Физико-технический институт

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Практическое занятие №1

Параметры состояния рабочего тела

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Основными параметрами состояния называют физические величины, которые характеризуют макроскопические свойства системы и могут быть измерены прямо или косвенно (давление ***P***, температура ***T***, объем ***V***, внутренняя энергия ***U***, энтальпия ***H***, энтропия ***S***).

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Параметры состояния, значения которых не зависят от размеров и массы системы, называются ***интенсивными***.

Термодинамические параметры, пропорциональные количеству вещества или массе системы, называют ***экстенсивными***.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Интенсивные параметры: давление p, температуру t, плотность ρ, удельный объем v, удельную внутреннюю энергию u и т.д. обозначают *строчными* буквами.

Экстенсивные параметры: объем V, массу M, внутреннюю энергию U и др. обозначают *прописными* буквами.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Для термодинамической системы, состоящей из нескольких частей, значение экстенсивного параметра равно сумме значений таких же параметров отдельных частей системы. Иначе говоря, термодинамической системе свойственна аддитивность (складываемость) по экстенсивным параметрам.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Давление – физическая величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поверхности перпендикулярно этой поверхности:

$$p = \frac{F_{\perp}}{S}$$

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

В соответствии с молекулярно-кинетической теорией давление газа определяется соотношением:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m\bar{v}^2}{2}$$

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Давление, превышающее атмосферное, измеряют барометром ($p_б$) и манометром ($p_м$), причем $p = p_б + p_м$,
а давление, меньшее атмосферного (разрежение), – вакуумметром ($p_в$) и барометром, причем $p = p_б - p_в$.
Единица измерения давления в СИ – *Паскаль* (*Па*)

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Удельный объем – физическая величина, равная отношению объема вещества к его массе:

$$v = \frac{V}{M}$$

Единица удельного объема – м^3/кг в системе СИ.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Температура представляет собой меру нагретости тел. В быту температуру отождествляют с понятиями *тепло* – теплый и *холодно* – холодный.

В технической термодинамике под температурой понимается величина, пропорциональная энергии движения молекул и атомов данного тела.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Для жидкого и газообразного тела абсолютная температура прямо пропорциональна средней кинетической энергии беспорядочного движения молекулы, приходящейся на одну степень свободы ее движения (поступательного). Эту зависимость для газов можно выразить в виде

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

$$\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2}kT,$$

где k = 1,38·10^{-23} Дж/К – постоянная Больцмана.

Для твердого тела с жесткой кристаллической решеткой температура будет пропорциональна внутренней энергии колебательного движения атомов в молекуле.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Температура определяет направление перехода тепловой энергии (теплоты). Теплота переходит от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Этот процесс энергетического обмена будет самопроизвольно протекать до полного выравнивания температур обоих тел.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

При этом у первого тела температура будет уменьшаться, а у второго – увеличиваться до установления термического равновесия.

Температура, так же как и давление, относится к интенсивным параметрам, ее измерение осуществляется с использованием экстенсивных свойств вещества.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Например, через изменение объема в жидкостных термометрах или электрического сопротивления в термометрах сопротивления, через изменение ЭДС в спае термопары и т.п. На практике используются две температурные шкалы.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Абсолютная шкала температур Кельвина – ее нижняя граница соответствует точке абсолютного нуля, где отсутствует молекулярное движение и единственной экспериментальной точкой принята тройная точка воды, лежащая выше точки таяния льда при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт.ст.) на 0,01°, этой точке присвоено значение 273,16 К.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Это значение выбрано для того, чтобы разность температур кипения и таяния химически чистой воды при нормальном физическом давлении составляла 100°.

Температура в кельвинах соответствует СИ и обозначается как *T*, К.

Вторая – стоградусная шкала температур Цельсия – широко используется в практике.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Эта шкала имеет две опытные точки: 0°C и 100°C. Температура на ней обозначается как t, °C. Между абсолютной температурой по шкале Кельвина и температурой по шкале Цельсия имеется соотношение: $T = t + 273{,}15$.

В англоязычных странах используется шкала Фаренгейта, для которой справедливо соотношение $F = 1{,}8t + 32$.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Изменение состояния термодинамической системы, характеризующееся изменением ее параметров, называют ***термодинамическим процессом***.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Равновесное состояние – состояние термодинамической системы, характеризующееся при постоянных внешних условиях неизменностью параметров во времени и отсутствием в системе потоков.

Состояние термодинамической системы, не удовлетворяющее этому определению, называется *неравновесным состоянием*.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Равновесное состояние – состояние термодинамической системы, характеризующееся при постоянных внешних условиях неизменностью параметров во времени и отсутствием в системе потоков.

