

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА	7
1.1. Параметры состояния идеального газа	7
1.2. Первый закон термодинамики	9
1.3. Основные термодинамические процессы	11
1.4. Термический КПД и прямой обратимый цикл Карно	17
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛООБМЕНА	30
2.1. Теплопроводность	30
2.2. Теплопроводность через однослойную плоскую стенку	31
2.3. Теплопередача через однослойную плоскую стенку	32
2.4. Теплопередача через многослойную плоскую стенку	33
3. ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ	41
3.1. Основные положения теплового расчета	42
Библиографический список	46
ПРИЛОЖЕНИЕ	47

ВВЕДЕНИЕ

Теплотехника — это наука, изучающая способы получения, передачи, преобразования и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых устройств, аппаратов и машин.

С целью установления наиболее эффективных способов использования теплоты, анализа экономичности рабочих процессов тепловых установок и создания новых, наиболее совершенных типов тепловых аппаратов необходима разработка теоретических основ теплотехники.

Различают два ключевых направления использования теплоты — энергетическое и технологическое.

При энергетическом использовании теплота преобразуется в механическую работу, с помощью которой в генераторах создается электрическая энергия, удобная для передачи на расстояние. Теплоту при этом получают благодаря сжиганию топлива в теплогенерирующих установках или непосредственно в двигателях внутреннего сгорания (ДВС).

При технологическом использовании теплота применяется для направленного изменения свойств различных тел (изменения структуры, расплавления, затвердевания, физических, механических, химических свойств).

Дисциплины «Теплотехника», «Теплопередача» и «Техническая термодинамика» рассматривают процессы взаимного преобразования теплоты в механическую работу. Они устанавливают взаимосвязь между механическими и тепловыми процессами, которые совершаются в тепловых и холодильных машинах, рассматривают процессы, которые происходят в газах, водяном паре, влажном воздухе, а также свойства этих тел при различных термодинамических и физических условиях.

В основу дисциплины «Техническая теплотехника и термодинамика» положены два основных закона.

Первый закон термодинамики характеризует количественную сторону процессов превращения энергии, а второй — устанавливает качественную сторону процессов, происходящих в физических системах.

Техническая термодинамика, применяя основные законы к процессам превращения теплоты в механическую работу и обратно, дает возможность разрабатывать теории тепловых двигателей, исследовать процессы, протекающие в них, и т.п.

Объектом исследования является термодинамическая система, которой могут быть группа тел, тело или часть тела. То, что находится вне системы, называется окружающей средой.

В качестве системы принимают макроскопическое тело, состоящее из большого числа частиц. При решении технических задач такую систему называют рабочим телом.

Рабочее тело является необходимым посредником, с помощью которого в тепловых машинах и установках получают работу, теплоту и холод. Оно может состоять как из одного, так и из нескольких индивидуальных веществ, называемых его компонентами. В большинстве случаев речь идет о газе, так как он способен значительно изменять свой объем при взаимодействии с окружающей средой.

Термодинамическая система — это совокупность макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией друг с другом и окружающей средой.

Система, заключенная в недеформируемую и непроницаемую для потоков теплоты и массы оболочку, абсолютно не взаимодействует с окружающей средой, поэтому называется изолированной.

Если система не обменивается с окружающей средой веществом, то ее называют закрытой, или замкнутой, в противном случае — открытой.

Систему, не обменивающуюся с окружающей средой теплотой, называют термически изолированной, или адиабатной.

В общем случае взаимодействие системы и окружающей среды может состоять в обмене веществом и передаче энергии теплотой (теплообмен) и работой, под которой понимают как механическую, так и немеханические виды работ, например электрическую, магнитную работу сил поверхностного натяжения и т.д.

В тепловых машинах (двигателях) механическая работа совершается с помощью рабочих тел — пар, газ.

1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

1.1. Параметры состояния идеального газа

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

К основным параметрам состояния рабочего тела относятся:

- абсолютное давление;
- абсолютная температура;
- объем (удельный).

Абсолютное давление представляет собой силу, действующую по нормали к поверхности тела и отнесенную к единице площади этой поверхности, P ($P_{\text{абс}}$), Па.

Давление окружающей нас среды — около $100\,000\text{ Па} = 10^5\text{ Па}$.

