

Основные термодинамические параметры состояния

Задача № 1.

Найти абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает $p_{ман} = 0,13$ МПа, а атмосферное давление по ртутному барометру составляет $B = 680$ мм.рт.ст (90660 Па) при $t = 25^{\circ}\text{C}$.

Решение: Показание барометра, полученное при температуре ртути $t = 25^{\circ}\text{C}$, необходимо привести к 0°C .

$$B_0 = B \cdot (1 - 0,000172 \cdot t) = 90600 \cdot 0,9957 = 90270 \text{ Па}$$

Тогда абсолютное давление пара в котле

$$p_{абс} = p_{ман} + B_0 = 0,13 + 0,09 = 0,22 \text{ МПа.}$$

Задача №2.

Ртутный вакуумметр, присоединенный к сосуду, показывает разрежение $p_{вак} = 420$ мм.рт.ст. (56 кПа) при температуре ртути в вакуумметре $t = 20^{\circ}\text{C}$. Давление атмосферы по ртутному барометру $B = 768$ мм.рт.ст. (102,4 кПа) при температуре ртути $t = 18^{\circ}\text{C}$. Определить абсолютное давление в сосуде.

Решение: Разрежение в сосуде, приведенное к $t = 0^{\circ}\text{C}$

$$p_0 = p_{вак} \cdot (1 - 0,000172 \cdot t) = 56 \cdot 0,99656 = 55,8 \text{ кПа.}$$

Барометрическое давление, приведенное к $t = 0^{\circ}\text{C}$

$$B_0 = B \cdot (1 - 0,000172 \cdot t) = 102,4 \cdot 0,9969 = 102,1 \text{ кПа.}$$

Абсолютное давление в сосуде

$$p_{абс} = B_0 - p_{вак} = 102,1 - 55,8 = 46,3 \text{ кПа.}$$

Задача № 3.

Давление в паровом котле $p_{ман} = 0,04$ МПа при барометрическом давлении $B_{01} = 96600$ Па. Чему будет равно избыточное давление в котле, если показание барометра повысится до $B_{02} = 104660$ Па, а состояние пара в котле останется прежним? Барометрическое давление приведено к $t = 0^{\circ}\text{C}$.

Задача № 4.

Температура пара, выходящего из пароподогревателя парового котла, равна 950°F . Перевести эту температуру в $^{\circ}\text{C}$.

Задача № 5.

Какая температура в градусах Фаренгейта соответствует абсолютному нулю?

Задача № 6

В сосуде объемом $0,9 \text{ м}^3$ находится $1,5 \text{ кг}$. окиси углерода. Определить удельный объем и плотность окиси углерода при указанных условиях.

Газовые смеси

Задача № 1.

Атмосферный воздух имеет следующий массовый состав: $m_{O_2} = 23,2\%$, $m_{N_2} = 76,8\%$. Определить объемный состав воздуха, его газовую постоянную, кажущуюся молекулярную массу и парциальное давление кислорода и азота, если давление воздуха по барометру $B = 101325$ Па.

Решение: Объемные доли

$$r_{O_2} = \frac{\frac{m_{O_2}}{M_{O_2}}}{\frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{M_{N_2}}} = \frac{\frac{23,2}{32}}{\frac{23,2}{32} + \frac{76,8}{28}} = 0,21$$
$$r_{N_2} = 1 - r_{O_2} = 0,79$$

Газовая постоянная воздуха

$$R_{см} = \sum_1^2 m_i \cdot R_i = m_{O_2} \cdot R_{O_2} + m_{N_2} \cdot R_{N_2} = 0,232 \cdot 260 + 0,768 \cdot 295 =$$
$$= 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

Кажущаяся молекулярная масса

$$m_{см} = \sum_1^2 r_i \cdot m_i = r_{O_2} \cdot m_{O_2} + r_{N_2} \cdot m_{N_2} = 0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28 = 28,9$$

Парциальное давление компонентов

$$p_{O_2} = r_{O_2} \cdot p = 0,21 \cdot 101325 = 21278 \text{ Па};$$

$$p_{N_2} = p - p_{O_2} = 101325 - 21278 = 80047 \text{ Па}.$$

Задача № 2.

Смесь газов состоит из водорода и окиси углерода. Массовая доля водорода $m_{H_2} = 6,7\%$. Найти газовую постоянную смеси и ее удельный объем при нормальных условиях ($p_n = 101325$ Па, $T_n = 273$ К).

Задача № 3.

