



**Физико-технический
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Практическое занятие №3

Теплоемкость газов

26 февраля
2016



Теплоемкость – физическая величина, с помощью которой можно определить количество теплоты, подведенное (отведенное) к термодинамическому телу, изменение внутренней энергии тела.

Теплоемкостью (точнее удельной теплоемкостью) называют количество теплоты, которое необходимо сообщить телу (газу), чтобы изменить температуру какой-либо количественной единицы на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1K).

Производная от количества теплоты по температуре в каком-либо термодинамическом процессе называется теплоемкостью (Дж/К):

$$C = \frac{dQ}{dT}$$



Отношение теплоемкости вещества к его массе называют **удельной (массовой) теплоемкостью** ($\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$).

Объемной теплоемкостью c' ($\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$) называют отношение теплоемкости тела к его объему при нормальных условиях.

Молярной теплоемкостью μc ($\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$) называют величину, равную произведению массовой теплоемкости на молярную массу данного вещества.



Связь между теплоемкостями можно представить в виде:

$$c' = \rho c; c = \mu c' / 22,4$$

где ρ (кг/м³) – плотность вещества при нормальных условиях, 22,4 м³/моль – объем количества вещества 1 моль при нормальных условиях.

Теплоемкость идеальных газов зависит от атомности, характера процесса и температуры.

Теплоемкость реальных газов, кроме перечисленных выше факторов, зависит еще и от давления.



Зависимость теплоемкости от температуры обычно выражают формулой

$$C = a + bt + et^2$$

где t – температура в $^{\circ}\text{C}$; a , b , e – численные коэффициенты, определяемые экспериментально.

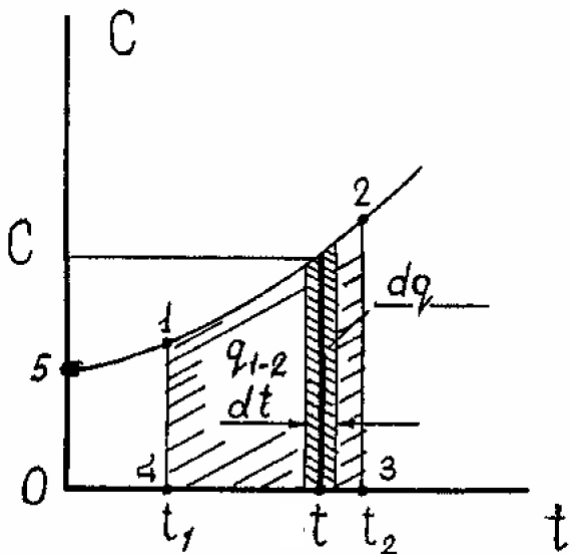


Различают **среднюю и истинную теплоемкости.**

Средняя теплоемкость в интервале температур $t_1 - t_2$ равна

$$C_{m, t_1}^{t_2} = \frac{q_{1-2}}{t_1 - t_2}$$

где q_{1-2} – количество теплоты, подведенное в данном процессе, кДж/кг; t_1, t_2 – температура в начале и в конце процесса, °С.



Если выражение для средней теплоемкости записать для бесконечно малого количества теплоты dq и интервала температур dt , то получим формулу так называемой истинной теплоемкости C при данной температуре t :

$$C = \frac{dq}{dt}$$



$$q_{1-2} = C_{m,0}^{t_2} \cdot t_2 - C_{m,0}^{t_1} \cdot t_1$$

Для идеальных газов связь между изобарной и изохорной теплоемкостями устанавливается уравнениями Майера:

$$C_p - C_v = R \quad \text{или} \quad \mu C_p - \mu C_v = \mu R = 8314 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$$



В технической термодинамике большое значение имеет отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме, обозначаемое буквой K и называемое **показателем адиабаты**:

$$K = \frac{\mu C_p}{\mu C_v} = \frac{C_p}{C_v}$$

для одноатомных газов $K = 1,67$; для двухатомных газов $K = 1,4$; для трехатомных газов $K = 1,29$



Теплоемкости газовых смесей определяют по формулам

$$C_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} g_i \cdot C_i ,$$

$$C'_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i \cdot C_i ,$$

$$\mu C_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i \cdot \mu C_i$$

В этих выражениях

g_i, r_i – соответственно массовая и объемная доля i -го компонента газовой смеси;

$C_i, C'_i, \mu C_i$ – соответственно массовая, объемная и киломолярная теплоемкость i -го компонента;

$C_{\text{см}}, C'_{\text{см}}, \mu C_{\text{см}}$ – соответственно массовая, объемная и киломолярная теплоемкость газовой смеси;

i – номер компонента смеси;

n – число компонентов смеси



Задача №1

Вычислить среднюю массовую теплоемкость при постоянном давлении C_{pm} для CO в интервале температур от $t_1 = 200$ °C до $t_2 = 525$ °C. Необходимые для расчетов зависимости даны в приложении.



Задача №2

Найти среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме C_{vm} для воздуха в интервале температур от $t_1 = 400$ °С до $t_2 = 725$ °С.



Задача №3

Воздух в количестве 5 м^3 при абсолютном давлении $P_1 = 0,3 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ нагревается при постоянном давлении до $t_2 = 130 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить количество теплоты, подведенной к воздуху, считая $C = \text{const}$.



Задача №4

В закрытом сосуде объемом $V = 300$ л находится воздух при абсолютном давлении $P_1 = 3$ кгс/см² и температуре $t_1 = 20$ °С. Какое количество теплоты необходимо подвести для того, чтобы температура воздуха поднялась до $t_2 = 135$ °С? Задачу решить, принимая теплоемкость воздуха постоянной, а также учитывая зависимость теплоемкости от температуры. Определить относительную ошибку δ , получаемую в первом случае. Проанализировать результат (см. 1)

$$\delta = \frac{(Q'_v - Q''_v) \cdot 100}{Q''_v}, \% \quad (1)$$



Задача №5

Воздух охлаждается от $t_1 = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ в процессе с постоянным давлением. Какое количество теплоты теряет 1 кг воздуха? Задачу решить, принимая теплоемкость воздуха постоянной, а также учитывая зависимость теплоемкости от температуры. Определить относительную ошибку δ , получаемую в первом случае. Проанализировать результат (см. 2)

$$\delta = \frac{(q'_p - q''_p) \cdot 100}{q''_p}, \% \quad (2)$$