Соотношение между единицами измерения давления:

$$1\text{ атм.} = 9,81 \cdot 10^4\text{ Па};$$

$$1\text{ бар} = 10^5\text{ Па} = 0,1\text{ МПа} = 750\text{ мм рт. ст.};$$

$$1\text{ мм рт. ст.} = 133,3\text{ Па}.$$

Различают давление: избыточное, атмосферное, разреженное (вакуум). Термодинамическим параметром состояния является только абсолютное давление, т.е. давление, отсчитываемое от абсолютного нуля. Это связано с тем, что атмосферное давление постоянно изменяется, следовательно, изменяется величина вакуума или избыточного давления.

Приборы для измерения давления

Барометр — прибор, который служит для измерения атмосферного (барометрического) давления:

$$B = P_{\text{атм}} = P_{\text{бар}}. \quad (1)$$

Манометр — прибор, который служит для измерения давления выше атмосферного (избыточного):

$$P_{\text{ман}} = P_{\text{изб}}. \quad (2)$$

Вакуумметр — прибор, который служит для измерения давления ниже атмосферного:

$$P_{\text{вак}} = h, \quad (3)$$

где h — давление разрежения.

Абсолютное давление определяется по формулам:

$$P = P_{\text{абс}} = P_{\text{изб}} + P_{\text{атм}}; \quad (4)$$

$$P = P_{\text{абс}} = B - P_{\text{вак}} = B - h. \quad (5)$$

Температура тела — физическая величина, характеризующая степень нагретости тела; определяет направление возможного самопроизвольного перехода тепла между телами.

Для измерения температуры используются различные свойства тел: расширение тел от нагревания, изменение объема при $P = \text{const}$ или изменение давления при $V = \text{const}$, изменение электрического сопротивления проводника при нагревании, законы излучения твердых тел (в оптических пирометрах). В настоящее время помимо шкалы Кельвина используется шкала Цельсия, в которой точкой отсчета является тройная точка воды (точка, где жидкая, парообразная и твердая фазы находятся в устойчивом равновесии), температура в кельвинах T равна $273,15\text{ К}$, а в градусах Цельсия t — $0,01\text{ }^\circ\text{C}$.

Соотношение для перехода от шкалы t в градусах Цельсия к шкале T в градусах Кельвина:

$$T = t + 273,15. \quad (6)$$

Удельный объем — объем единицы массы вещества (1 кг), м³/кг:

$$v = \frac{V}{m}. \quad (7)$$

Для сравнения величин, характеризующих системы в одинаковых состояниях, вводится понятие «нормальные физические условия»:

$$P = 101,325 \text{ кПа}; T = 273,15 \text{ К}.$$

Теплоемкость — количество теплоты, которое необходимо сообщить телу (газу), чтобы повысить температуру какой-либо его количественной единицы (кг, м³, моль) на 1 градус.

Теплоемкость бывает:

– истинная — это теплоемкость при данной температуре:

$$C = \frac{dq}{dT}; \quad (8)$$

– средняя — это теплоемкость, которая происходит в интервале температур от t_1 до t_2 :

$$C = \frac{q}{t_2 - t_1}. \quad (9)$$

Теплоемкость зависит от атомности газа, параметров состояния: давления и температуры, а также условий подвода тепла. Теплоемкость может иметь отрицательное значение для определенного типа процессов.

Наиболее часто используются:

– изобарная теплоемкость C_p (при подводе или отводе теплоты при постоянном давлении);

– изохорная теплоемкость C_v (при подводе или отводе теплоты при постоянном объеме).

Для идеальных газов уравнение Майера:

$$C_p - C_v = R_{\Gamma}. \quad (10)$$

Кроме того, $\frac{C_p}{C_v} = k$, где k — показатель адиабаты (иногда называемый коэффициентом

Пуассона), — отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме. Иногда его еще называют фактором изоэнтропийного расширения. Буквенный символ в основном используется в химических инженерных дисциплинах. Для процессов с постоянной теплоемкостью $k = 1,4$ (для двухатомных газов).

Уравнение состояния идеальных газов

В технической теплотехнике и термодинамике применяют понятие об идеальном газе. Под идеальным газом понимают газ, у которого отсутствуют силы взаимодействия между молекулами, а молекулы не имеют объема, т.е. представляют собой материальные точки. В реальности такого газа не существует, но введение понятия «идеальный газ» позволило составить простые математические зависимости между величинами, характеризующими состояние тела, и на основе законов для идеальных газов создать стройную теорию термодинамических процессов. Все реальные газы при высоких температурах и малых давлениях почти полностью подходят под понятие «идеальный газ» и по свойствам не отличаются от него.