В резервуаре емкостью 125 м^3 находится коксовый газ при давлении $p = 0,5$ МПа и температуре $t = 18^\circ\text{C}$. Объемный состав газа:

$r_{H_2} = 0,46$; $r_{CH_4} = 0,32$; $r_{CO} = 0,15$; $r_{N_2} = 0,07$. После израсходования некоторого количества газа давление его понизилось до $0,3$ МПа, а температура – до 12°C . Определить массу израсходованного коксового газа.

Задача № 4.

Смесь газа имеет следующий массовый состав: $\text{CO}_2 = 18\%$, $\text{O}_2 = 12\%$, $\text{N}_2 = 70\%$. До какого давления нужно сжать эту смесь, находящуюся при нормальных условиях, чтобы при $t = 180^\circ\text{C}$ 8 кг. ее занимали объем, равный 4м^3 .

Задача № 5.

Определить массовый состав газовой смеси, состоящей из углекислого газа и азота, если известно, что парциальное давление углекислого газа $p_{\text{CO}_2} = 120$ кПа, а давление смеси $p_{\text{см}} = 300$ кПа.

Теплоемкость газов.

Задача № 1.

Найти объемную теплоемкость кислорода при постоянном объеме и постоянном давлении, считая $C = \text{const}$.

Решение: Из таблиц для двухатомных газов $m \cdot C_J = 20,93 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot ^\circ\text{C})$; $m \cdot C_p = 29,31 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot ^\circ\text{C})$. Следовательно, для кислорода (и любого двухфазного газа)

$$C'_J = \frac{m \cdot C_J}{22,4} = \frac{20,93}{22,4} = 0,934 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$C'_p = \frac{m \cdot C_p}{22,4} = \frac{29,31}{22,4} = 1,308 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Задача № 2.

Воздух в количестве 6 м^3 при давлении $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 25^\circ\text{C}$ нагревается при постоянном давлении до $t_2 = 130^\circ\text{C}$. Определить количество подведенной к воздуху теплоты, считая $C = \text{const}$.

Решение: Для изобарного процесса

$$Q_p = M \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) = V_n \cdot C'_p \cdot (t_2 - t_1)$$

$$\text{Масса газа } M = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 6}{287 \cdot 298} = 21 \text{ кг.}$$

Объем газа при нормальных условиях

$$V_n = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_n}{p_n \cdot T_1} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 273}{0,1013 \cdot 10^6 \cdot 298} = 16,3 \text{ м}^3.$$

$$\text{Теплоемкости} \quad C_p = \frac{m \cdot C_p}{m} = \frac{29,31}{28,96} = 1,012 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C'_p = \frac{m \cdot C_p}{22,4} = \frac{29,31}{22,4} = 1,308 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Следовательно,

$$Q_p = M \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) = 21 \cdot 1,012 \cdot 105 = 2231 \text{ кДж,}$$

$$Q_p = V_n \cdot C'_p \cdot (t_2 - t_1) = 16,3 \cdot 1,308 \cdot 105 = 2239 \text{ кДж.}$$

Задача № 3.

В закрытом сосуде объемом $V = 300$ л находится воздух при давлении $p_1 = 0,8$ МПа и температуре $t_1 = 20$ °С. Какое количество теплоты необходимо подвести для того, чтобы температура воздуха поднялась до $t_2 = 120$ °С? Теплоемкость воздуха принять постоянной.

Задача № 4.

В сосуде объемом 200л находится кислород при давлении $p_1 = 0,2$ МПа и температуре $t_1 = 20$ °С. Какое количество теплоты необходимо подвести, чтобы температура кислорода повысилась до $t_2 = 300$ °С? Какое давление установится при этом в сосуде? Зависимость теплоемкости от температуры принять нелинейной.

Термодинамические процессы идеальных газов.

Задача № 1.

В закрытом сосуде емкостью $V = 0,6 \text{ м}^3$ содержится воздух при давлении $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ и температуре $t_1 = 20^\circ\text{С}$. В результате охлаждения сосуда воздух, содержащийся в нем, теряет 105 кДж теплоты. Принимая теплоемкость воздуха постоянной, определить какое давление и какая температура установятся после этого в сосуде.

Решение: Массу в сосуде найдем из уравнения состояния

$$M = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{287 \cdot 293} = 3,57 \text{ кг.}$$

Количество теплоты, отводимой от воздуха в процессе

$$Q = M \cdot C_{J_{\text{вм}}} \cdot (t_2 - t_1),$$

откуда
$$t_2 = \frac{Q}{M \cdot C_{J_m}} + t_1 = \frac{-105}{3,57 \cdot 0,723} + 20 = -20,7^\circ\text{С}.$$

Значение теплоемкости $C_{J_m} = 0,723$ получено из выражения

$$C_{J_m} = \frac{m \cdot C_{J_m}}{m} = \frac{20,93}{28,96} \text{ (для двухатомных газов).}$$

Из соотношения параметров в изохорном процессе имеем

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 0,5 \cdot \frac{273 - 20,7}{293} = 0,43 \text{ МПа.}$$

Задача № 2.

