

Министерство образования и науки Республики Казахстан
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Д.СЕРИКБАЕВА

А.Т Жапарова

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Курс лекции для студентов специальности 050717 «Теплоэнергетика» для
дневной формы обучения

Усть-Каменогорск
2016

Второй закон термодинамики

Закон, позволяющий указать направление теплового потока и устанавливающий максимально возможный предел превращения теплоты в работу в тепловых машинах, представляет собой II закон термодинамики, имеющий общее значение для всех тепловых процессов.

Математически II закон термодинамики может быть выражен через:

$$dS \geq dQ/T$$

где dS – бесконечно малое приращение энтропии системы;

dQ – бесконечно малое количество тепла, полученного системой от источника тепла;

T – абсолютная температура источника тепла.

Знак неравенства соответствует необратимым процессам, а знак равенства обратимым процессам.

Отсюда, аналитическое выражение II закона термодинамики для бесконечно малого обратимого процесса имеет вид:

$$dQ = TdS$$

Основное уравнение для определения изменения энтропии в обратимом процессе:

$$dS = dq/T$$

или с учетом I закона термодинамики:

$$TdS = dU + pdV$$

Энтропия идеального газа. Основным уравнением для определения изменения энтропии в обратимом процессе является выражение:

$$dS = dq/T$$

В технической термодинамике приходится иметь дело только с изменением энтропии, поэтому отсчет значений энтропии можно вести от любого состояния. Для газов принято считать значение энтропии равно нулю при нормальных условиях.

При переменной теплоемкости, исходя из линейной зависимости ее от температуры:

$$s = a_v \ln T / 273 + R \ln (v / v_n) + b (T - 273)$$

$$s = a_p \ln T / 273 + R \ln (P / P_n) + b (T - 273)$$

$$s = a_v \ln (P / P_n) + a_p \ln (v / v_n) + b (T - 273)$$

При постоянной теплоемкости:

$$s = c_p \ln T / 273 + R \ln (P / P_n) \quad (88)$$

$$s = c_v \ln (P / P_n) + c_p \ln (v / v_n) \quad (89)$$

Изменение энтропии между двумя произвольными состояниями газа (1 и 2) определяют по следующим формулам.

При переменной теплоемкости (линейная зависимость ее от температуры):

$$s_2 - s_1 = a_v \ln (T_2 / T_1) + R \ln (v_2 / v_1) + b (T_2 - T_1) \quad (90)$$

$$s_2 - s_1 = a_p \ln (T_2 / T_1) + R \ln (P_2 / P_1) + b (T_2 - T_1) \quad (91)$$

$$s_2 - s_1 = a_v \ln (P_2 / P_1) + a_p \ln (v_2 / v_1) + b (T_2 - T_1) \quad (92)$$

При постоянной теплоемкости

$$s_2 - s_1 = c_v \ln (T_2 / T_1) + R \ln (v_2 / v_1) \quad (93)$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln (T_2 / T_1) + R \ln (P_2 / P_1) \quad (94)$$

$$s_2 - s_1 = c_v \ln (P_2 / P_1) + c_p \ln (v_2 / v_1) \quad (95)$$

Уравнение кривых различных термодинамических процессов в системе координат Ts имеют следующий вид при постоянной теплоемкости:

Уравнение изохоры

$$s_2 - s_1 = c_v \ln (T_2 / T_1)$$

Уравнение изобары

$$s_2 - s_1 = c_p \ln (T_2 / T_1)$$

Уравнение изотермы

$$T = \text{const}$$

При этом изменение энтропии в изотермическом процессе равно:

$$s_2 - s_1 = R \ln (v_2 / v_1) = R \ln (p_1 / p_2)$$

Уравнение адиабаты

$$s = \text{const}$$

Уравнение политропы

$$s_2 - s_1 = c \times \ln (T_2 / T_1)$$

где

$$c = c_v \times ((n - k) / (n - 1))$$

Ts диаграмма.

Ts – диаграмма довольно наглядно изображает процессы тепловых двигателей. На этой диаграмме по оси ординат откладывается абсолютная температура, а по оси абсцисс энтропия. Равновесное состояние в Ts – диаграмме изображается точкой с координатами, равными значениям температуры и энтропии вещества в данном состоянии.