Уравнение Менделеева – Клапейрона

– для 1 кг газа:

$$Pv = R_{\Gamma}T; \quad (11)$$

– для m кг газа:

$$PV = mR_{\Gamma}T,$$

где $R_{\Gamma} = \frac{R}{\mu}$ — газовая постоянная (удельная) данного газа, Дж/кг·К (табл. 1); здесь $R = 8,314$ Дж/моль·К — универсальная газовая постоянная (для 1 моля идеального газа); μ — молекулярная масса данного газа, кг/моль.

Таблица 1

Физические постоянные некоторых газов

Постоянные	Газ						
	Водород H ₂	Кислород O ₂	Азот N ₂	Воздух (O ₂ — 23 % и N ₂ — 77 % массы)	Водяной пар H ₂ O	Углекислый газ CO ₂	Метан CH ₄
Относительная молекулярная масса μ , кг/кмоль	2,02	32,0	28,01	29,0	18,04	44,01	16,04
Газовая постоянная R_{Γ} , Дж/кг·К	4124	259,8	296,8	286,7	460,9	188,9	518,3

1.2. Первый закон термодинамики

Формулировка первого закона термодинамики: количество теплоты, которое подводится к системе, расходуется на совершение данной системой работы (против внешних сил) и изменение ее внутренней энергии.

В математическом виде первый закон термодинамики можно записать

– в интегральном виде:

$$\Delta Q = \Delta U + L, \quad (12)$$

где ΔQ — количество теплоты, которое получает термодинамическая система;

ΔU — изменение внутренней энергии рассматриваемой системы;

L — работа, которую выполняет система над внешними телами (против внешних сил);

– в интегральной форме (для замкнутой термодинамической системы):

$$q = \Delta u + l.$$

Рассмотрим составляющие первого закона термодинамики.

Удельная внутренняя энергия — внутренняя энергия единицы массы вещества, Дж/кг:

$$u = \frac{U}{m}. \quad (13)$$

Внутренняя энергия — однозначная функция состояния тела, и, следовательно, изменение внутренней энергии в термодинамическом процессе не зависит от характера процесса, а определяется только начальным и конечным состояниями тела.

Для любого термодинамического процесса идеального газа изменение внутренней энергии будет определяться как

$$du = C_v dT; \quad (14)$$

$$\Delta u = C_v \Delta T = C_v (T_2 - T_1),$$

где C_v — средняя изохорная теплоемкость газа в интервале температур от T_1 до T_2 .

Энтальпия — это сумма внутренней энергии тела и произведения давления на объем:

$$I = U + PV, \quad (15)$$

где I — энтальпия; U — внутренняя энергия; P — давление; V — объем.

Удельная энтальпия — это отношение энтальпии тела I к его массе m , Дж/кг:

$$i = \frac{I}{m};$$

$$i = u + Pv.$$

Так как входящие в формулу для определения энтальпии величины u , P , v являются функциями состояния, то и сама энтальпия является функцией состояния, и, следовательно, изменение энтальпии в термодинамическом процессе не зависит от характера процесса, а определяется только начальным и конечным состояниями тела.

Для любого термодинамического процесса идеального газа изменение энтальпии будет определяться как

$$di = C_p dT; \quad (16)$$

$$\Delta i = C_p \Delta T = C_p (T_2 - T_1),$$

где C_p — средняя изобарная теплоемкость газа в интервале температур от T_1 до T_2 .

Энтропия — функция состояния рабочего тела; не зависит от процесса перехода из начального в конечное состояние, и ds является полным дифференциалом:

$$dS = \frac{dQ}{T}. \quad (17)$$

Удельная энтропия — это отношение энтропии тела к его массе m , Дж/кг·К:

$$s = \frac{S}{m}.$$

Изменение энтропии в каком-либо процессе:

$$\Delta s = s_2 - s_1.$$

В процессах при постоянном объеме $V = \text{const}$:

$$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

В процессах при постоянном давлении $P = \text{const}$:

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

Понятие энтропии позволяет ввести для термодинамических расчетов T - s -диаграмму, на которой (как и на P - v -диаграмме) состояние термодинамической системы изображается точкой, а равновесный термодинамический процесс — линией.

1.3. Основные термодинамические процессы

Первый закон термодинамики устанавливает взаимосвязь между количеством теплоты, изменением внутренней энергии и внешней работой газа, причем количество теплоты, подводимое к телу или отводимое от него, зависит от характера процесса.

