

## Тема: ВВЕДЕНИЕ В «ТЕПЛОТЕХНИКУ». ЗАКОНЫ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

1. Основные параметры состояния термодинамической системы
2. Уравнение состояния идеального газа
3. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона

### 1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Предмет теплотехники изучает процессы получения, передачи, преобразования и использования теплоты. Также теплотехника изучает теорию и работу систем, машин и аппаратов, в основе которых лежат различные тепловые явления.

В основе теплотехники лежат законы термодинамических систем.

Термодинамическая система представляет совокупность материальных тел, находящихся в механическом и тепловом взаимодействии друг с другом и с окружающими систему внешними телами.

Термодинамическая система представляет совокупность материальных тел, находящихся в механическом и тепловом взаимодействии друг с другом и с окружающими систему внешними телами.

Тела не входящие в данную систему называют окружающей средой.

ТД систему отделяют от окружающей среды контрольной поверхностью.

В качестве рабочего тела в термодинамике рассматривают идеальные и реальные газы.

Идеальными называются газы, у которых отсутствуют взаимодействия между составляющими их частицами (молекулами). Реальные газы при низких давлениях близки к идеальным газам, так как в этих условиях можно пренебречь силами межмолекулярного взаимодействия и объемом самих молекул.

ТД система характеризуется термодинамическими параметрами, из которых основные три это - давление, абсолютная температура и удельный объем.

1) Давление газа – средний результат силового воздействия молекул газа на стенки сосуда (микроударов), и равно отношению нормальной составляющей силы к площади, на которую действует сила. Т.е. давление обусловлено взаимодействием молекул рабочего тела с поверхностью сосуда.

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m \cdot w_{CP}^2}{2}, \text{ Па} \quad (1)$$

$n$  – количество молекул в данном объеме

$m$  – масса молекул, кг

$w_{CP}^2$  – средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ атм.} = 10^5 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт. ст.},$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 13,5951 \text{ мм вод. ст.}$$

Различают абсолютное, избыточное, атмосферное и вакуумметрическое давления:

$$\left. \begin{aligned} P_{1ABC} &= P_{ATM} - P_{BAK} \\ P_{2ABC} &= P_{ATM} + P_{ИЗБ} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

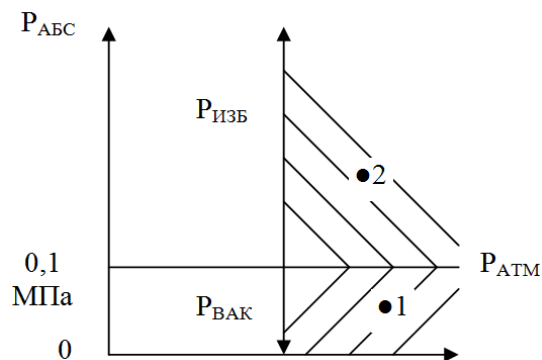


Рис. 1. Шкала давлений

2) Абсолютная температура – мера интенсивности теплового движения молекул, определяется средней кинетической энергией движения молекул.

$$\frac{m \cdot w_{CP}^2}{2} = \frac{3}{2} kT, 1 K \quad (3)$$

$T$  – абсолютная температура,  
 $k$  – постоянная Больцмана ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К)

**0 К** соответствует точке «теплового покоя» молекул вещества, когда прекращаются все движения молекул и других микрочастиц.

$$0 \text{ } ^\circ K = -273,15 \text{ } ^\circ C \quad \text{или} \quad 273,15 \text{ } K = 0 \text{ } ^\circ C$$

Пересчет температуры из  $^\circ C$  в Кельвины производят по формуле:

$$T = 273,15 + t \quad (4)$$

В зависимости от температуры различают три агрегатных состояния вещества: твердое, жидкое и газообразное.

3) Удельный объем – это объем единицы массы вещества,  $m^3/kg$ :

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (5)$$

$V$  – фактический объем вещества,  $m^3$ ;

$m$  – масса вещества, кг;

$\rho$  – плотность вещества,  $kg/m^3$ .

Если все ТД параметры постоянны во времени и одинаковы во всех точках системы, то такое состояние называют равновесным. Изолированная система с течением времени всегда приходит в состояние равновесия и никогда самопроизвольно выйти из него не может.

## 2. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

У любой ТД системы существует функциональная зависимость между ее параметрами состояния. Эта зависимость называется уравнением состояния:  $f(v, p, T)$

Различают три вида уравнения состояния: 1)  $v = f(p, T)$ ; 2)  $p = f(v, T)$ ; 3)  $T = f(v, p)$

Запишем систему уравнений из выражений (1) и (3):

$$\left. \begin{aligned} p &= \frac{2}{3} n \frac{m \bar{c}^2}{2} \\ \frac{m \bar{c}^2}{2} &= \frac{3}{2} kT \end{aligned} \right\} \Rightarrow p = n \cdot k \cdot T \quad (6)$$

Рассмотрим 1 кг газа, в котором содержится количество молекул, равное  $N$ .

Тогда количество молекул любой массы газа можно выразить следующим образом:

$$n = \frac{N}{v} \quad (7)$$

где  $v$  – удельный объем.

Тогда уравнение состояния идеального газа примет вид

$$p = \frac{N}{v} \cdot k \cdot T \quad (8)$$

или

$$p \cdot v = N \cdot k \cdot T \quad (9)$$

Произведение  $N \cdot k = R$ , является постоянной величиной, и называется индивидуальной газовой постоянной для определенного газа:

$$R = N \cdot k = const, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \quad (10)$$

Тогда окончательно уравнение состояния идеального газа будет иметь вид:

1) для 1 кг газа:

$$p \cdot v = R \cdot T \quad (11)$$

2) для любой массы газа  $m$ :

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (12)$$

Данные уравнения применяется для установления зависимости между основными параметрами состояния, их называют уравнениями Менделеева – Клапейрона.

В термодинамике также рассматривают универсальную газовую постоянную, равную произведению молекулярной массы газа  $\mu$  на индивидуальную газовую постоянную  $R$ :

$$R_{\mu} = R \cdot \mu = 8314 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К} \quad (13)$$

### 3. СМЕСИ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ. ЗАКОН ДАЛЬТОНА

Под газовой смесью понимают механическую смесь химически не взаимодействующих между собой газов.

В смеси каждый газ ведет себя так, как если бы других газов рядом не было. Т.е. равномерно распространяется по всему объему смеси, оказывает на стенки сосуда свое давление и подчиняется своему уравнению состояния.

Давление газа в смеси называется парциальным – это давление, которое газ оказывает на стенки сосуда, как если бы других газов рядом не было.

Давление газовой смеси определяется на основе закона Дальтона. Данный закон гласит:

«При отсутствии химической реакции, давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений газов, из которых состоит смесь»:

$$P_{CM} = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_1^n P_i \quad (14)$$

$P_{1,2,\dots,n}$  – парциальные давления газов, составляющих данную смесь, Па;

Газовая смесь может быть задана массовым или объемным составом.

А) При массовом способе газовую смесь задают с помощью массовых долей газов, входящих в смесь. Массовая доля газа определяется как отношение массы отдельного компонента к массе всей газовой смеси:

$$g_1 = \frac{m_1}{m_{CM}} \quad g_2 = \frac{m_2}{m_{CM}} \quad g_n = \frac{m_n}{m_{CM}} \quad (15)$$

где  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – массы компонентов в смеси;

$m_{CM}$  – масса всей смеси

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1 \quad (16)$$

Б) При объемном способе газовую смесь задают с помощью объемных долей газов, входящих в смесь. Объемная доля газа определяется как отношение объема отдельного компонента к объему всей газовой смеси:

$$r_1 = \frac{V_1}{V_{CM}} \quad r_2 = \frac{V_2}{V_{CM}} \quad r_n = \frac{V_n}{V_{CM}} \quad (17)$$

где  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – объемы компонентов в смеси;  
 $V_{CM}$  – объем всей смеси

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1 \quad (18)$$

Для решения практических задач по газовым смесям введено понятие о кажущейся молекулярной массе газовой смеси:

$$\mu_{CM} = \sum_1^n r_i \cdot \mu_i = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}} \quad (19)$$

Таблица 1.

## ФОРМУЛЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ГАЗОВЫМ СМЕСЯМ

Способы задания смеси	Пересчет из одного состава в другой	Плотность и удельный объем смеси	Молекулярная масса смеси	Газовая постоянная	Парциальное давление
Массовый способ $\sum g_i = 1$ $g_i = \frac{m_i}{m_{CM}}$	$r_i = \frac{g_i / \mu_i}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}}$	$\rho_{CM} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\rho_i}}$ $v_{CM} = \frac{1}{\rho_{CM}}$	$\mu_{CM} = \frac{1}{\sum \frac{g_i}{\mu_i}}$	$R_{CM} = \frac{8314}{\mu_{CM}}$ $R_{CM} = \sum g_i \cdot R_i$	$P_i = g_i \frac{R_i}{R_{CM}} P_{CM}$
Объемный способ $\sum r_i = 1$ $r_i = \frac{V_i}{V_{CM}}$	$g_i = \frac{r_i \cdot \mu_i}{\sum r_i \cdot \mu_i}$	$\rho_{CM} = \sum r_i \cdot \rho_i$ $v_{CM} = \frac{1}{\rho_{CM}}$	$\mu_{CM} = \sum r_i \cdot \mu_i$	$R_{CM} = \frac{8314}{\mu_{CM}}$	$P_i = r_i \cdot P_{CM}$

Где  $\mu_i$  и  $\rho_i$  – молекулярная масса и плотность отдельного газа, входящего в смесь;  
 $R_i$  – газовая постоянная отдельного газа, входящего в смесь.