

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Параметры состояния тела	5
1.1 Удельный объем и плотность	5
1.2 Давление	5
1.3 Температура	6
2 Идеальный газ, уравнение состояния идеального газа	7
3 Газовые смеси	9
3.1 Понятие о газовой смеси	9
3.2 Парциальное давление и закон Дальтона	11
4 Первый закон термодинамики	12
4.1 Внутренняя энергии	14
4.2 Работа процесса	14
4.3 Коэффициент полезного действия (к.п.д.)	15
5 Теплоемкость газов	16
6 Смешение газов	20
7 Основные газовые процессы	22
7.1 Изохорный процесс	22
7.2 Изобарный процесс	23
7.3 Изотермический процесс	23
7.4 Адиабатный процесс	26
7.5 Политропный процесс	28
Список литературы	34

## ВВЕДЕНИЕ

Термодинамика это наука о превращениях различных видов энергии из одного вида в другой.

Термодинамика основа на двух установленных законах (началах):

- первый закон является законом преобразования и сохранения энергии примирительно к процессам изучаемых в термодинамике (невозможен процесс возникновения или исчезновения энергии).

- второй закон определяет направления течения реальных (неравновесных) процессов (не возможен процесс, имеющий единственным своим результатом превращения теплоты в работу).

Термодинамический метод исследования основан на законах (началах) термодинамики и представляет собой их логическое и математическое развитие.

Объект исследования в термодинамике называют термодинамической системой или термодинамическим телом.

Принято разделять термодинамику на физическую (или общую), химическую и техническую.

Техническая термодинамика устанавливает закономерности взаимного преобразования теплоты и работы, для чего изучает свойства газов и паров (рабочих тел) и процессы изменения их состояния; устанавливает взаимосвязь между тепловыми, механическими и химическими процессами, протекающих в тепловых двигателях и холодильных установках.

## 7 ОСНОВНЫЕ ГАЗОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Основные термодинамическими процессами являются:

- 1) процесс сообщения или отнятия тепла при постоянном объеме газа  $v = \text{const}$  изохорный процесс;
- 2) процесс сообщения или отнятия тепла при постоянном давлении газа  $p = \text{const}$  изобарный процесс;
- 3) процесс сообщения или отнятия тепла при постоянной температуре газа  $T = \text{const}$  изотермический процесс;
- 4) процесс без сообщения или отнятия тепла при постоянном объеме газа  $dq = 0$  адиабатный процесс;
- 5) процесс, в котором изменение параметров подчиняется уравнению

$$pv^n = \text{const}$$

где  $n$  – величина постоянная для данного процесса, показатель политропы.

### 7.1 Изохорный процесс

В  $p-v$  диаграмме процесс изображается прямой 1-2 параллельной оси ординат. Уравнение прямой 1-2 называется изохорой, рисунок 7.1.

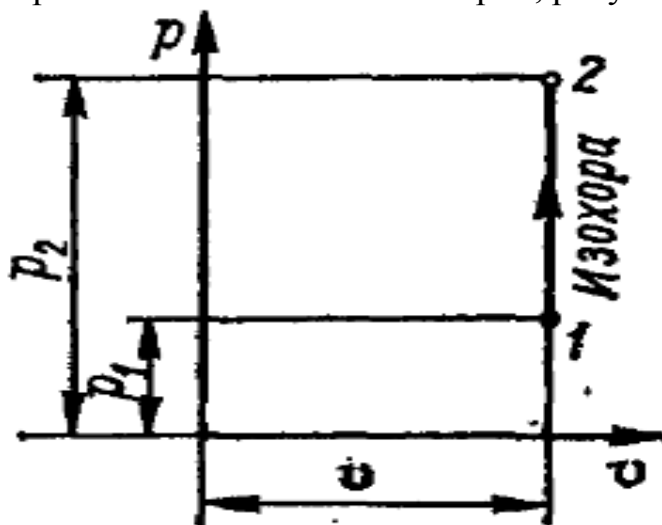


Рисунок 7.1 – Изохорный процесс

Зависимость между начальными и конечными параметрами процесса:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (7.1)$$

Изменение внутренней энергии, кДж/кг или ккал/кг:

$$\Delta u_v = q_v = c_{vm} (t_2 - t_1) \quad (7.2)$$

Если в процессе участвует  $M$  кг или  $V$  м<sup>3</sup> газа, то количества тепла или изменение внутренней энергии газа определяем по формуле:

$$\Delta U_v = Q_v = M \times c_{vm} (t_2 - t_1) = V_H \times c'_{vm} (t_2 - t_1) \quad (7.3)$$

где  $V_H$  – количества газа в м<sup>3</sup> при нормальных условиях.

В изохорном процессе газ работы не совершает ( $L=0$ ).

