

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6: ЦИКЛ КАРНО

Студент группы _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы:

- Знакомство с компьютерной моделью, иллюстрирующей цикл Карно в идеальном газе
- Экспериментальное определение работы, совершённой газом за цикл
- Экспериментальная проверка теоремы Карно

Основные теоретические сведения

Циклом Карно называется круговой процесс, состоящий из двух изотермических процессов и двух адиабатических процессов

Рабочим телом называется термодинамическая система, совершающая процесс и предназначенная для преобразования одной формы передачи энергии – теплоты или работы – в другую. Например, в тепловом двигателе рабочее тело, получая энергию в форме тепла, часть её передаёт в форме работы

Нагреватель (теплоотдатчик) - это устройство, сообщаемое рассматриваемой термодинамической системе энергию в форме тепла

Холодильник (теплоприемник) – это система (окружающая среда или специальные устройства для охлаждения и конденсации отработанного пара), поглощающая часть тепла рабочего тела

Прямой цикл называется круговой процесс, в котором рабочее тело совершает положительную работу: $\oint p dV > 0$. На графике $p - V$ прямой цикл изображается в виде замкнутой кривой, проходимой рабочим телом по часовой стрелке,

Работа любого теплового двигателя состоит из повторяющихся циклов, каждый из которых включает в себя получение рабочим телом энергии от нагревателя, расширение рабочего тела и совершение им работы, передачу части энергии холодильнику и возвращение рабочего тела в исходно стояние. Работа, совершаемая рабочим телом за один полный цикл, складывается из работы, совершённой им при расширении, и работы, совершённой им при

сжатии: $A = A_{\text{расш}} + A_{\text{ск}}$. Учитывая, что при сжатии газ совершает отрицательную работу, последнее равенство можно переписать в виде:

$$A = A_{\text{расш}} - |A_{\text{ск}}|$$

При наличии холодильника газ перед сжатием или во время сжатия охлаждается, и потому процесс совершения им работы при сжатии протекает при меньшем давлении, чем при расширении. Поэтому $|A_{\text{ск}}| < A_{\text{расш}}$, и, следовательно, $A > 0$.

От нагревателя с температурой T_1 за цикл отнимается количество теплоты Q_1 , а холодильнику с температурой T_2 за цикл передается количество теплоты Q_2 . Рабочее тело при этом совершает полезную работу $A = Q_1 - Q_2$, где изотермическое расширение и сжатие изображены на рисунке окна опыта соответственно кривыми 1-2 и 3-4, а адиабатическое расширение и сжатие - кривыми 2-3 и 4-1. При изотермическом процессе $U = \text{const}$, поэтому количество теплоты Q_1 , полученное газом от нагревателя, равно работе расширения A_{12} , совершаемой газом при переходе из состояния 1 в состояние 2:

$$A_{12} = \frac{m}{M} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = Q_1 \quad (1)$$

При адиабатическом расширении 2-3 теплообмен с окружающей средой отсутствует, и работа расширения 2-3 совершается за счёт изменения внутренней энергии газа:

$$A_{23} = -\frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1) \quad (2)$$

Количество теплоты Q_2 , отданное газом холодильнику при изотермическом сжатии, равно работе сжатия A_{34} :

$$A_{34} = \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} = -Q_2 \quad (3)$$

Работа адиабатического сжатия

$$A_{41} = -\frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2) = -A_{23} \quad (4)$$

