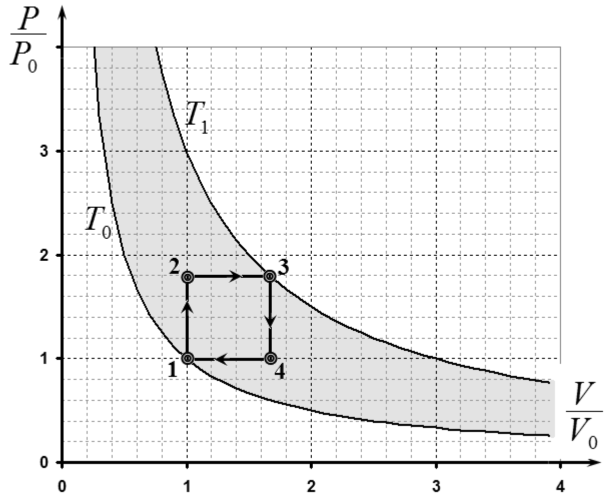
Напряжение в точках пересечения графиков практически одинаково и равно: $U_{\min} = 15.7B$. При этом сила тока в резисторе равна $I_{\min} = 27 мА$.

Таким образом, напряжение на резисторе будет изменяться в пределах от $U_{\min} = 15.7B$ до $U_{\max} = 17,3B$, а сила тока от $I_{\min} = 27 мА$ до $I_{\max} = 30 мА$.

Задача 11-1 Почему цикл Карно лучше других?

1. Квадратный цикл.



Так как цикл «квадратный», то объем и давление газа возрастают в пределах цикла в одно и тоже число раз. Их произведение (пропорциональное температуре) возрастает в β раз, поэтому максимальные объем и давление (в состоянии 3) находятся по формулам

$$V_3 = \sqrt{\beta} V_0, \quad P_3 = \sqrt{\beta} P_0 \tag{1}$$

Газ получает теплоту на участках 1-2 и 2-3.

Суммарное количество теплоты, полученное газом равно

$$Q_1 = \frac{3}{2} RT_0\left(\sqrt{\beta} - 1\right) + \frac{5}{2} RT_0\left(\beta - \sqrt{\beta}\right) = \\ = \frac{RT_0}{2}\left(\sqrt{\beta} - 1\right)\left(3 + 5\sqrt{\beta}\right) \tag{2}$$

Работа совершенная газом за цикл числено равна площади цикла:

$$A = P_0 V_0 \left(\sqrt{\beta} - 1\right)^2 = RT_0\left(\sqrt{\beta} - 1\right)^2. \tag{3}$$

Следовательно, КПД цикла равен

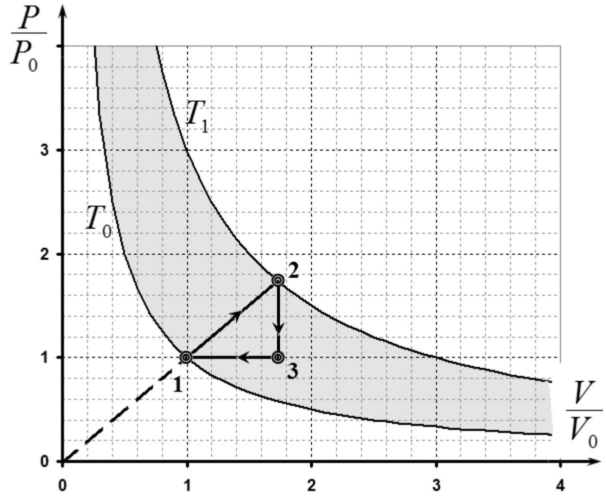
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{RT_0\left(\sqrt{\beta} - 1\right)^2}{\frac{RT_0}{2}\left(\sqrt{\beta} - 1\right)\left(3 + 5\sqrt{\beta}\right)} = \frac{2\left(\sqrt{\beta} - 1\right)}{\left(3 + 5\sqrt{\beta}\right)}. \tag{4}$$

Как и следовало ожидать, при $\beta = 1$ КПД обращается в нуль, а при возрастании β стремится к предельному значению $\overline{\eta} = \frac{2}{5} = 0,4$. Для построения графика полученную зависимость удобно представить в виде:

$$\eta = \frac{2\left(1 - \frac{1}{\sqrt{\beta}}\right)}{\left(\frac{3}{\sqrt{\beta}} + 5\right)}. \tag{5}$$