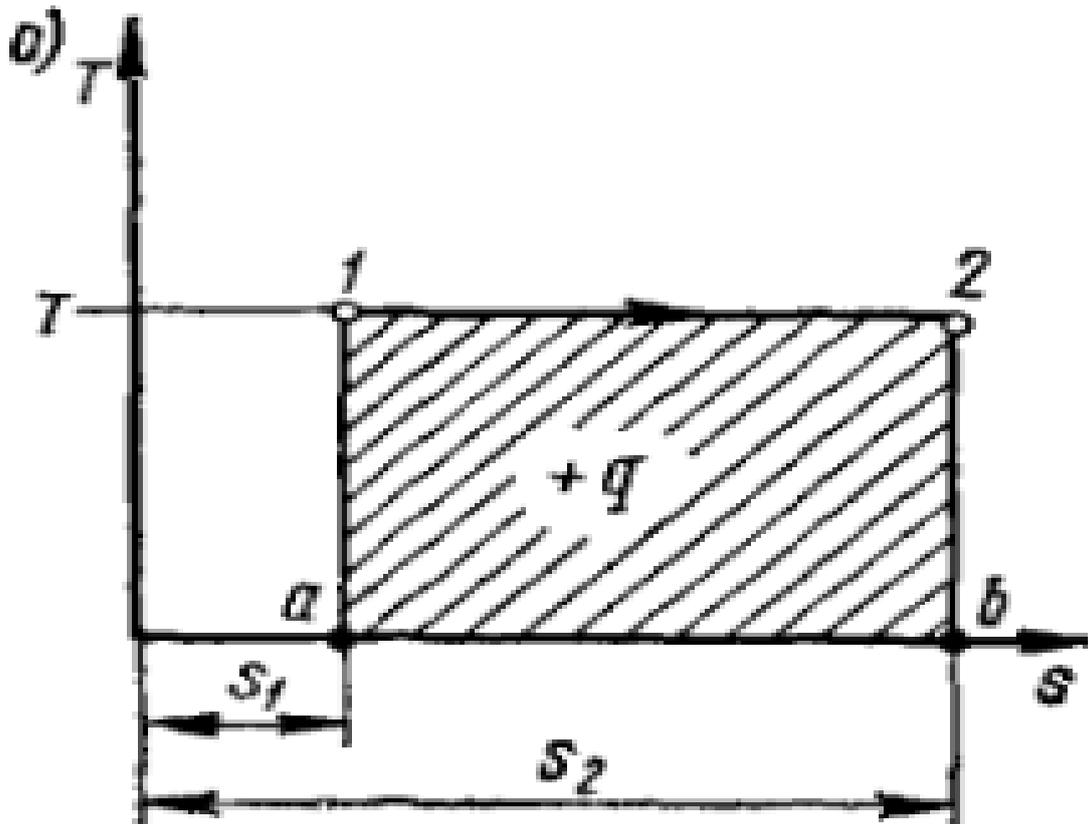


Рисунок 9 – Изображение участвующей в процессе на Ts – диаграмме
 На диаграмме 1-а равен T , а отрезок а-б разности энтропии $s_2 - s_1$. тогда произведение этих отрезков, равно площади прямоугольника 1-2-а-б, определяют теплоту процесса 1-2. Ts – диаграмму называют тепловой диаграммой.

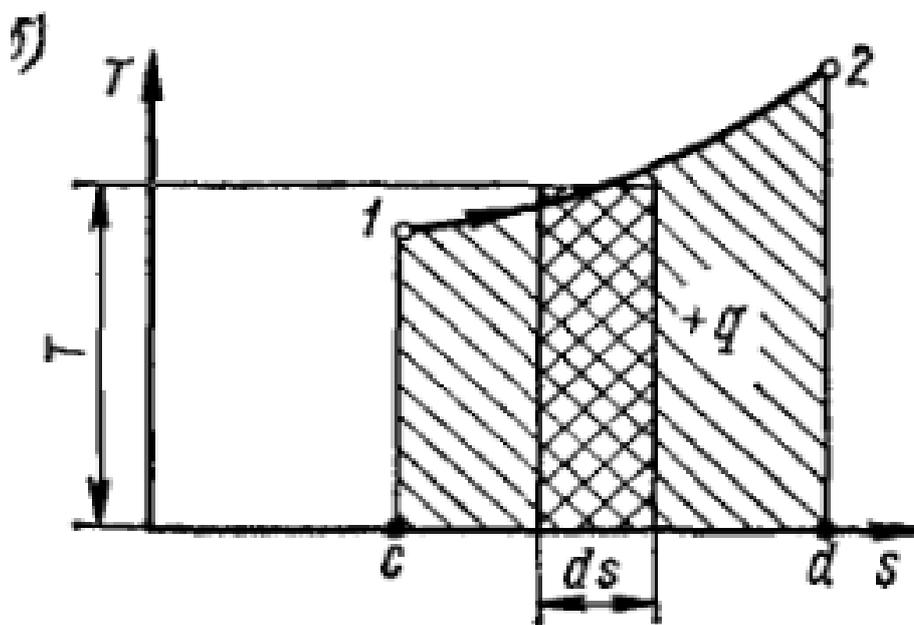


Рисунок 10 – Изображение процессов в Ts – диаграмме

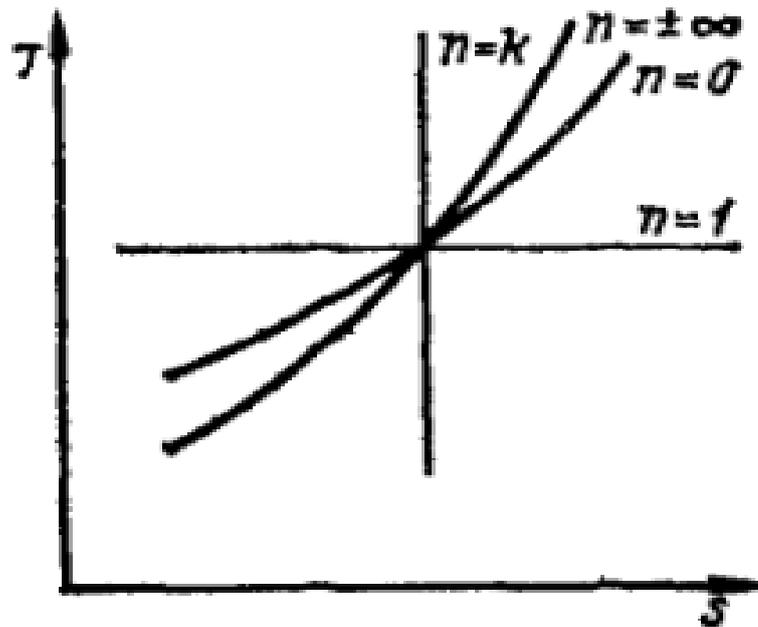


Рисунок 11 – Изображение термодинамических процессов в Ts – диаграмме

Максимальная работа. Если работа совершается с помощью газа, параметры которого отличаются от параметров окружающей среды, то *максимальная работа*, которую может произвести этот газ, достижима лишь при условии его перехода от начального состояния к состоянию среды обратимым путем. При этом *максимальная полезная работа* меньше максимальной работы на величину работы вытеснения воздуха окружающей среды.

Величина *максимальной полезной работы* определяется

$$I_{\text{max(полезн)}} = u_1 - u_2 - T_0(s_1 - s_2) - p_0(v_2 - v_1) \quad (96)$$

Параметры с индексом 1 и 2 относятся соответственно к начальному и конечному состоянию источника работы, а параметры с индексом 0 – к рабочей среде.

Так как выражение $(u_1 - u_2)$ и $T_0(s_1 - s_2)$ представляют собой соответственно абсолютную величину работы адиабатного и изотермического процесса, то формула можно представить в следующем виде:

$$I_{\text{max(полезн)}} = I_{\text{ад}} - I_{\text{из}} - p_0(v_2 - v_1)$$