

• 1 •

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1.1. ПАРАМЕТРЫ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА

Преобразование тепловой энергии в механическую энергию возможно только при посредстве какого-либо тела. Тело, с помощью которого тепловая энергия превращается в механическую, называется *рабочим*. Тела могут совершать работу только когда они расширяются. Способностью к существенному расширению (при подведении тепла) обладают тела, которые находятся в газообразном состоянии.

Для упрощения изучения свойств газообразных тел в технической термодинамике введено понятие так называемого *идеального газа*, в котором отсутствуют силы сцепления между молекулами, а их объем принимается настолько малым, что им можно пренебречь.

Водяной пар в технической термодинамике рассматривается как *реальный газ*, на который не распространяются законы и зависимости идеальных газов.

Основные параметры, характеризующие условия, в которых находится газообразное тело, — *давление, удельный объем, температура*.

Давление — результат ударов молекул газа о стенки сосуда; определяется силой, действующей по нормали на единицу поверхности.

В Международной системе единиц изменения СИ за единицу давления принят «паскаль»: $1 \text{ Па} = \text{Н/м}^2$. В практике используют обозначения «килопаскаль» (кПа), «мегапаскаль» (МПа) и др.: $1 \text{ МПа} = 10^3 \text{ кПа} = 10^6 \text{ Па}$.

В технике используют и внесистемные единицы измерения давления: техническая атмосфера $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 =$



$= 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 1 \text{ бар} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} = 10^4 \text{ мм вод. ст.} = 735,6 \text{ мм рт. ст.}$

Давление в замкнутом пространстве называется *абсолютным*. Оно может быть больше или меньше атмосферного давления:

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{бар}} + p_{\text{изб}}; \quad (1.1)$$

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{бар}} - p_{\text{вак}}, \quad (1.1a)$$

где $p_{\text{абс}}$ — абсолютное давление; $p_{\text{бар}}$ — барометрическое (атмосферное) давление; $p_{\text{изб}}$ — избыточное давление; $p_{\text{вак}}$ — вакуумметрическое давление.

Избыточное давление измеряется манометрами, разрежение (вакуум) — вакуумметрами.

Удельный объем — объем единицы массы рабочего тела ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$v = \frac{V}{M}, \quad (1.2)$$

где V — объем рабочего тела, м^3 ; M — масса рабочего тела, кг .

Величина, обратная удельному объему, — *плотность* ($\text{кг}/\text{м}^3$):

$$\rho = \frac{1}{v}. \quad (1.3)$$

Если масса киломоля μ , а его объем (μv), тогда удельный объем и плотность одного киломоля:

$$v = \frac{(\mu v)}{\mu}; \quad (1.4)$$

$$\rho = \frac{\mu}{(\mu v)}. \quad (1.4a)$$

При нормальных условиях удельный объем и плотность одного киломоля ($P_o = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101325 \text{ Па}$, $t = 0^\circ\text{C}$, $\mu v_o = 22,4146 \text{ м}^3/\text{кмоль}$):

$$v_o = \frac{22,4}{\mu}; \quad \rho_o = \frac{\mu}{22,4}. \quad (1.5)$$

Температура характеризует степень нагрева тела, т. е. степень интенсивности движения молекул или меру его средней кинетической энергии.



В термодинамике в качестве параметра состояния газа используется *термодинамическая* (абсолютная) *температура* (T). Она измеряется в градусах Кельвина (К), пропорциональна средней кинетической энергии движения молекул и отсчитывается от абсолютного нуля.

Кроме термодинамической (абсолютной) шкалы Кельвина применяется и Международная (практическая) столбчатая шкала (t), в которой единица измерения температуры — градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). За ноль градусов (0°C) в этой шкале принята температура тающего льда, а за 100°C — температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

Величина градуса Цельсия равна градусу Кельвина. Связь между этими шкалами

$$T = t + 273,15. \quad (1.6)$$

Закон Бойля–Мариотта устанавливает зависимость удельного объема газа от его давления: при постоянной температуре он обратно пропорционален давлению:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2}, \quad (\text{при } p = \text{const}); \quad (1.7)$$

$$p_1 v_1 = p_2 v_2; \quad (1.7a)$$

$$pv = \text{const} \quad (\text{при } t = \text{const}), \quad (1.7b)$$

где v_1, v_2, p_1, p_2 — удельные объемы и давления двух различных состояний газа.

Закон Гей–Люссака устанавливает зависимость удельного объема газа от его температуры: при постоянном давлении он прямо пропорционален абсолютным температурам:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{при } p = \text{const}); \quad (1.8)$$

$$\frac{v_2}{T_2} = \frac{v_1}{T_1}; \quad (1.8a)$$

$$\frac{v}{T} = \text{const} \quad (\text{при } p = \text{const}), \quad (1.8b)$$

где T_1, T_2 — температура двух различных состояний газа.

Закон Шарля устанавливает зависимость давления газа от его температуры: при постоянном удельном объеме аб-



солютное давление газа прямо пропорционально температуре:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{при } v = \text{const}); \quad (1.9)$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1}; \quad (1.9a)$$

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (\text{при } v = \text{const}). \quad (1.9б)$$

Связь между основными параметрами состояния идеального газа устанавливается уравнением Б. Клапейрона (1834 г.), которое он вывел на основе законов Бойля–Мариотта и Гей-Люссака. Это уравнение называется *характеристическим*, или уравнением *состояния* газа:

$$pv = RT, \quad (1.10)$$

где R — газовая постоянная данного газа, Дж/(кг·К).

Для M кг газа уравнение (1.10) имеет вид

$$pV = MRT. \quad (1.11)$$

Применив это уравнение к одному киломолю газа, Д. И. Менделеев получил следующее уравнение:

$$p\mu v = \mu RT, \quad (1.12)$$

где μR — универсальная газовая постоянная любого газа, кДж/(кмоль·К).

Эта величина представляет собой работу, совершаемую одним киломолем идеального газа при изменении его температуры на один градус при $p = \text{const}$.

По закону Авогадро при одинаковых значениях давления ($p = \text{const}$) и температуры ($T = \text{const}$) один киломоль любого газа занимает одинаковый объем, поэтому величина универсальной газовой постоянной (μR) не зависит от вида газа. Ее значение при нормальных условиях:

$$\mu R = \frac{p\mu v}{T}, \quad (1.13)$$

$$\mu R = \frac{101320 \cdot 22,4}{273,1} = 8314 \text{ Дж/(кмоль} \cdot \text{К)}.$$

Тогда газовая постоянная для любого газа $R = 8314/\mu$.

