1.7 Внутренняя энергия и энтальпия рабочего тела как функция состояния

Как было сказано выше, внутренняя энергия термодинамической системы складывается из кинетической энергии теплового движения молекул (определяет температуру) и потенциальной энергии взаимодействия молекул рабочего тела (определяет занимаемый объём), т.е. её значение полностью определяется состоянием, в котором находится термодинамическая система.

Поэтому внутренняя энергия является функцией состояния, или параметром состояния рабочего тела.

Т.к. состояние термодинамической системы однозначно задаётся двумя параметрами, то $U = f(T,V)$ или $U = f(T,P)$ или $U = f(V,P)$

Удельная внутренняя энергия газа

$$u = \frac{U}{M}, \text{ Дж/кг} \tag{1.7.1}$$

Если некоторая величина является функцией состояния, то дифференциал этой функции есть полный дифференциал:

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_J dT + \left(\frac{\partial u}{\partial J}\right)_T dJ \quad . \tag{1.7.2}$$

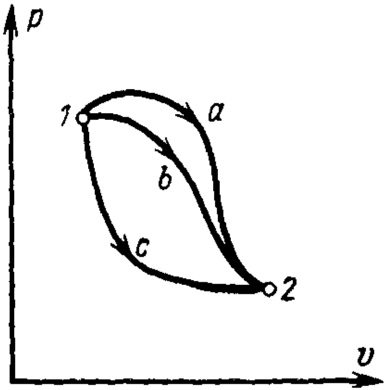
Изменение внутренней энергии в некотором процессе 1-2 определится интегралом

$$\Delta u_{1-2} = \int_{u_1}^{u_2} du$$

При переходе системы из состояния 2 в 1 по тому же пути

$$\Delta u_{2-1} = \int_{u_2}^{u_1} du = -\int_{u_1}^{u_2} du$$

Значит, $\oint du = 0$.



Отсюда следует, какими бы ни были пути перехода из одного состояния в другое, изменение внутренней энергии во всех случаях будет одинаковым.

$$\Delta u_a = \Delta u_b = \Delta u_c = u_2 - u_1 = \int_{u_1}^{u_2} du.$$

Величина

$$i = u + pJ \text{, кДж/кг} \qquad (1.7.3)$$

называется энтальпией газа, где pJ - работа расширения системы против сил внешней среды.

Будучи составленной из функций состояния, энтальпия сама является функцией состояния.

$$di = \left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_J dp + \left(\frac{\partial i}{\partial J}\right)_p dJ \quad , \qquad (1.7.4)$$

1.8 Первый закон термодинамики

Рассмотрим произвольный незамкнутый процесс 1–2. В общем случае для этого процесса $\Delta u = u_2 - u_1 \neq 0$, поэтому уравнение баланса энергии:

$$q = \Delta u + l \tag{1.8.1}$$

В развернутой форме:

$$q = u_2 - u_1 + \int_{J_1}^{J_2} p dJ \,, \tag{1.8.2}$$

В дифференциальной форме

$$dq = du + pdJ \quad . \tag{1.8.3}$$

$$d(pJ) = pdJ + Jdp,$$

$$pdJ = d(pJ) - Jdp$$

$$dq = du + d(pJ) - Jdp = d(u + pJ) - Jdp$$

$$dq = di - Jdp$$

в конечном виде $$q = i_2 - i_1 - \int_{p_1}^{p_2} Jdp$$