Тема: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

1. Изохорный процесс
2. Изобарный процесс
3. Изотермический процесс
4. Адиабатический процесс
5. Политропный процесс

1. ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

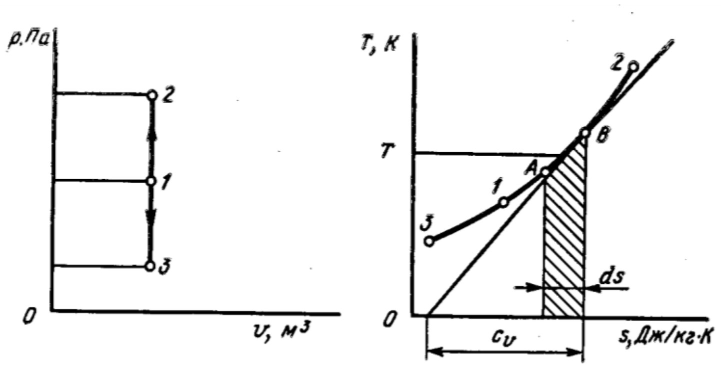

Рис. 1 Графическое изображение изохорного процесса

Изохорный процесс (рис.1) протекает при постоянном объеме $v = const$.
Из уравнения состояния следует:

$$R/v = p/T = const \qquad (1)$$

Так как изменение объема $dv=0$, то работа расширения - сжатия в этом процессе не совершается:

$$l = p \cdot (v_2 - v_1) = 0 \qquad (2)$$

Согласно I-му закону термодинамики изменение количества теплоты будет определяться по формуле:

$$\Delta q = Tds = c_V dT = du \qquad (3)$$

В изохорном процессе вся подведенная (отведенная) теплота идет на изменение внутренней энергии тела.

Принимая C_V=const получим:

$$q = \Delta u = C_V(T_2 - T_1) \qquad (4)$$

Учитывая, что $v_1 = v_2$, изменение энтропии будет определяться

$$\Delta s_V = s_2 - s_1 = C_V \ln(\frac{T_2}{T_1}) \qquad (5)$$

В T-s-координатах изохорный процесс описывается логарифмической зависимостью. При $ds>0$ (процесс 1—*2)* теплота подводится к рабочему телу; при $ds<0$ (процесс 1—*3)* теплота отводится. Подкасательная (отрезок C_V—ds на оси абсцисс) определяет значение теплоемкости. Площадь под кривой процесса в T-s-координатах (заштрихованная площадь) определяет количество теплоты, которое подводится в этом процессе (с учетом масштаба диаграммы).

2. ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

Изобарный процесс (рис.2) протекает при постоянном давлении ($p=const$).

Из уравнения состояния идеального газа получим:

$$v/T=R/p=const \qquad (6)$$

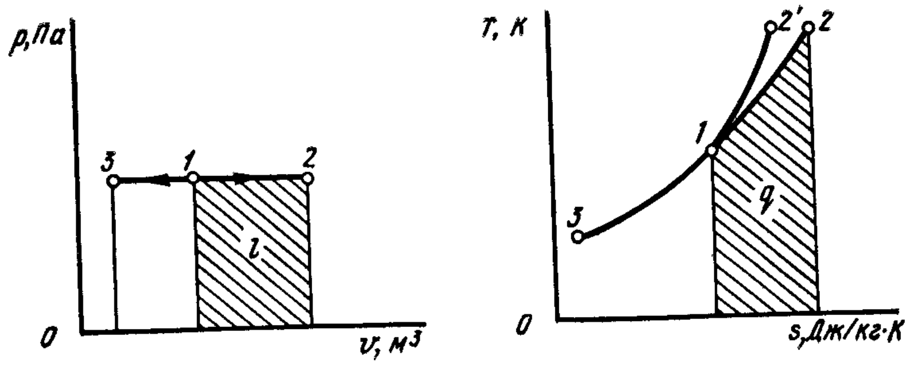

Рис. 2 Графическое изображение изобарного процесса

Работа 1 кг газа будет определяться по формуле:

$$l=\int_{v_1}^{v_2} pdv = p(v_2 - v_1) \qquad (7)$$

В p-v-координатах работа l численно равна площади под кривой процесса *1—2* (рис. 2) На этом рисунке линия *1—2* изображает процесс расширения (работа положительная), а линия *1—3*— процесс сжатия (работа отрицательная).

Количество теплоты, которое подводится (отводится) к рабочему телу в предположении, что теплоемкость C_P - величина постоянная можно определить из уравнения:

$$q=\int_{T_1}^{T_2} C_P dT = C_P(T_2 - T_1) \qquad (8)$$

Из уравнения состояния следует, что теплота в данном случае расходуется как на совершение работы, так и на изменение внутренней энергии.

Изменение энтропии будет определяться по формуле:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = C_P \ln\frac{T_2}{T_1} \qquad (9)$$

Так как $C_P > C_V$, то в T-s-координатах (рис.2) изобара 1-2 идет положе изохоры $1\text{-}2^{/}$. На рисунке 2 процесс 1—2 протекает с подводом теплоты ($\Delta s > 0$), а процесс 1—3 с отводом теплоты ($\Delta s < 0$).

