

Лекция

1.1. Предмет технической термодинамики и ее задачи

Термодинамика – наука о превращениях различных видов энергии друг в друга.

Термодинамика делится на три части:

1) *общая термодинамика* – изучает:

- а) процессы превращения энергии в твердых, жидких и газообразных телах;
- б) излучение различных тел;
- в) магнитные и электрические явления;
- г) устанавливает математические зависимости между термодинамическими величинами.

2) *химическая термодинамика* – на основе законов общей термодинамики изучает:

- а) химические, тепловые, физико-химические процессы;
- б) равновесие и влияние на равновесие внешних условий.

3) *техническая термодинамика* – рассматривает:

- а) закономерности взаимного превращения теплоты в работу;
- б) устанавливает взаимосвязь между тепловыми, механическими и химическими процессами, которые совершаются в тепловых и холодильных машинах;
- в) изучает процессы, происходящие в газах и парах, а также свойства этих тел при различных физических условиях.

Техническая термодинамика, применяя основные законы к процессам превращения теплоты в механическую работу и механической работы в теплоту, дает возможность разрабатывать теорию тепловых двигателей, исследовать процессы, протекающие в них, и позволяет выявлять их экономичность для каждого типа отдельно.

1.2. Термодинамическая система

Термодинамическая система представляет собой совокупность материальных тел, находящихся в механическом и тепловом взаимодействиях друг с другом и с окружающей систему внешними телами.

Тела не входящие в систему, называют *окружающей средой*. Систему отделяют от окружающей среды *контрольной поверхностью* (оболочкой).

Пример простейшей системы (ДВС, рис. 1.1) – газ, заключенный в цилиндре под поршнем, внешней средой является окружающий воздух, контрольной поверхностью служат стенки цилиндра и поршень.

Механическая работа в данном примере производится при перемещении поршня и сопровождается изменением объема. Тепловое взаимодействие заключается в переходе теплоты между отдельными телами системы и между системой и окружающей средой.

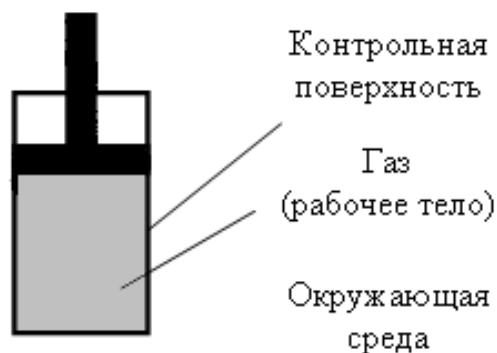


Рис. 1.1. Пример простейшей термодинамической системы

Виды термодинамических систем:

- 1) *Открытая* – обменивается со средой теплотой и веществом (потoki газа или пара в турбинах и трубопроводах);
- 2) *Закрытая* – вещество не проходит через границы системы;
- 3) *Теплоизолированная или адиабатная* – без теплообмена с окружающей средой (рабочее тело, находящееся в сосуде, стенки которого покрыты идеальной тепловой изоляцией);
- 4) *Изолированная или замкнутая* – не обменивается со средой ни теплотой, ни веществом.

Кроме вышеперечисленной классификации существуют следующие системы:

- 1) *Однородная* – имеет во всех своих частях одинаковый состав и физические свойства;
- 2) *Гомогенная* – однородная система внутри, которой нет поверхности раздела (лед, вода, газ);
- 3) *Гетерогенная* – система, состоящая из нескольких макроскопических частей с различными физическими свойствами, отделенных одна от другой видимыми поверхностями раздела (лед и вода, вода и пар и т.п.).

Гомогенные части системы, отделенные от остальных частей видимыми поверхностями раздела, называются *фазами*.

В зависимости от числа фаз гетерогенные системы называют *двухфазными и трехфазными* (газообразное, жидкое и твердое состояние).

1.3. Термодинамические параметры состояния

В тепловых двигателях преобразование теплоты в работу осуществляется с помощью так называемого рабочего тела (ДВС и ГТУ- газ, ПТУ – пар).

Физическое состояние рабочего тела определяется некоторыми величинами, характеризующими данное состояние, которые называют *параметрами состояния*.

Параметрами состояния могут быть целый ряд величин: удельный объем, абсолютное давление, абсолютная температура, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия и др.

Однако при отсутствии силовых полей (гравитационного, электромагнитного и др.) состояние однородного тела может быть однозначно определено тремя параметрами, в качестве которых в технической термодинамике принимают удельный объем, абсолютную температуру и давление. Эти три *основные* параметра не являются независимыми величинами и, связаны между собой вполне определенными математическими зависимостями.

1) *Удельный объем*. Удельный объем однородного вещества – величина, определяемая отношением объема к его массе, м³/кг.

$$v = \frac{V}{M}, \quad (1.1)$$

где V – объем произвольного количества вещества, м³;

M – масса этого вещества, кг.

2) *Плотность*. Плотность вещества – величина, определяемая отношением массы к объему вещества, кг/м³.

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

Удельный объем есть величина, обратная плотности, т.е.

$$v = \frac{1}{\rho}.$$

3) *Давление*. Давление обусловлено взаимодействием молекул рабочего тела с поверхностью. Численно равно, силе действующей на единицу площади поверхности по нормали к последней. Единицей давления в системе СИ является паскаль – давление вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью в 1 м² (Па=1 Н/м²).

В практических расчетах возможно применение кратных и дольных единиц давления: килопаскалей (кПа), мегапаскалей (МПа).

Внесистемные единицы:

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 750,10 \text{ мм рт. ст.} = 10,20 \text{ м.вод.ст.}$$

Для измерения давлений применяют барометры (атмосферное давление) и манометры (давление превышающее атмосферное). Для измерения разрежения – вакуумметры.

