

АНАЛИЗ ЦИКЛА КАРНО И ТЕРМИЧЕСКОГО КПД ТЕПЛОВЫХ МАШИН

Брусин Л.Д., Брусин С.Д.

brusins@mail.ru

Аннотация. Показывается ошибочность существующих формул КПД цикла Карно и термического КПД тепловых машин. Приводится вывод таких формул на основе классического определения КПД.

В настоящей работе приведем анализ цикла Карно и термического КПД тепловых машин.

1. Цикл КАРНО

В 1824 году французский инженер С. Карно рассмотрел круговой процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат, который сыграл важную роль в развитии учения о тепловых процессах. Он называется циклом Карно (рис. 1) [1].

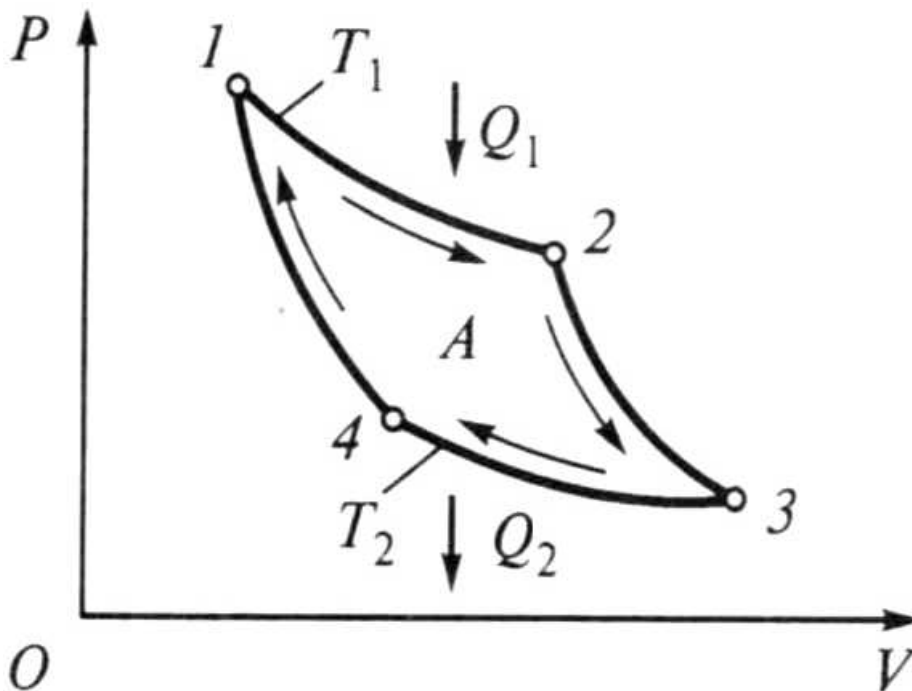


Рис. 1

Термодинамический цикл Карно

Считается, что коэффициент полезного действия η цикла Карно

определяется формулой:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

Отмечается, что Карно выразил коэффициент полезного действия цикла через температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2 :

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (2)$$

Мы должны констатировать, что формул (1) и (2) нет в работе Карно “Размышления о движущей силе огня”. Историки науки должны разобраться в том, кто приписал эти формулы Карно, тем более, что они ошибочны.

Ошибка при получении формулы (1) заключается в том, что не проанализирована энергия, поступающая в цикл извне как за счет поступающей энергии от нагревателя, так и за счет энергии при сжатии газа. Это привело к неправильному пониманию физической сущности КПД, связывающему только энергии нагревателя и охладителя.

Ниже рассмотрим Физическую сущность КПД на основе его классического определения, как отношение работы ко всей затраченной энергии.

1. Определим энергию Q , затрачиваемую извне. Она включает энергию Q_1 , поступающую от нагревателя, энергию адиабатического сжатия на участке 4-1, равную

$$\frac{M}{\mu} C_v (T_1 - T_2)$$

и энергию изотермического сжатия на участке 3-4 величиной Q_2 . Итак, имеем :

$$Q = Q_2 + Q_1 + \frac{M}{\mu} C_v (T_1 - T_2) \quad (3)$$

2. Определим работу A , произведенную за цикл. Она включает энергию изотермического расширения на участке 1-2 величиной Q_1 и энергию адиабатического расширения на участке 2-3, равную

$$\frac{M}{\mu} C_V (T_1 - T_2)$$

Итак, имеем:

$$A = Q_1 + \frac{M}{\mu} C_V (T_1 - T_2) \quad (4)$$

3. Коэффициент полезного действия цикла определится:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Q_1 + \frac{M}{\mu} C_V (T_1 - T_2)}{Q_2 + Q_1 + \frac{M}{\mu} C_V (T_1 - T_2)}$$

Прибавив к правой части 1-1, получаем формулу:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_2 + Q_1 + \frac{M}{\mu} C_V (T_1 - T_2)} \quad (5)$$

Формула (5) определяет коэффициент полезного действия цикла. Отметим, что в формуле (5) не учитываются потери энергии во время прохождения цикла.

II. ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД ТЕПЛОВЫХ МАШИН

Термический КПД тепловых машин рассмотрим на примере работы двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме, термодинамический цикл которого состоит из следующих процессов (рис. 2): 1-2 - изохорический подвод теплоты при сгорании топлива в цилиндре двигателя; 2-3 - адиабатическое расширение рабочего тела; 3-4 - изохорический отвод теплоты при выбросе отработанного газа в атмосферу; 4-1 - адиабатическое сжатие рабочего тела [2]. **Обратим внимание на принципиальное отличие процесса от цикла Карно - отсутствие охладителя, и рабочая смесь**

приводится в первоначальное состояние загрузкой новой его порции. Руководствуясь формулой (1), записывается значение термического КПД:

$$\eta = \frac{(T_2 - T_1) - (T_3 - T_4)}{T_2 - T_1} \quad (6)$$

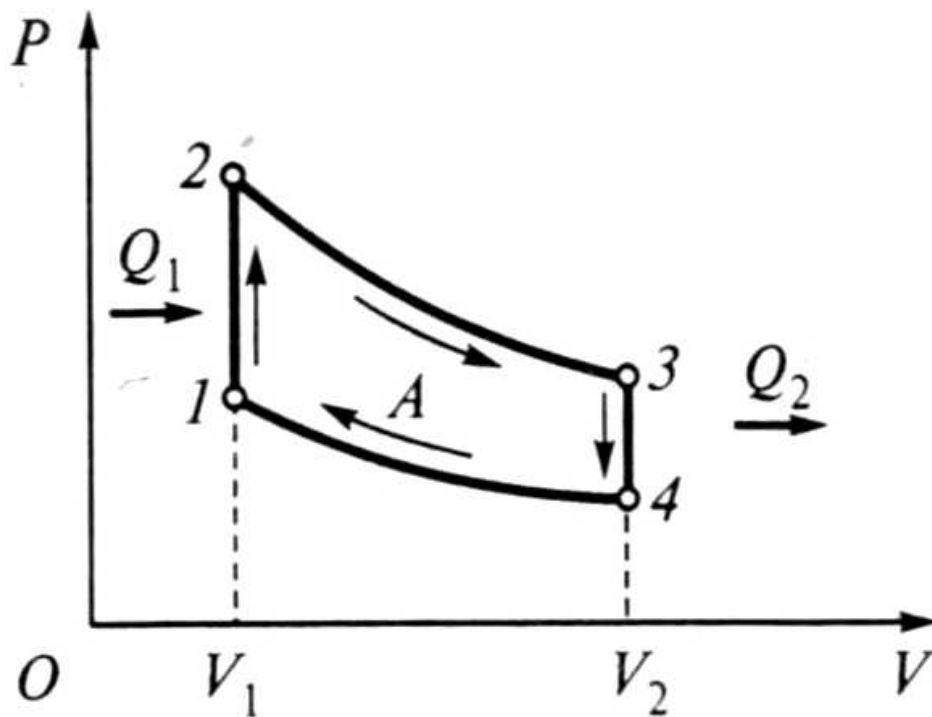


рис. 2. Термодинамический цикл двигателя внутреннего сгорания

и получается его значение :

$$\eta = 1 - \xi^{1-k}, \quad (7)$$

где ξ – степень сжатия,

k - показатель адиабаты.

Ниже определим термический КПД η как отношение работы ко всей затраченной энергии.

1. Определим энергию Q , затрачиваемую извне. Она включает энергию адиабатического сжатия на участке 4-1, равную

$$\frac{M}{\mu} C_v (T_1 - T_4)$$

и энергию изохорического подвода теплоты при сгорании топлива на участке 1-2, равную

$$\frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_1).$$

Итак, имеем:

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v (T_1 - T_4) + \frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_1).$$

и отсюда

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_4) \quad (8)$$

2. Определим работу A , произведенную за цикл. Она включает энергию адиабатического расширения на участке 2-3, равную

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_3).$$

Получаем:

$$A = \frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_3). \quad (9)$$

Так как $T_3 = T_2 \cdot \xi^{1-K}$, то

$$\frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_3) = \frac{M}{\mu} C_v T_2 (1 - \xi^{1-K}).$$

Итак, имеем:

$$A = \frac{M}{\mu} C_v T_2 (1 - \xi^{1-K}) \quad (10)$$

3. Термический КПД η определится:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{\frac{M}{\mu} C_v T_2 (1 - \xi^{1-K})}{\frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_4)} = \frac{1 - \xi^{1-K}}{1 - \frac{T_4}{T_2}}$$

Итак, имеем формулу для определения термического КПД:

$$\eta = \frac{1 - \xi^{1-K}}{1 - \frac{T_4}{T_2}} \quad (11)$$

Приведем пример. При $\xi = 9,5$ по существующей формуле (6) получаем $\eta = 56,5\%$, а по полученной формуле (11) при $T_4 = 2500 \text{ K}$ и $T_2 = 300 \text{ K}$ фактически имеем $\eta = 64,2\%$.

Разделив (9) на (8) получаем значение η через значения температур:

$$\eta = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_4} \quad (12)$$

Как видно формула (12) отличается от современной формулы (6).

Выводы:

- 1. Существующие формулы (1 и 2) для определения КПД цикла Карно ошибочны; получена правильная формула (5).**
- 2. Применение существующих формул (6 и 7) для расчета термического КПД тепловых машин является ошибкой; получены точные формулы (11 и 12)**

Литература:

1. К.В. Глаголев, А.Н. Морозов ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА, М., МГТУ, 2007, с. 90.

http://fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom2/ch3/texthtml/ch3_2.htm

2. Там же, с. 95.

http://fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom2/ch3/texthtml/ch3_1.htm