

Термодинамика – это наука о свойствах энергии в различных ее видах, а также о закономерностях перехода энергии от одних тел к другим и из одного вида в другой.

Тема № 1

1.1 Основные понятия термодинамики

Фундаментальными понятиями термодинамики являются теплота и работа.

Совокупность тел, участвующих в процессах передачи энергии, рассматриваемая в энергетическом взаимодействии с внешней средой, называется *термодинамической системой*.

Энергия, запасом которой обладает всякое тело, в общем случае состоит из

внешней энергии, присущей всему телу в целом, и
внутренней энергии, присущей самим молекулам, из которых состоит тело.

Суммарный запас кинетической и потенциальной энергий всех молекул тела образует его внутреннюю или *тепловую энергию*, обозначаемую в дальнейшем буквой U .

У газов размеры молекул исчезающе малы по сравнению с расстоянием между ними и силы взаимного притяжения ничтожны (*идеальные газы*).

Пары в термодинамике относятся к *реальным газам* и их свойства изучаются с учетом сил взаимного притяжения молекул.

1.2 Основные параметры состояния рабочего тела

Удельный объем газа – объем, занимаемый 1 кг данного газа. Так, если масса всего газа равна M кг, а полный объем V м³, то удельный объем его составляет

$$J = \frac{V}{M}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (1.1)$$

Величина, обратная удельному объему, т.е. масса газа, заключенная в 1 м³ его, называется *плотностью*

$$r = \frac{M}{V}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.2)$$

Абсолютное давление газа является средним результатом ударов молекул о поверхность, ограничивающую объем, занимаемый газом. Оно представляет собой силу, отнесенную к единице площади этой поверхности и действующую со стороны газа в направлении, нормальном по отношению к ней.

Давление земной атмосферы зависит от высоты и метеорологических условий в данный момент. В среднем над уровнем моря оно равно 760 мм.рт.ст. Эта величина называется *нормальным давлением*.

Абсолютная температура газа является мерой интенсивности хаотического движения его молекул и измеряется в градусах.

$$\frac{m\omega^2}{2} \sim T, \quad (1.3)$$

где m – масса одной молекулы;

ω – средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул;

1.3 Термическое уравнение состояния рабочего тела

Наиболее естественным является такое состояние газа, при котором удельный объем, давление и температура, а вместе с ними и все остальные параметры, имеют одинаковое значение во всех точках объема, занимаемого газом.

Такое термодинамическое состояние газа называется *равновесным*.

Всякий реальный процесс перехода газа из одного состояния в другое неизбежно связан с нарушением термодинамического равновесия, и *каждое из промежуточных состояний его является неравновесным*.

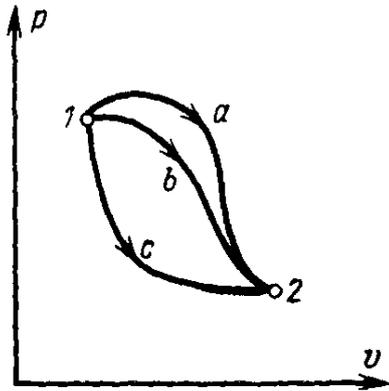
Каждое из промежуточных состояний газа характеризуется конкретными значениями параметров p , J и T . Они связаны между собой однозначной зависимостью:

$$f(p, J, T) = 0,$$

которое называется *термическим уравнением состояния*.

1.4 Внутренняя энергия и энтальпия рабочего тела как функция состояния

Удельная внутренняя энергия газа



$$u = \frac{U}{M}, \text{ Дж/кг} \quad (1.5)$$

В процессах a, b и c , в которых начальные и конечные состояния газа одинаковы, одинаковыми будут и изменения внутренней энергии:

$$\Delta u_a = \Delta u_b = \Delta u_c = u_2 - u_1 = \int_{u_1}^{u_2} du = f(p_2, J_2) - f(p_1, J_1) .$$

Дифференциал du является полным дифференциалом функции $u = f(p, J)$ и может быть представлен равенством

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial p} \right)_J dp + \left(\frac{\partial u}{\partial J} \right)_p dJ . \quad (1.6)$$

Внутренняя энергия может служить параметром состояния газа.

Величина

$$i = u + pJ, \text{ кДж/кг} \quad (1.7)$$

называется энтальпией газа. Будучи составленной из функций состояния, энтальпия сама является функцией состояния.

$$di = \left(\frac{\partial i}{\partial p} \right)_T dp + \left(\frac{\partial i}{\partial T} \right)_p dT, \quad (1.8)$$

1.5 Работа изменения объема рабочего тела

Всякое изменение объема газа сопровождается совершением работы. При расширении газ совершает работу против внешних сил, при сжатии внешние силы совершают работу над газом.

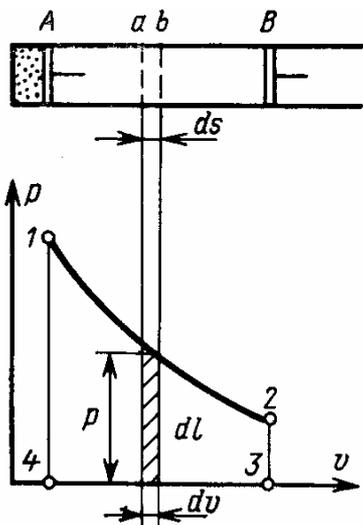
Элементарная работа газа на участке а-в:

$$dl = pF \cdot ds ,$$

где F – площадь поршня и, следовательно, pF – сила, действующая на поршень.

С другой стороны, $Fds = dJ$, следовательно,

$$dl = p \cdot dJ , \text{ кДж/кг} \quad (1.9)$$

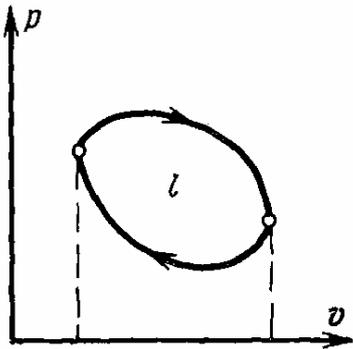


Суммарная работа, совершаемая газом в процессе 1–2, составит:

$$l = \int_{J_1}^{J_2} p dJ, \text{ кДж/кг} \quad (1.10)$$

Работа является функцией процесса и при одинаковых начальных и конечных состояниях газа может быть различной в зависимости от того, по какому пути совершается этот процесс.

Отсюда вытекает, что работа *не является* функцией состояния.



Если по завершении процесса в двигателе поршень возвращается в исходное положение, а газ – в исходное состояние, то в цилиндре осуществляется термодинамический цикл, изображаемый в pJ -диаграмме замкнутой кривой

1.6 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:

$$q = \Delta u + l \quad (1.11)$$

В развернутой форме:

$$q = u_2 - u_1 + \int_{J_1}^{J_2} p dJ, \quad (1.12)$$

В дифференциальной форме

$$dq = du + pdJ. \quad (1.13)$$

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

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

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

$$dq = di - Jdp$$

В конечном виде

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