## 7.2 Изобарный процесс

В  $pV$  диаграмме процесс изображается прямой 1-2 параллельной оси абсцисс. Уравнение прямой 1-2 называется изобарой, рисунок 7.2.

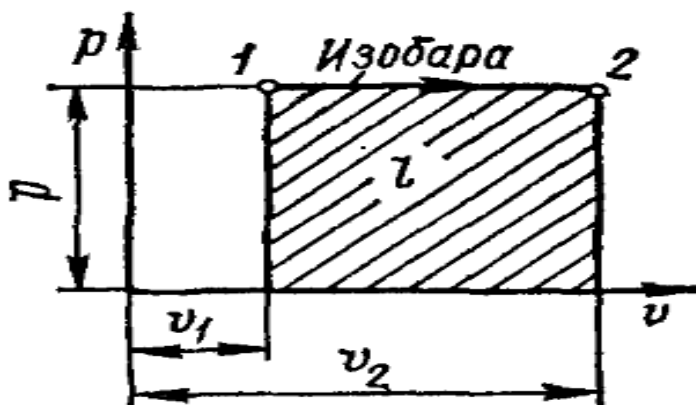


Рисунок 7.2 – Изобарный процесс

Зависимость между начальными и конечными параметрами процесса:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (7.4)$$

Работа 1кг газа:

$$l = p \times (v_2 - v_1) \quad (7.5)$$

или

$$l = R \times (T_2 - T_1) \quad (7.6)$$

Для  $M$  кг газа:

$$L = M \times p \times (v_2 - v_1) = p \times (V_2 - V_1) \quad (7.7)$$

или

$$L = M \times R \times (t_2 - t_1) \quad (7.8)$$

Если в процессе участвует  $M$  кг или  $V$  м<sup>3</sup> газа, то количества тепла газа определяем по формуле:

$$Q_p = M \times c_{pm} (t_2 - t_1) = V_H \times c'_{pm} (t_2 - t_1) \quad (7.9)$$

где  $V_H$  – количества газа в м<sup>3</sup> при нормальных условиях.

Изменение внутренней энергии определяют:

$$\Delta u_v = c_{vm} (t_2 - t_1) \quad (7.10)$$

или по формуле

$$\Delta u_v = c_{vm2} \times t_2 - c_{vm1} \times t_1 \quad (7.11)$$

### 7.3 Изотермический процесс

В  $p-v$  диаграмме процесс изображается равнобокой гиперболой 1-2. Уравнение кривой 1-2 называется изотермой, рисунок 7.3.

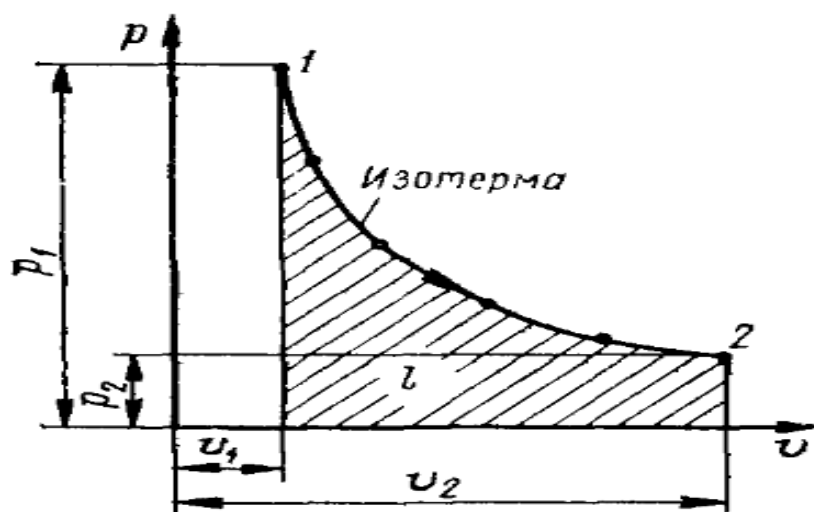


Рисунок 7.3 – Изотермический процесс

Зависимость между начальными и конечными параметрами процесса:

8

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad (7.12)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (7.13)$$

Работа 1г идеального газа определяется из уравнений:

$$l = R \times T \times \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (7.14)$$

$$l = R \times T \times \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (7.15)$$

$$l = p_1 \times v_1 \times \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (7.16)$$

$$l = p_1 \times v_1 \times \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (7.17)$$

Если в процессе участвует М кг или V м<sup>3</sup> газа, то работу газа определяем по формуле:

$$L = p_1 \times V_1 \times \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (7.18)$$

$$L = p_1 \times V_1 \times \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (7.19)$$