Работа, совершаемая в результате прямого кругового цикла Карно

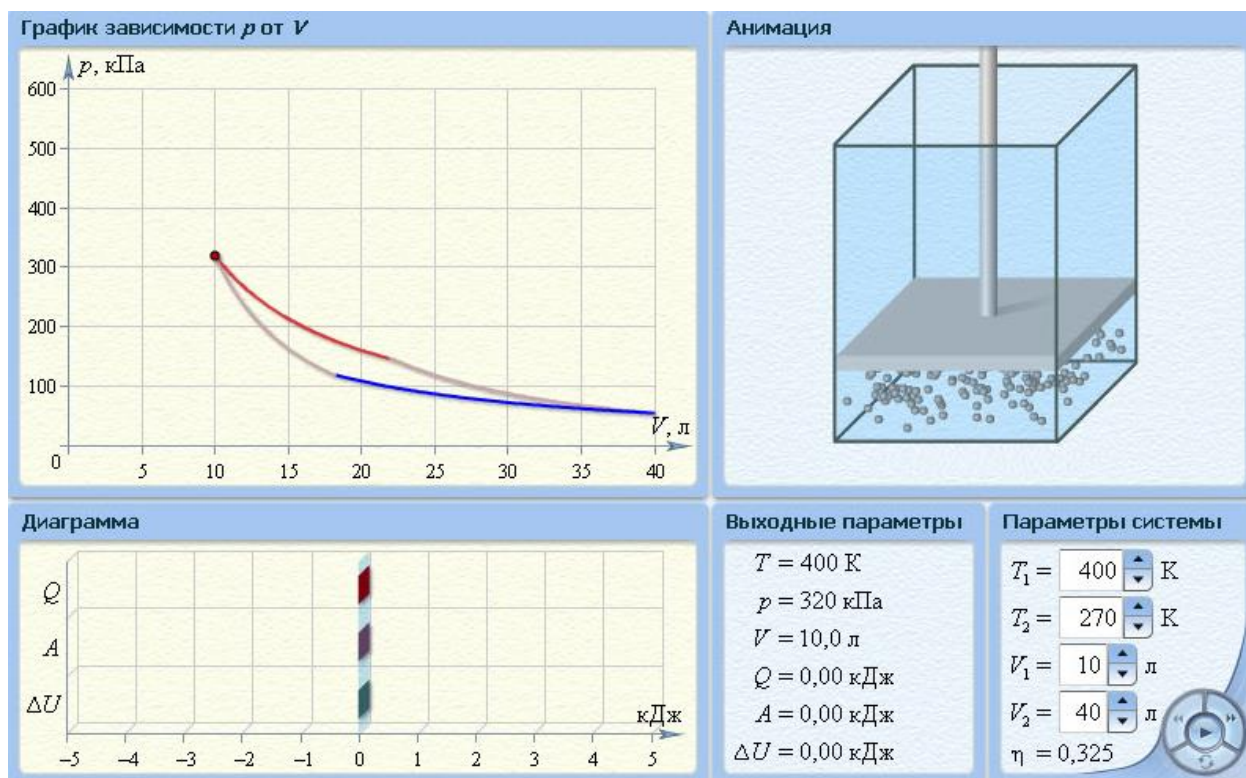
$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = Q_1 + A_{23} - Q_2 - A_{23} = Q_1 - Q_2 \quad (5)$$

Тогда термический КПД цикла Карно будет равен

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\frac{m}{M}RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - \frac{m}{M}RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{\frac{m}{M}RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (6)$$

Задание

Внимательно рассмотрите окно опыта. Найдите все регуляторы и другие основные элементы. Зарисуйте в свой конспект схему опыта



1. Установите нажатием кнопки мыши в окне «Параметры системы» температуры T_1 и T_2 , указанные в таблице 1 для вашей бригады, и объемы сосуда $V_1 = 10$ л и $V_2 = 40$ л
2. Нажмите мышью центральную кнопку «Старт» и наблюдайте перемещение точки по замкнутой кривой цикла Карно. Остановите процесс повторным нажатием этой кнопки вблизи точки 1, обозначенной на рис. 2, то есть в месте перехода изотермического расширения газа в адиабатическое
3. Запишите в таблицу 2 значение V , которое в момент остановки процесса в точке 1 будет обозначено в окне «Выходные данные»
4. Аналогичные измерения проведите для точек 2, 3, 4 и запишите значения объемов газа в соответствующие столбцы таблицы 2

5. Установите вторые значения температуры нагревателя и холодильника, указанные в таблице 1, и проделайте все измерения по пп. 2-4 еще раз. Результаты опытов занесите в таблицу 3
6. Каждый опыт повторите не менее 3 раз

Обработка измерений

1. Для любой произвольной точки цикла запишите значения давления, объёма и температуры, указанные в прямоугольнике окна опыта
2. С помощью уравнения состояния идеального газа $pV = \frac{m}{M}RT$ определите число молей газа, находящихся в цилиндре поршнем
3. Используя уравнения 1, 3 и 5, рассчитайте Q_1, Q_2, A и запишите эти значения в таблицу 2
4. По формуле вычисления термического КПД рассчитайте КПД цикла Карно и сравните его со значением, приведённым в окне опыта
5. Вычислите среднее значение работы цикла Карно и абсолютную погрешность измерения A