
Теоретические Основы теплотехники

лектор

Зиякаев Григорий Ракитович

Лекция 1

Содержание

- Идеальный газ. Термические параметры
- Уравнение состояния идеального газа
- Смеси идеальных газов

Идеальный газ

Идеальным называется гипотетический газ, в котором отсутствуют силы межмолекулярного взаимодействия.

С достаточной точностью газы можно считать идеальными, когда рассматриваются их состояния, далекие от областей фазовых превращений.

Термические параметры

Термическими параметрами состояния являются :

- абсолютное давление p
- Абсолютная температура T
- Удельный объем v

Термические параметры

Температура представляет собой меру кинетической энергии теплового движения молекул.

Измеряется с помощью приборов –термометров.

По принципу действия термометры подразделяются на: термометры объемного действия, термоэлектрические, термометры сопротивления, пирометры и т.д.

Термические параметры

В термодинамике температуру измеряют в абсолютной шкале.

Единица измерения - Кельвин, (К). В практике используется и стоградусная шкала, с единицей измерения градус Цельсия (°C).

$$T = t^{\circ} + 273,15.$$

Термические параметры

Давление – физическая величина, характеризующая интенсивность нормальных сил, с которыми одно тело действует на поверхность другого.

Давление измеряется при помощи манометров, барометров и вакуумметров, которые различаются по принципу действия на: жидкостные, механические, электрические, грузопоршневые и др.

Термические параметры

Под *удельным объемом* (v , $\text{м}^3/\text{кг}$) рабочего тела понимают объем, занимаемый массой в 1 кг вещества (рабочего тела)

$$v = V/m, \text{ м}^3/\text{кг};$$

Под *плотностью* (ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$) рабочего тела понимают величину, обратную удельному объему, т. е. массу вещества в 1 м^3 рабочего тела.

$$\rho = m/V, \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$v = 1/\rho.$$

Уравнение состояния идеального газа

Уравнение состояния идеального газа имеет вид

$$pV = mRT;$$

где p – давление, Па

V – объем газа, м³

m – масса газа, кг

T – абсолютная температура, К

R – газовая постоянная $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Уравнение состояния идеального газа

Газовая постоянная равна

$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8314}{\mu}$$

где

$$R_{\mu} = 8314 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \right] \quad \text{-универсальная газовая постоянная}$$

$$\mu \left[\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}} \right] \quad \text{— мольная масса газа}$$

Уравнение состояния идеального газа

Учитывая что

$$v = \frac{V}{m}, \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right]$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

Уравнение состояния идеального газа для 1 кг газа

$$p \cdot v = R \cdot T$$

Плотность газа

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{p}{R \cdot T}$$

Уравнение состояния идеального газа

Задача 1:

Определить плотность углекислого газа при давлении $p=5$ бар и $t=45$ °С

Задача 2:

Определить температуру метана при давлении $p=15$ МПа и удельном объеме $v=0,174$ м³/кг

Задача 3:

Определить давление 2 кг воздуха при температуре $t=300$ °С в баллоне объемом 5 л.

Уравнение состояния идеального газа

Более точно плотность газа находится

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 \cdot p}{T \cdot p_0} = \rho_0 \frac{273 \cdot p}{(t + 273.15) \cdot 101325}$$

Задача 4:

Определить плотность углекислого газа при давлении $p=5$ бар и $t=45$ °C

Название	Формула	Плотность при 0 °C и 760 мм рт. ст., кг/м³
Азот	N ₂	1,25
Аммиак	NH ₃	0,77
Аргон	Ar	1,78
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,171
Бензол	C ₆ H ₆	—
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,673
Воздух	—	1,293
Водород	H ₂	0,0899
Гелий	He	0,179
Диоксид азота	NO ₂	—
Диоксид серы	SO ₂	2,93
Диоксид углерода	CO ₂	1,98
Кислород	O ₂	1,429
Метан	CH ₄	0,72
Оксид углерода	CO	1,25
Пентан	C ₅ H ₁₂	—
Пропан	C ₃ H ₈	2,02
Пропилен	C ₃ H ₆	1,91
Сероводород	H ₂ S	1,54
Хлор	Cl ₂	3,22
Хлористый метил	CH ₃ Cl	2,3
Этан	C ₂ H ₆	1,36
Этилен	C ₂ H ₄	1,26

Газовые смеси

Парциáльное давление (лат. *partialis* — частичный, от лат. *pars* — часть) — **давление** отдельно взятого компонента газовой смеси. **Общее давление** газовой смеси является суммой **парциальных давлений** её компонентов.