К основным процессам относятся:

- изохорный, протекающий при постоянном объеме;
- изобарный, протекающий при постоянном давлении;
- изотермический, протекающий при постоянной температуре;
- адиабатный, протекающий при отсутствии теплообмена с внешней средой;
- политропный, который характеризуется постоянством теплоемкости в процессе.

Изохорный процесс

Процесс, протекающий при постоянном объеме, называют *изохорным*; $dv = 0$ или $v = \text{const}$ (рис. 1, 2). Кривая процесса называется *изохорой*. При постоянном объеме давление газа изменяется прямо пропорционально абсолютным температурам (закон Шарля):

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (18)$$

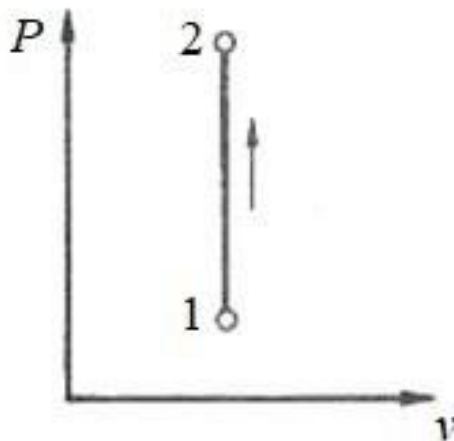


Рис. 1. Изохорный процесс в P - v -координатах

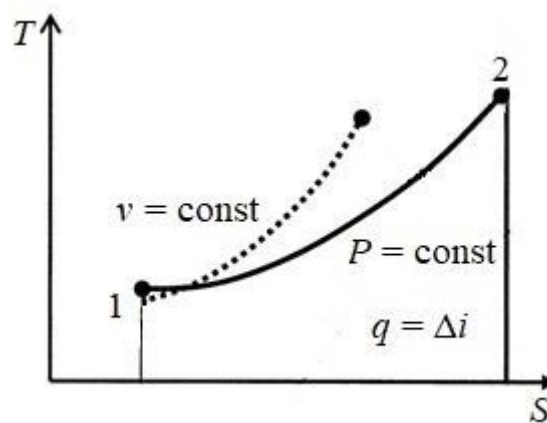


Рис. 2. Изохорный процесс в T - s -координатах

Внешняя работа газа при $v = \text{const}$ равна нулю, так как $dv = 0$:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} P dv = 0. \quad (19)$$

Уравнение первого закона термодинамики при $dl = 0$ принимает вид

$$dq_v = du_v = C_v dT. \quad (20)$$

Количество теплоты, участвующее в изохорном процессе при постоянной теплоемкости, равно

$$q_v = \Delta u = C_v \Delta T = C_v (T_2 - T_1).$$

Вся внешняя теплота расходуется только на изменение внутренней энергии тела.

Изменение энтропии в обратимом изохорном процессе определяем как

$$\Delta S_v = C_v \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (21)$$

Изобарный процесс

Процесс, протекающий при постоянном давлении, называют *изобарным*; $dP = 0$ или $P = \text{const}$ (рис. 3, 4). Из уравнения состояния идеального газа $Pv = R_\Gamma T$ для изобарного процесса находим