График этой зависимости показан на бланке (кривая - 1)

2. Треугольный цикл



Расчет КПД проводится аналогично. Газ получает теплоту только на участке 1-2. По первому закону термодинамики, это количество теплоты равно

$$Q_1=\frac{3}{2}RT_0(\beta-1)+\frac{1}{2}P_0\left(1+\sqrt{\beta}\right)V_0\left(\sqrt{\beta}-1\right)=$$
$$=2P_0V_0(\beta-1)$$

Работа, совершенная за цикл:

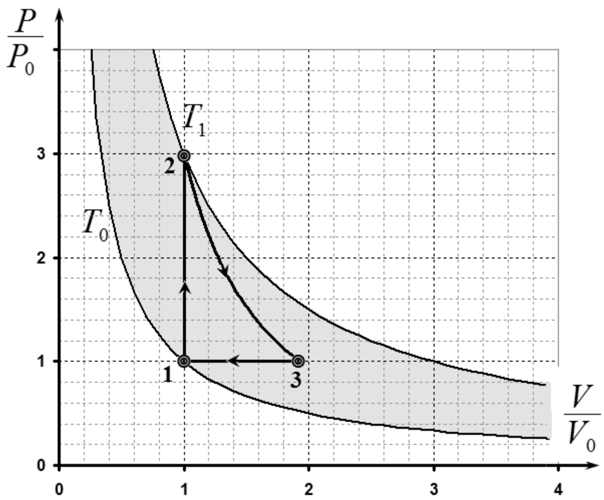
$$A=\frac{1}{2}P_0V_0\left(\sqrt{\beta}-1\right)^2;$$

КПД цикла

$$\eta=\frac{A}{Q_1}=\frac{\left(\sqrt{\beta}-1\right)^2}{2(\beta-1)}=\frac{\left(\sqrt{\beta}-1\right)}{3\left(\sqrt{\beta}+1\right)+\left(\sqrt{\beta}-1\right)}=\frac{\sqrt{\beta}-1}{2\left(\sqrt{\beta}+1\right)}.$$

Предельное значение КПД в этом случае равен 0,5. Немного лучше!

3. Криволинейно-треугольный цикл.



В данном случае газ получает теплоту на участке изохорного расширения 1-2. Это количество теплоты равно

$$Q_1=\frac{3}{2}RT_0(\beta-1).$$

Чтобы не считать работу (т.е. не интегрировать адиабату), найдем количество теплоты, отданное газом на участке 3-1. Для этого следует определить температуру газа в состоянии 3. Точки 2 и 3 соединены адиабатой, причем нам известны значения давлений в крайних точках. Поэтому запишем уравнение адиабатного процесса в координатах (P,T). Из уравнения состояния идеального газа выразим $V=\frac{RT}{P}$ и подставим в уравнение адиабаты

$$P\left(\frac{T}{P}\right)^{\gamma}=const \quad\Rightarrow\quad P^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}T=const.$$

Показатель степени в этом уравнении равен $-\frac{2}{5}$. Записывая это уравнение для состояний 2 и 3, получим

$$(\beta P_0)^{-\frac{2}{5}}\beta T_0=P_0^{-\frac{2}{5}}T_3 \quad\Rightarrow\quad T_3=T_0\beta^{\frac{3}{5}}.$$

Теперь можно записать выражения для количества отданной теплоты:

$$Q_2=\frac{5}{2}RT_0\left(\beta^{\frac{3}{5}}-1\right).$$

Наконец, формула КПД обретает вид

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{5\left(\beta^{\frac{3}{5}} - 1\right)}{3(\beta - 1)}.$$

В этом цикле при возрастании β КПД стремится к 1.График этой зависимости изображается кривой 3 на бланке.

4. КПД цикла Карно, как известно равен $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_0}$, график этой зависимости – прямая линия, идущая выше всех построенных кривых.

Таким образом, при заданных максимальных и минимальных температурах цикл Карно имеет максимально возможный КПД. Ну а рисунок цикла показан на бланке, как видите, его вид весьма далек от традиционных «ромбиков», которые обычно рисуют в учебниках!