Количество теплоты, подведенной к рабочему телу, равно площади под кривой процесса *1-2.*

3. ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

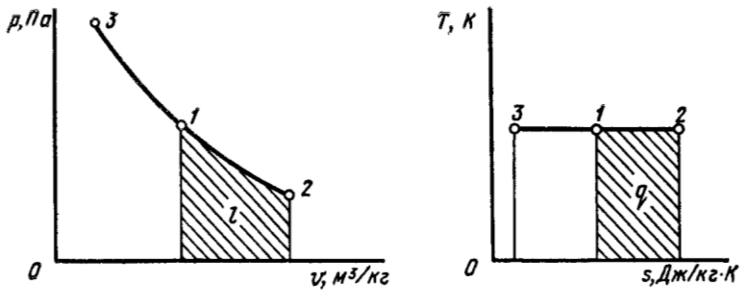

Рис. 3 Графическое изображение изотермического процесса

Изотермный процесс (рис.3) характеризуется постоянной температурой (T=const).

Из уравнения состояния следует:

$$p_2/p_1 = V_1/V_2 \qquad (10)$$

В p-v- координатах (рис. 3) изотермный процесс изображается равнобокой гиперболой: 1—2—процесс расширения, *1-3*-процесс сжатия. В T-s-координатах процесс 1—2 протекает с подводом теплоты, а процесс *1-3*- с отводом теплоты.

Работа процесса:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} pdv = \int_{v_1}^{v_2} RTdv/v = R \cdot T \cdot ln\frac{v_2}{v_1} = R \cdot T \cdot ln\frac{p_1}{p_2} \qquad (11)$$

Так как *T=const,* поэтому вся подведенная к рабочему телу теплота расходуется на совершение работы:

$$q = l \qquad (12)$$

Изменение энтропии в изотермном процессе:

$$\Delta s = s_2 - s_1 = R \cdot ln\frac{v_2}{v_1} = R \cdot ln\frac{p_1}{p_1} \qquad (13)$$

Теплоемкость изотермного процесса $C_T=\pm\infty$.

4. АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

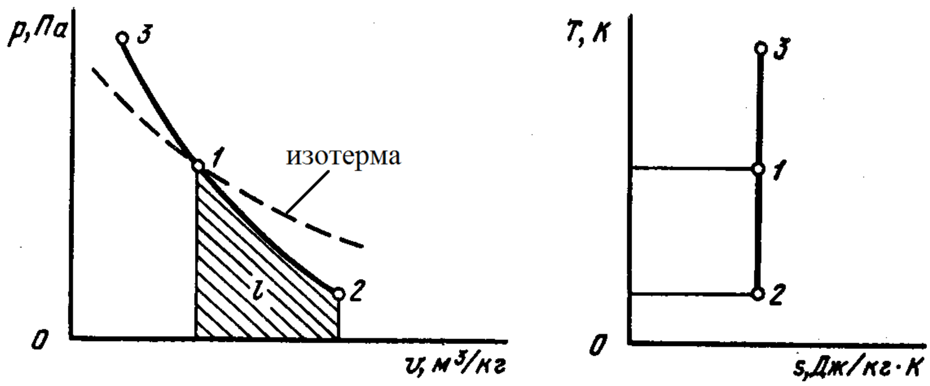

Рис. 4 Графическое изображение адиабатного процесса

Адиабатный процесс (рис.4) — это процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой: $\Delta q=0$.

Условие протекания адиабатного процесса:

$$pv^k = const \qquad (14)$$

Где k — показатель адиабаты.

$$k = \frac{c_p}{c_V} > 1 \qquad (15)$$

Поскольку $k>1$, то в p-v-координатах линия адиабаты идет круче изотермы.

Для состояний *1* и *2* при адиабатном процессе существуют следующие зависимости:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \qquad (16)$$

Согласно первому закону термодинамики работа расширения совершается за счет внутренней энергии:

$$l = -\Delta u = C_V(T_1 - T_2)$$

Или $$l = \frac{k}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1}(p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

После простых преобразований получим:

$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \qquad (17)$$

Работа l численно равна площади под кривой 1—*2* (рис. 4). В данном случае $\Delta v>0$ и поэтому $l > 0$.

Поскольку при адиабатном процессе $\Delta q=0$, то изменение энтропии $ds=0$, следовательно, $s=const$. Адиабатный обратимый процесс является изоэнтропным, т. е. протекает при постоянном значении энтропии.

На рисунке 4 линия 1—*2* соответствует расширению рабочего тела (процесс сопровождается уменьшением температуры), а линия 1—*3*—сжатию рабочего тела.

При адиабатном процессе теплоемкость равна нулю $C_{АД} = 0$.

5. ПОЛИТРОПНЫЙ ПРОЦЕСС

Политропный процесс характеризуется тем, что он протекает в идеальном газе при постоянном значении теплоемкости, которая может иметь любое числовое значение от - ∞ до +∞. Политропный процесс включает в себя всю совокупность основных термодинамических процессов и поэтому имеет и обобщающее значение.

Условие протекания политропного процесса:

$$pv^n = const \qquad (19)$$

где n - показатель политропы.

$$n = \frac{C_П - C_P}{C_П - C_V} \qquad (20)$$

где $C_П$ — теплоемкость политропного процесса

По аналогии с адиабатным процессом для политропы справедлива следующая связь между основными параметрами состояния:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1} \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \qquad (21)$$

Работу политропного процесса можно определить, заменив в выражении (17) k на n.:

$$l = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right] \qquad (22)$$

Выражение для теплоемкости идеального рабочего тела в политропном процессе вытекает из формулы (20):

$$C_П = C_V \frac{n-k}{n-1} \qquad (23)$$

Изменение энтропии в политропном процессе:

$$s_2 - s_1 = C_П \ln\frac{T_2}{T_1} = C_V \frac{n-k}{n-1} \ln\frac{T_2}{T_1} \qquad (24)$$