Так как в изотермическом процессе  $t = \text{const}$ , то для идеального газа:

$$\Delta u = c_{vm} (t_2 - t_1) = 0 \quad (7.20)$$

Количество тепла, сообщаемого или отнимаемого от газа, равно:

$$q_t = l \quad (7.21)$$

или для М кг:

$$Q_t = L \quad (7.22)$$

Натуральный логарифм, входящий в формулы, может быть заменен десятичным по соотношению:

$$\ln N = 2,303 \log N \quad (7.23)$$

#### 7.4 Адиабатный процесс

Адиабатным называется процесс, в котором к газу не подводится и не отводится теплота и, следовательно, определяемый условием  $dq=0$ .  $p-v$  диаграмме процесс изображается кривой 1-2, которая круче изотермы, потому что  $k = \frac{c_p}{c_v} = c_v + \frac{R}{c_v} = 1 + \frac{R}{c_v} > 1$ . Уравнение кривой 1-2 называется адиабатой, рисунок 7.4.

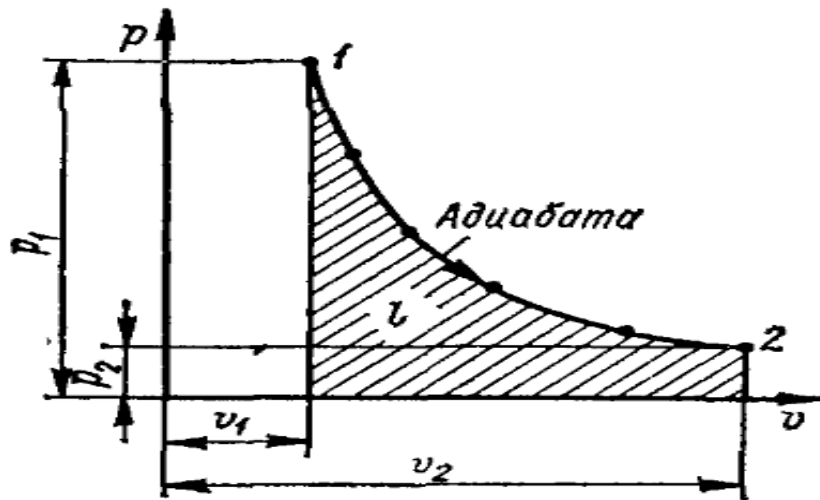


Рисунок 7.4 – Адиабатный процесс

Такой процесс может быть осуществлен в устройстве, окруженном идеально теплоизолирующей (адиабатной) оболочкой или при очень быстром протекании процесса, когда теплообмен между газом и стенками устройства не успевает произойти.

Для рассматриваемого здесь обратимого адиабатного процесса, протекающего без трения, уравнения 2 закона термодинамики имеет вид

$$dS = \frac{dq}{T} \quad (7.24)$$

Из чего следует, что такой процесс протекает при неизменной энтропии газа, т.е. при  $S=\text{const}$

Поэтому обратимый адиабатный процесс называют еще и изоэнтропным.

Уравнение адиабатного процесса имеет вид:

$$pv^k = \text{const} \quad (7.25)$$

где  $k = c_p/c_v$  – показатель адиабаты:

$k = 1,41$  – для 2-х атомных газов

$k = 1,33$  – для 3-х атомных газов

$k = 1,67$  – для одноатомных газов

Зависимость между начальными и конечными параметрами процесса имеет вид:

между  $p$  и  $v$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^k \quad (7.26)$$

между  $T$  и  $v$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \quad (7.27)$$

между  $p$  и  $T$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (7.28)$$

Работа 1г идеального газа определяется из уравнений:

$$l = \frac{1}{k-1} \times (p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (7.29)$$

$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[ \left( 1 - \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right] \quad (7.30)$$

$$l = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) \quad (7.31)$$

$$l = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[ \left( 1 - \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (7.32)$$

Если в процессе участвует  $M$  кг или  $V$  м<sup>3</sup> газа, то работу газа определяем по формуле:



$$L = \frac{1}{k-1} \times (p_1 V_1 - p_2 V_2) \quad (7.33)$$

$$L = \frac{p_1 V_1}{k-1} \left[ \left( 1 - \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \right] \quad (7.34)$$

$$L = \frac{M \times R}{k-1} (T_1 - T_2) \quad (7.35)$$

$$L = \frac{p_1 V_1}{k-1} \left[ \left( 1 - \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (7.36)$$

Уравнение первого закона для адиабатного процесса имеет вид:

$$du + dl = 0 \quad (7.37)$$

следовательно,

$$du = -dl$$

или

$$\Delta u = -l$$

т.е. изменение внутренней энергии газа и работа адиабатного процесса равны по величине и противоположны по знаку.

Изменение внутренней энергии идеального газа в адиабатном процессе может быть выражено уравнением:

$$\Delta u = c_{vm}(t_2 - t_1) \quad (7.38)$$