$$\frac{v}{T} = \frac{R_\Gamma}{P} = \text{const}. \quad (22)$$

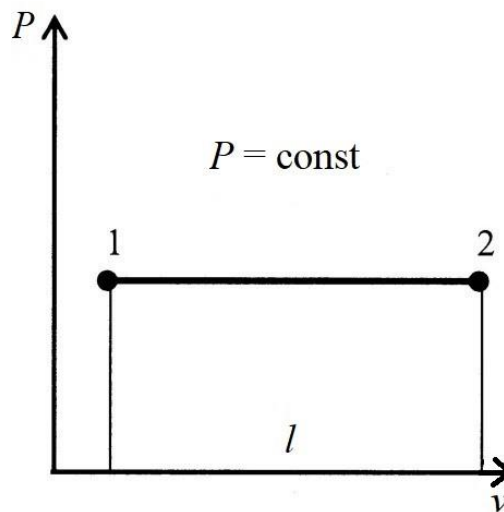


Рис. 3. Изобарный процесс в P - v -координатах

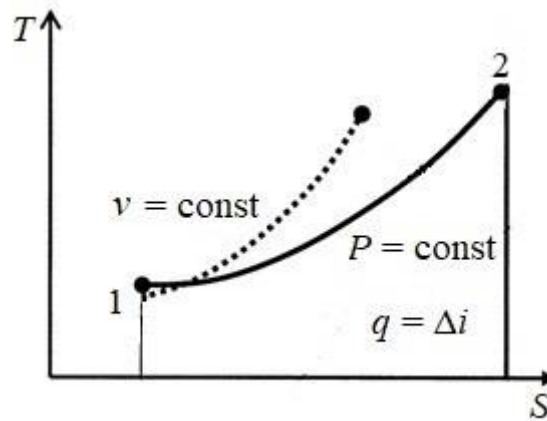


Рис. 4. Изобарный процесс в T - s -координатах

В изобарном процессе объемы одного и того же количества газа изменяются прямо пропорционально абсолютным температурам. Это соотношение называется законом Гей-Люссака:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (23)$$

При расширении газа его температура возрастает, при сжатии — уменьшается. Удельная работа изменения объема при этом выражается следующим уравнением:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} P dv = P(v_2 - v_1) = R_r(T_2 - T_1).$$

Уравнение первого закона термодинамики при $P = \text{const}$ ($dP = 0$) имеет вид

$$dq_p = C_p dT = di. \quad (24)$$

Количество теплоты, сообщенное телу в изобарном процессе при постоянной теплоемкости, равно

$$q_p = C_p \Delta T = \Delta i = i_2 - i_1.$$

Для обратимого изобарного процесса при постоянной теплоемкости изменение энтропии находится по уравнению

$$\Delta S_p = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (25)$$

В T - s -диаграмме изобары являются более пологими кривыми, чем изохоры.

Изотермический процесс

Процесс, протекающий при постоянной температуре, называют *изотермическим*; $T = \text{const}$ или $dT = 0$ (рис. 5, 6). Кривая процесса называется изотермой. Для изотермического процесса идеального газа $Pv = R_r T$, при $T = \text{const}$ получаем $Pv = \text{const}$.

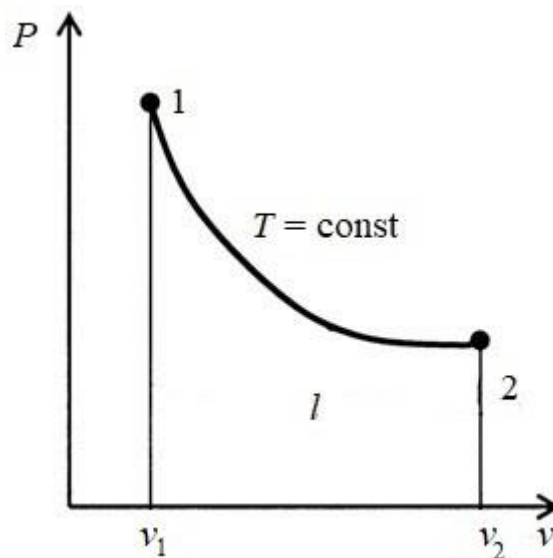


Рис. 5. Изотермический процесс в P - v -координатах

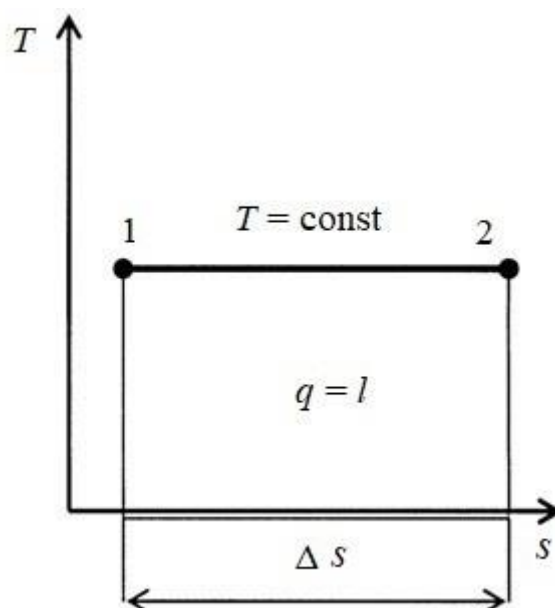


Рис. 6. Изотермический процесс в T - s -координатах

При постоянной температуре объем газа изменяется обратно пропорционально его давлению (закон Бойля – Мариотта):

$$P_1 v_1 = P_2 v_2. \quad (26)$$

Теплота, участвующая в изотермическом процессе, равна произведению изменения энтропии ($s_2 - s_1$) на абсолютную температуру T :

$$q = T \Delta s = T(s_2 - s_1) = R_{\Gamma} T \ln \frac{v_2}{v_1}.$$

Основное уравнение первого закона термодинамики при $T = \text{const}$ ($dT = 0$) получает простой вид: так как $du = C_v dT = 0$, то $dq = dl$, и для всего процесса $q = l$. Количество подведенной к рабочему телу теплоты численно равно работе изменения объема.