Давление, превышающее атмосферное, называют *избыточным*.

Термодинамическим параметром состояния является только *абсолютное* давление. *Абсолютным* давлением называют давление, отсчитываемое от абсолютного нуля давления или от абсолютного вакуума.

Согласно молекулярно-кинетической теории, абсолютное давление газа численно равно $2/3$ средней кинетической энергии поступательного движения молекул, заключенных в единице объема:

$$p = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \frac{m \cdot \bar{c}^2}{2}, \quad (1.3)$$

где n – число молекул в удельном объеме;

m – масса молекул;

$\bar{c}^2$ – средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул;

$\frac{m \cdot \bar{c}^2}{2}$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.

4) *Температура*. Температура представляет собой меру средней кинетической энергии поступательного движения молекул тела, т.е. характеризует среднюю интенсивность движения молекул. Соответственно, чем больше средняя скорость движения молекул, тем выше температура тела.

Согласно кинетической теории:

$$\frac{m \cdot \bar{c}^2}{2} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T, \quad (1.4)$$

где: k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T – абсолютная температура, К.

Абсолютная температура всегда величина положительная. При температуре абсолютного нуля ($T=0$) прекращается тепловое движение

молекул ($c=0$). Эта предельная минимальная температура и является началом для отсчета абсолютных температур.

В технике для измерения температур используют различные свойства тел:

- 1) Расширение тел от нагревания в жидкостных термометрах;
- 2) Изменение объема при постоянном давлении или изменение давления при постоянном объеме в газовых термометрах;
- 3) Изменение электрического сопротивления проводника при нагревании в термометрах сопротивления;
- 4) Изменение э.д.с. в цепи термопары при нагревании или охлаждении ее спая;
- 5) Использование законов излучения твердых тел и методов сравнения раскаленной нити с исследуемым материалом (только при измерении высоких температур с использованием оптических пирометров).

В настоящее время применяется две температурные шкалы:

- 1) *Термодинамическая* – основана на втором законе термодинамики;
- 2) *Международная (практическая)* – является практическим осуществлением термодинамической температурной шкалы, полученной с помощью реперных (опорных) точек и интерполяционных уравнений.

Измерение температур в каждой из этих шкал может производиться как в *Кельвинах* (К), так и в градусах *Цельсия* ($^{\circ}\text{C}$) в зависимости от принятого начала отсчета (положения нуля) по шкале.

В так называемой тройной точке воды, т.е. в точке, где жидкая, парообразная и твердая фазы находятся в устойчивом равновесии, температура в кельвинах равна 273,16 К (точно), а в градусах Цельсия 0,01 $^{\circ}\text{C}$.

Следовательно, между температурами, выраженными в кельвинах и градусах Цельсия, имеется следующее соотношение:

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

Параметром состояния является абсолютная температура, выражаемая

в кельвинах. Градус абсолютной шкалы численно равен градусу шкалы Цельсия, так что $dT = dt$.

В ряде стран используют шкалу *Фаренгейта*:

$$t^{\circ}C = \frac{(t^{\circ}F - 32)}{1,8}.$$

Если все термодинамические параметры постоянны во времени и одинаковы во всех точках системы, то такое состояние системы называется *равновесным*.

Если между различными точками в системе существуют разницы температур, давлений и других параметров, то она является *неравновесной*.

Изолированная система с течением времени всегда приходит в состояние равновесия и никогда самопроизвольно выйти из него не может.

Практика

Решить задачи

Задача 1. Определить мощность механических потерь восьмицилиндрового четырехтактного карбюраторного двигателя, если среднее индикаторное давление $p_e = 1,5 \cdot 10^5$ Па, диаметр цилиндра $D = 0,1$ м, ход поршня $S = 0,095$ м, частота вращения коленчатого вала $n = 50$ об/с и механический КПД $\eta_m = 0,8$.

Ответ: $N_M = 22,4$ кВт.

Задача 2. Определить индикаторную мощность и мощность механических потерь шестицилиндрового двухтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление $p_e = 6,36 \cdot 10^5$ Па, степень сжатия $\varepsilon = 16$, объем камеры сгорания $V_c = 7,8 \cdot 10^{-5}$ м³, частота вращения коленчатого вала $n = 35$ об/с и механический КПД $\eta_m = 0,84$.

Ответ: $N_i = 186$ кВт; $N_M = 29,8$ кВт.

Задача 3. Определить среднее индикаторное давление и среднее давление механических потерь восьмицилиндрового четырехтактного карбюраторного двигателя, если эффективная мощность $N_e = 145$ кВт, диаметр цилиндра $D = 0,1$ м, ход поршня $V_h = 0,09$ м, средняя скорость поршня $c_m = 12,0$ м/с и механический КПД $\eta_m = 0,8$.

Ответ: $p_i = 9,6 \cdot 10^5$ Па; $p_m = 1,92 \cdot 10^5$ Па.

Задача 4. Определить эффективную мощность и удельный эффективный расход топлива восьмицилиндрового четырехтактного карбюраторного двигателя, если индикаторная работа газов за цикл $L_i = 649$ Дж, диаметр цилиндра $D = 0,1$ м, ход поршня $S = 0,095$ м, средняя скорость поршня $c_m = 9,5$ м/с, механический КПД $\eta_m = 0,85$ и расход топлива $B = 9,1 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Ответ: $N_e = 110,5$ кВт; $b_e = 0,316$ кг/(кВт·ч).

Для получения зачета выполнить задание из установочных материалов и ответить на 3 любые вопроса к зачету из установочных материалов.