Состояние термодинамической системы, не удовлетворяющее этому определению, называется *неравновесным состоянием*.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Уравнение состояния

$$F(p, v, T) = 0$$

Основное уравнение кинетической теории газов

$$pV = \frac{2}{3} NaT$$

Закон Бойля-Мариотта (при T = const, a = const, N = const)

$$pV = \text{const}$$

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Закон Гей-Люссака (при p = const)

$$\frac{V}{T} = \text{const},$$

откуда

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}$$

или

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}$$

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Закон Авогадро

Из закона Авогадро следует, что плотности газов $\rho = {}^{1}/_{v}$, находящихся при одинаковых давлении и температуре, прямо пропорциональны их молярным массам μ, т.е.

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Молярная масса

$$\mu = \frac{m}{\nu}$$

Единица измерения молярной массы в системе единиц СИ $[\mu] = {}^{\text{кг}}/_{\text{моль}}$

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

Для нормальных условий в расчете на 1 моль имеем

$$\tilde{R} = \frac{p\tilde{V}}{T} = \frac{101325 \cdot 22{,}4 \cdot 10^{-3}}{273{,}15} = 8{,}314 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}\right]$$

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Для реальных газов применяют *уравнение Ван-дер-Ваальса:*

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

(в расчете на единицу объема)

a, b – константы, характерные для конкретного газа.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

	Паскаль (Pa, Па)	Бар (bar, бар)	Техническая атмосфера (at, ат)	Физическая атмосфера (atm, атм)	Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст., mm Hg, Torr, торр)	Метр водяного столба (м вод. ст., m H_20)	Фунт-сила на кв. дюйм (psi)
1 Па	1 Н/м^2	10^{-5}	$10{,}197\cdot10^{-6}$	$9{,}8692\text{-}10^{-6}$	$7{,}5006\cdot10^{-3}$	$1{,}0197\cdot10^{-4}$	$145{,}04\cdot10^{-6}$
1 бар	10^5	$1\cdot10^6$ дин/см^2	1,0197	0,98692	750,06	10,197	14,504
1 ат	98066,5	0,980665	1 кгс/см^2	0,96784	735,56	10	14,223
1 атм	101325	1,01325	1,033	1 атм	760	10,33	14,696
1 мм рт. ст.	133,322	$1{,}3332\cdot10^{-3}$	$1{,}3595\ 10^{-3}$	$1{,}3158\cdot10^{-3}$	1 мм рт. ст.	$13{,}595\cdot10^{-3}$	$19{,}337\cdot10^{-3}$
1 м вод. ст.	9806,65	$9{,}80665\cdot10^{-2}$	0,1	0,096784	73,556	1 м вод. ст.	1,4223
1 psi	6894,76	$68{,}948\cdot10^{-3}$	$70{,}307\cdot10^{-3}$	$68{,}046\cdot10^{-3}$	51,715	0,70307	1 lbf/in^2

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Задача №1

Определить абсолютное давление в паровом котле, если манометр показывает 0,26 МПа, а атмосферное давление равно 755 мм рт. ст.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Задача №2

Разрежение в газоходе парового котла, измеряемое тягомером, равно 35 мм вод. ст. Определить абсолютное давление газов, если показание барометра 730 мм рт. ст., и выразить его в МПа.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Задача №3

В баллоне емкостью 40 л находится кислород при давлении 115 кгс/см^2 по манометру. Температура кислорода 25 °С, атмосферное давление равно 745 мм рт. ст. Определить массу кислорода и его плотность.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Задача №4

Чему равна масса 18 м^3 водорода, кислорода и углекислого газа, если $P_{ман}$ = 6 кгс/см^2; $P_{бар}$ = 750 мм рт. ст.; t = 100 °С.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Задача №5

В резервуаре емкостью 12 м^3, содержащем в себе воздух для пневматических работ, давление равно 8 ат по манометру при температуре воздуха 25 °С. После использования части воздуха давление его упало до 3,8 ат, а температура – до 17°С. Определить, сколько килограммов воздуха израсходовано, если $P_{бар}$ = 755 мм рт. ст.

Практическое занятие №1: Параметры состояния рабочего тела

Задача №6

Сосуд емкостью V = 10 м^3 заполнен углекислым газом. Определить абсолютное давление в сосуде, если масса газа равна 8 кг, а температура равна 27 °С.

Задача №7

Поршневой компрессор всасывает в минуту 3 м^3 воздуха при t = 17 °С и барометрическом давлении $P_{бар}$ = 750 мм рт. ст. и нагнетает его в резервуар, объем которого равен 8,5 м^3. За какое время компрессор поднимет давление в резервуаре до значения P = 20 ат, если температура в резервуаре будет оставаться постоянной? Начальное давление в резервуаре 750 мм рт. ст., начальная температура 17 °С.