Зная уравнение изотермического процесса для идеального газа, можно подсчитать работу процесса:

$$l = q = R_{\Gamma} T \ln \frac{v_2}{v_1} = R_{\Gamma} T \ln \frac{P_1}{P_2}.$$

Энтальпия и внутренняя энергия идеального газа не меняются, т.е. $di = 0$ и $du = 0$.

Для определения изменения энтропии следует воспользоваться уравнением

$$\Delta s = R_{\Gamma} \ln \frac{v_2}{v_1}. \quad (27)$$

Адиабатный процесс

Процесс, протекающий без подвода и отвода теплоты, т.е. при отсутствии теплообмена рабочего тела с окружающей средой, называют *адиабатным*, а кривую этого процесса — адиабатой (рис. 7, 8). Для получения адиабатного процесса необходимым и обязательным условием является $dq = 0$ и, следовательно, $q = 0$.

Теплоемкость в адиабатном процессе из выражения $C = dq / dT$ при $dq = 0$ также равна нулю.

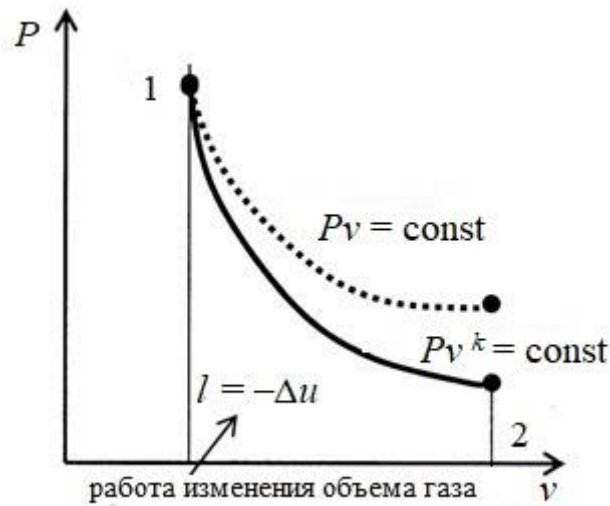


Рис. 7. Адиабатный процесс в P - v -координатах

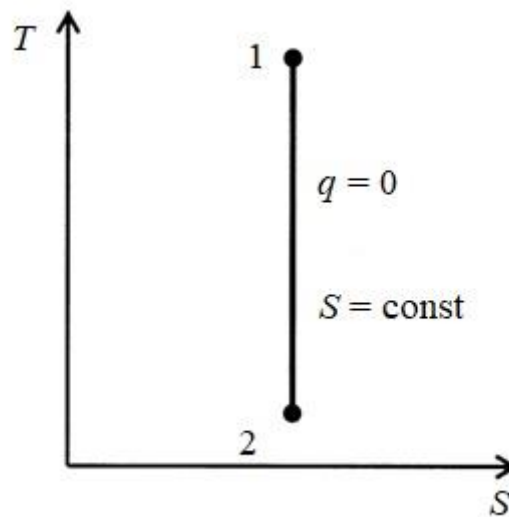


Рис. 8. Адиабатный процесс в T - s -координатах

При адиабатном процессе произведение давления на объем газа в степени k есть величина постоянная. Величину k называют показателем адиабаты;

$$Pv^k = \text{const}; \quad (28)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Удельная работа изменения объема, совершаемая телом над окружающей средой при равновесном адиабатном процессе, может быть вычислена по уравнению

$$l = \left(\frac{1}{k-1}\right)(P_1v_1 - P_2v_2) = \left(\frac{R}{k-1}\right)(T_1 - T_2) = C_v(T_1 - T_2).$$

Уравнение первого закона термодинамики для адиабатного процесса в целом имеет вид

$$\Delta u = \Delta i = -l.$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru