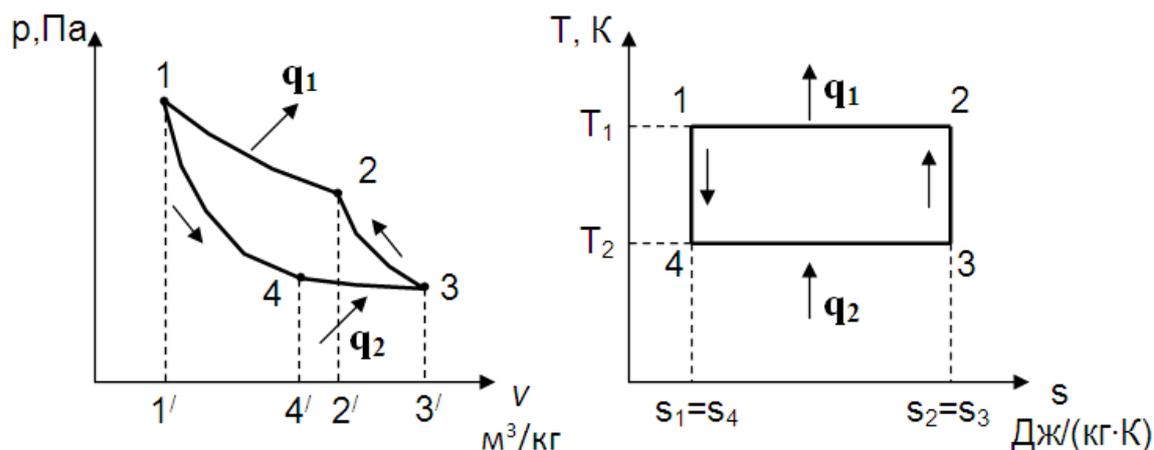


Рис. 2 Диаграмма обратного цикла Карно

1-4—адиабатный 4-3—изотермический 3-2—адиабатный— 2-1—изотермический

Обратный цикл Карно является идеальным циклом холодильных машин. В данном цикле теплота передается от холодного к более нагретому телу.

Обратный цикл Карно работает следующим образом (рис. 2):

Рабочее тело адиабатно расширяется от точки 1 до состояния точки 4. Далее расширение происходит изотермически до состояния точки 3, при этом от нижнего «холодного» источника сообщается теплота q_2 . От точки 3 под действием внешних сил рабочее тело сначала адиабатно сжимается до состояния точки 2. Затем сжатие происходит изотермически до точки 1, при этом от рабочего тела отводится теплота q_1 к верхнему «горячему» источнику.

Работа расширения будет равна площади фигуры $1-4-3-3'-1'-1$, а работа сжатия $3-2-1-1'-3'-3$

Полезная работа будет равна площади фигуры $1-2-3-4-1$.

Цикл характеризуется холодильным коэффициентом:

$$\varepsilon_x = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (10)$$