

УДК 530.1.076

## РАБОТА И ЭНЕРГИЯ В КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ И ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Иванов Е.М.

*Димитровградский Институт Технологии,  
Управления и Дизайна, Димитровград*

**На основе баланса импульсов сил выводится уравнение баланса энергий (работ). Показано, что это уравнение есть I закон термодинамики применительно к механическим процессам.**

Если на тело массы  $m$  в течение времени  $t$  действует сила  $F(t)$ , то импульс силы определится интегралом

$$I = \int_0^t F(t) dt \quad (1)$$

II закон Ньютона определяется выражением  $F(t)dt = d(mV)$ . В дальнейшем ограничимся рассмотрением постоянных сил. Тогда  $Ft = mV$ , где  $mV = P$  – импульс тела (количество движения).

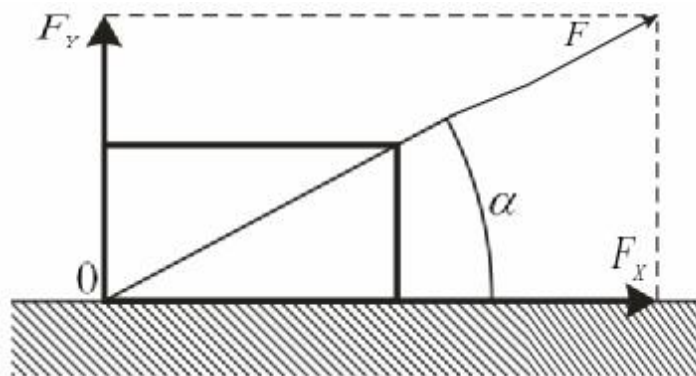
Работу определим как производство энергии импульсом силы

$$A = \frac{I^2}{2m} = \frac{(Ft)^2}{2m} = E \quad (2)$$

где  $E$  – произведенная энергия. В частности, если тело находится на гладкой горизонтальной

поверхности и на него действует горизонтальная сила  $F$ , то ускорение  $a = F/m$ ,  $S = at^2/2 = Ft^2/2m$  и формула (2) преобразуется к общеизвестной формуле  $A = FS$ , которая является частным случаем более общей формулы (2), а произведенная энергия равна  $K = mV^2/2$ .

Рассмотрим случай движения тела по шероховатой горизонтальной поверхности под действием силы  $F$ , действующей под углом  $\alpha$  к горизонту (рис 1).



**Рисунок 1.** Движения тела по шероховатой горизонтальной поверхности под действием силы  $F$ , действующей под углом  $\alpha$  к горизонту

Силу  $F$  раскладываем на две составляющие:  $F_y = F \sin \alpha$  и  $F_x = F \cos \alpha$ . Силу  $F_y$  назовем силой левитации  $F_L$ , она уменьшает силу давления тела на плоскость, а при величине  $F_L = mg$  тело оказывается в квазиневесомом состоянии (состояние левитации). Сила  $F_L$  вызывает деформацию тела (сжатия, растяжения,

изгиба) в зависимости от способа приложения силы  $F$ . Сила  $F_L$  совершает работу левитации:

$$A_L = \frac{(F_L t)^2}{2m} \quad (3)$$

Работу, которую совершает сила  $F_x$ , определяется аналогично:

$$A_X = \frac{(F_X t)^2}{2m} \quad (4)$$

Поскольку силы  $F_X$  и  $F_{\mathcal{L}}$  взаимноперпендикулярны, то в соответствии с теоремой Пифагора  $F^2 = F_X^2 + F_{\mathcal{L}}^2$  и поэтому работы этих сил аддитивны, т.е.

$$E = A_X + A_{\mathcal{L}} = \frac{(F_X t)^2}{2m} + \frac{(F_{\mathcal{L}} t)^2}{2m} \quad (5)$$

