

## АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

В сосуд, содержащий 1,5 кг воды при 15°C, впускают 200 г водяного пара при 100°C. Какая общая температура установится после конденсации пара?

Алгоритм	Применение алгоритма		
1. Записать краткое условие задачи и выразить все величины в СИ.	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Дано:  <math>m_1 = 1,5 \text{ кг}</math>  <math>t_1 = 15^\circ \text{ C}</math>  <math>m_2 = 0,2 \text{ кг}</math>  <math>t_2 = 100^\circ \text{ C}</math> <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> <math>t = ?</math> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border-left: 1px solid black;"> Решение: </td> </tr> </table>	Дано: $m_1 = 1,5 \text{ кг}$ $t_1 = 15^\circ \text{ C}$ $m_2 = 0,2 \text{ кг}$ $t_2 = 100^\circ \text{ C}$ <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> $t = ?$	Решение:
Дано: $m_1 = 1,5 \text{ кг}$ $t_1 = 15^\circ \text{ C}$ $m_2 = 0,2 \text{ кг}$ $t_2 = 100^\circ \text{ C}$ <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> $t = ?$	Решение:		
2. Определить, какие вещества участвуют в теплообмене.	Вода, пар.		
3. Определить, какие тепловые процессы происходят с этими веществами, и написать формулы для этих тепловых процессов.	1. Вода нагревается от температуры $t_1$ до температуры $t$ : $Q_1 = cm_1(t - t_1)$ . 2. Пар конденсируется: $Q_2 = -rm_2$ . 3. Вода, полученная из пара, охлаждается от температуры $t_2$ до температуры $t$ : $Q_3 = cm_2(t - t_2)$ .		
4. Используя записанные формулы, составить уравнение теплового баланса, из которого выразить искомую величину и вычислить ее.	$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ или $cm_1(t - t_1) - rm_2 + cm_2(t - t_2) = 0$ $cm_1t - cm_1t_1 - rm_2 + cm_2t - cm_2t_2 = 0$ $t = \frac{cm_1t_1 + rm_2 + cm_2t_2}{c(m_1 + m_2)}$ $= \frac{4200 \cdot 1,5 \cdot 15 + 2,3 \cdot 10^6 \cdot 0,2 + 4200 \cdot 0,2 \cdot 100}{4200 \cdot (1,5 + 0,2)}$ $= 89^\circ \text{ C}$		

2) **Совершение работы.** В термодинамике различают работу, совершенную газом ( $A'$ ) и работу, совершенную над газом или работу внешних сил ( $A$ ), причем,  $A = -A'$ .

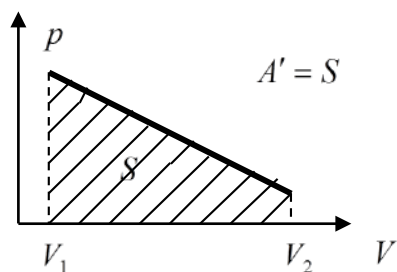
При изобарном процессе работу газа можно определить по формуле:  $A' = p\Delta V$  или, используя уравнение Менделеева – Клапейрона ( $pV = \nu \cdot RT$ ), по формуле:  $A' = \nu \cdot R\Delta T$ .

Если  $\Delta V > 0$  (газ расширяется), то  $A' > 0$ ,  $A < 0$ .

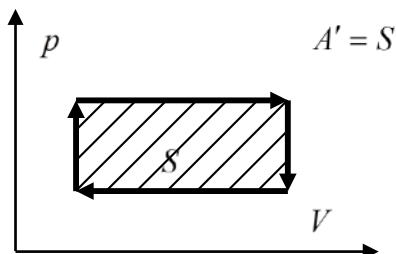
Если  $\Delta V < 0$  (газ сжимается), то  $A' < 0$ ,  $A > 0$ .

Если  $\Delta V = 0$  (изохорный процесс), то  $A' = A = 0$ .

Работу газа в любом процессе можно вычислить как площадь фигуры  $S$ , ограниченной графиком процесса, построенного в осях  $p, V$ , осью  $V$  и абсциссами, соответствующими объемам  $V_1$  и  $V_2$ .



Если с газом осуществляют круговой (циклический) процесс, то работа газа за весь цикл определяется как площадь фигуры, ограниченная графиками процессов данного цикла, построенных в осях  $p, V$ .



## ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

$$\Delta U = Q + A \text{ иначе } \Delta U = Q - A'$$

### ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ К ИЗОПРОЦЕССАМ

Процесс	$\Delta U$	$Q$	$A'$	Формула первого закона термодинамики
Изотермический $T = const$	$\Delta U = 0$ , т. к. $\Delta T = 0$	$Q \neq 0$	$A' \neq 0$	$0 = Q - A'$ или $Q = A'$
Изобарный $p = const$	$\Delta U \neq 0$	$Q \neq 0$	$A' \neq 0$	$\Delta U = Q - A'$
Изохорный $V = const$	$\Delta U \neq 0$	$Q \neq 0$	$A' = 0$ , т. к. $\Delta V = 0$	$\Delta U = Q$
Адиабатный процесс-это процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой. $Q = 0$	$\Delta U \neq 0$	$Q = 0$	$A' \neq 0$	$\Delta U = -A'$

**Тепловые двигатели** – устройства, преобразующие внутреннюю энергию в механическую.

**Принцип работы тепловых двигателей:**

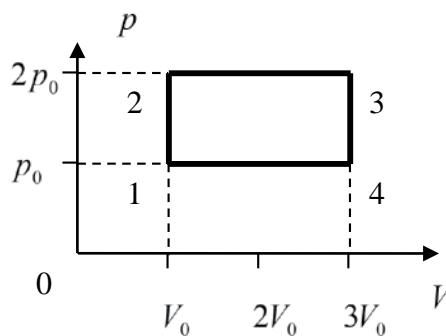
1. Нагреватель, имеющий температуру  $T_1$ , сообщает некоторое количество теплоты  $Q_1$  рабочему телу.
  2. Рабочее тело (газ) совершает работу  $A' = |Q_1| - |Q_2|$ .
  3. Рабочее тело отдает количество теплоты  $Q_2$  холодильнику, имеющему температуру  $T_2$ .
- Формулы для расчета КПД тепловых двигателей:

$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|}$$

$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  - КПД идеальной тепловой машины с идеальным газом в качестве рабочего тела.

### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НА РАСЧЕТ КПД ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ЗАДАННОМУ ЦИКЛУ.

Рассчитайте КПД тепловой машины, использующей в качестве рабочего тела одноатомный идеальный газ и работающей по изображенному на рисунке циклу.



Решение:

$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|}, \quad A' = S_{1234} = (2p_0 - p_0) \cdot (3V_0 - V_0) = 2p_0V_0$$

$Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$ , т. к. газ получает тепло от нагревателя на участках 12 и 23.

$Q_{12} = \Delta U$  (первый закон термодинамики для изохорного процесса)

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (2p_0 V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0.$$

$Q_{23} = \Delta U_{23} + A'_{23}$  (первый закон термодинамики для изобарного процесса)

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + S_{V_0, 2, 3, 3V_0} = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) + 2p_0 \cdot (3V_0 - V_0) = \frac{3}{2} (2p_0 \cdot 3V_0 - 2p_0 V_0) + 4p_0 V_0 = 10p_0 V_0$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} p_0 V_0 + 10p_0 V_0 = 11,5p_0 V_0$$

$$\eta = \frac{2p_0 V_0}{11,5p_0 V_0} = 0,17$$

Ответ:  $\eta = 0,17$ .