Парциальный объем — [partial volume] **объем**, который занимал бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он находился при тех же температуре и давлении, что и вся смесь.

Газовые смеси

**Термические параметры компонентов
газовых смесей**

$$p_i \cdot V = M_i \cdot R_i \cdot T$$

$$p \cdot V_i = M_i \cdot R_i \cdot T$$

где p_i и V_i - парциальное давление и парциальный объем i -го компонента.

$$\sum_{i=1}^n p_i = p$$

$$\sum_{i=1}^n V_i = V$$

Газовые смеси

Массовые доли компонентов

$$g_i = \frac{M_i}{M} \quad \sum_{i=1}^n g_i = 1$$

где M_i - масса i -го компонента,
 M – масса смеси

Объемные доли компонентов

$$r_i = \frac{V_i}{V} \quad \sum_{i=1}^n r_i = 1$$

где V_i - объем i -го компонента,
 V – объем смеси

Газовые смеси

Молярная масса смеси

$$\mu_{\text{см}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}} \quad \mu_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n r_i \cdot \mu_i$$

Газовая постоянная смеси

$$R_{\text{см}} = \frac{R_{\mu}}{\mu_{\text{см}}} = \frac{8314}{\mu_{\text{см}}}$$

Газовые смеси

Соотношения для расчетов газовой смеси

$$g_i = r_i \frac{\mu_i}{\mu_{\text{см}}} \quad r_i = g_i \frac{\mu_{\text{см}}}{\mu_i}$$

$$p_i = r_i p \quad r_i = \frac{n_i}{n} \quad M_i = n_i \cdot \mu_i$$

$$M = n \cdot \mu$$

Газовые смеси

Смесь трех газов находится при нормальных физических условиях. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1 по вариантам. Размерность величин, приведенных в табл. 1: M [кг], n [кмоль], V [м³], μ [кг/кмоль].

Рассчитать мольный (n_1, n_2, n_3), объемный (z_1, z_2, z_3) и массовый (g_1, g_2, g_3) составы, массу (M) и объем (V) газовой смеси, а также массы (M_1, M_2, M_3) и парциальные объемы (V_1, V_2, V_3) компонентов смеси.

Газовые смеси

Таблица 1

№ вар.	Смесь газов	Исходные данные		
1	$H_2 (\mu_1 = 2)$ $N_2 (\mu_2 = 28)$ $CO_2 (\mu_3 = 44)$	$n_1 = 1,0$	$n_2 = 1,5$	$n_3 = 2,0$
2		$z_1 = 0,231$	$z_2 = 0,481$	$M = 70$
3		$M_1 = 4,03$	$M_2 = 84$	$M_3 = 57,2$
4		$V_1 = 2,24$	$V_2 = 4,48$	$V_3 = 8,97$
5		$g_1 = 0,0851$	$g_2 = 0,298$	$V = 425$
6	$H_2 (\mu_1 = 2)$ $CO (\mu_2 = 28)$ $H_2O (\mu_3 = 18)$	$n_1 = 0,7$	$M_2 = 11,2$	$V_3 = 4,48$
7		$V_1 = 314$	$M_2 = 644$	$n_3 = 1,6$
8		$g_1 = 0,036$	$g_2 = 0,911$	$n_3 = 0,5$
9		$z_1 = 0,2$	$n_2 = 0,2$	$z_3 = 0,6$
10		$g_1 = 0,135$	$n_2 = 1,0$	$g_3 = 0,486$
11	$He (\mu_1 = 4)$ $O_2 (\mu_2 = 32)$ $CO_2 (\mu_3 = 44)$	$V_1 = 2,24$	$M_2 = 25,6$	$n_3 = 3,5$
12		$g_1 = 0,0175$	$g_2 = 0,559$	$n_3 = 1,1$
13		$z_1 = 0,2$	$n_2 = 0,7$	$z_3 = 0,334$
14		$g_1 = 0,091$	$n_2 = 1,0$	$g_3 = 0,666$
15		$n_1 = 1,5$	$n_2 = 4,0$	$n_3 = 9,0$