Сила может быть представлена в виде суммы трех сил:  $F_X = F_a + F_{TP} + F_{\mathcal{L}}$ , где  $F_a$  – результирующая сила в горизонтальном направлении, входящая во II закон Ньютона и вызывающая ускоренное движение тела вдоль оси X:  $a_X = F_a / m$ . На преодоление трения затрачивается сила  $F_{TP} = mN = m(mg - F_{\mathcal{L}})$ . На деформацию тела в продольном направлении затрачивается сила  $F_{\mathcal{L}}$ . Вот как об этом пишется в учебнике Г.С. Ландсберга [1, с.142]: «...ускоряемое тело может начать двигаться как целое только после того, как внутри него возникнут деформации, а вместе с ними и силы упругости, которые сообщают внутренним частям тела требуемое ускорение». Квадрат импульса силы  $F_X$  запишется в виде

$$(F_X t)^2 = (F_a t)^2 + 2F_a F_{TP} t^2 + 2F_a F_{\mathcal{L}} t^2 + (F_{TP} t)^2 + 2F_{TP} F_{\mathcal{L}} t^2 + (F_{\mathcal{L}} t)^2 \quad (6)$$

Это баланс импульсов сил, действующих вдоль оси X. Разделив обе части равенства на  $2m$ , получим баланс энергий (работ), затрачиваемых на движение вдоль оси X:

$$A_X = \frac{(F_X t)^2}{2} = \frac{(F_a t)^2}{2m} + \frac{F_a F_{TP} t^2}{m} + \frac{F_a F_{\mathcal{L}} t^2}{m} + \frac{(F_{TP} t)^2}{2m} + \frac{F_{TP} F_{\mathcal{L}} t^2}{m} + \frac{(F_{\mathcal{L}} t)^2}{2m} \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что работа сил, действующих вдоль одной оси, не аддитивна, т.е. не является простой арифметической суммой

работ этих сил. Первый член правой части  $A_a = (F_a t)^2 / 2m$  – работа, затраченная на разгон тела (получение кинетической энергии). Все работы в правой части (7) связанные с силой трения  $F_{TP}$ , еще в процессе движения переходят во внутреннюю энергию (нагрев трущихся поверхностей):

$$\Delta U_{TP} = \frac{F_a F_{TP} t^2}{m} + \frac{(F_{TP} t)^2}{2m} + \frac{F_{TP} F_{\mathcal{L}} t^2}{m} \quad (8)$$

Все работы, связанные с деформацией, в том числе и работа левитации (3), после снятия нагрузки  $F$  тоже переходят во внутреннюю энергию, т.к. после снятия нагрузки в теле возникают упругие колебания, которые вследствие дисперсии и внутреннего трения быстро переходят во внутреннюю энергию (тело разогревается). Работу этих сил можно назвать латентной (скрытой) внутренней энергией:

$$\Delta U_{LAT} = \frac{(F_{\mathcal{L}} t)^2}{2m} + \frac{F_a F_{\mathcal{L}} t^2}{m} + \frac{(F_{\mathcal{L}} t)^2}{2m} \quad (9)$$

Таким образом, баланс энергий (работ) можно записать в следующем виде:

$$E = A_a + \Delta U_{TP} + \Delta U_{LAT} \quad (10)$$

где  $E = I^2 / 2m$  – энергия, подводимая извне за счет действия импульса силы. Выражение (10) есть не что иное, как первый закон термодинамики в применении к механическим процессам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Элементарный учебник физики. Под редакцией академика Г.С. Ландсберга. М.: Наука, 1972. Том 1.

### THE WORK AND THE ENERGY IN THE CLASSIC MECHANICS AND THE FIRST LAW OF THERMODYNAMICS

Ivanov E.M.

*Dimitrovgrad institute of technology, management and design, Dimitrovgrad*

The equation of the balance of energy (works). Is deduced on the basic of impulses of powers. This equation is the first law of thermodynamics for the mechanical processes.