Сосуд емкостью 90 л. содержит воздух при давлении $0,8 \text{ МПа}$ и температуре 30°С . Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить воздуху, чтобы повысить давление при $J = \text{const}$ до $1,6 \text{ МПа}$.

Задача № 3.

Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 2 м^3 воздуха при постоянном избыточном давлении $p = 0,2 \text{ МПа}$ от $t_1 = 100^\circ\text{С}$ до $t_2 = 500^\circ\text{С}$? Какую работу совершит при этом воздух? Давление атмосферы принять равным 101325 Па .

Решение: На нагрев 1 кг. воздуха необходимо количество теплоты $q_p = C_{pm2} \cdot t_2 - C_{pm1} \cdot t_1$, где значения $C_{pm1} = 1,0061 \text{ кДж/ (кг} \cdot ^\circ\text{С)}$ и $C_{pm2} = 1,0387 \text{ кДж/ (кг} \cdot ^\circ\text{С)}$ выбираются из таблиц. Следовательно,

$q_p = 1,0387 \cdot 500 - 1,0061 \cdot 100 = 418,7$ кДж/кг. Массу воздуха определим из уравнения состояния

$$M = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{(0,2 + 0,1013) \cdot 10^6 \cdot 2}{287 \cdot 373} = 5,63 \text{ кг.}$$

Таким образом, $Q_p = M \cdot q_p = 5,63 \cdot 418,7 = 2357$ Дж.

Работа воздуха $L = MR(t_2 - t_1) = 15,63 \cdot 287 \cdot 400 = 646,3$ кДж.

Задача № 4.

В цилиндре находится воздух при давлении $p = 0,5$ МПа и температуре $t_1 = 400$ °С. От воздуха отнимается теплота при $p = \text{const}$ таким образом, что в конце процесса устанавливается температура $t_2 = 0$ °С. Объем цилиндра равен 400 л. Определить количество отнятой теплоты, конечный объем и совершенную работу сжатия.

Задача № 5.

1 кг. воздуха при температуре $t_1 = 30$ °С и начальном давлении $p_1 = 0,1$ МПа сжимается изотермически до конечного давления $p_2 = 1$ МПа. Определить конечный объем, затрачиваемую работу и количество теплоты, отводимой от газа.

Решение: Начальный объем воздуха найдем из уравнения состояния

$$V_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 303}{0,1 \cdot 10^6} = 0,87 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Так как в изотермическом процессе $p_1 V_1 = p_2 V_2$, то конечный объем

$$V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2} = 0,87 \cdot \frac{1}{10} = 0,087 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Работа, затрачиваемая на сжатие 1 кг. воздуха

$$l = RT \ln \frac{p_1}{p_2} = -200 \text{ кДж/кг.}$$

Количество теплоты, отводимой от газа, равно работе, затраченной на сжатие, т.е. $q = -200$ кДж/кг.

Задача № 6.

Воздух в количестве 0,5 кг. при $p_1 = 0,5$ МПа и $t_1 = 30$ °С расширяется изотермически до пятикратного объема. Определить работу, совершенную газом, конечное давление и количество теплоты, сообщаемой газу.

Задача № 7.

1 кг. воздуха при начальной температуре $t_1 = 30^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 0,1$ МПа сжимается адиабатно до конечного давления $p_2 = 1$ МПа. Определить конечный объем, конечную температуру и затрачиваемую работу.

Решение: Из соотношения параметров в адиабатном процессе имеем

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 303 \cdot 10^{1,4} = 585 \text{ К}$$

где $k = 1,4$ – показатель адиабаты воздуха.

$$\text{Затраченная работа } l = \frac{R}{k-1} \cdot (T_1 - T_2) = \frac{287}{0,4} \cdot (303 - 585) = -202 \text{ кДж/кг.}$$

$$\text{Конечный объем } V_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{287 \cdot 585}{1 \cdot 10^6} = 0,168 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Задача № 8.

Воздух при давлении $p_1 = 0,45$ МПа, расширяясь адиабатно до $p_2 = 0,12$ МПа, охлаждается до $t_2 = -45^\circ\text{C}$. Определить начальную температуру и работу, совершенную 1 кг. воздуха.

Задача № 9.

1,5 кг. воздуха сжимается политропно от $p_1 = 0,09$ МПа и $t_1 = 18^\circ\text{C}$ до $p_2 = 1$ МПа, а температура при этом повышается до $t_2 = 125^\circ\text{C}$. Определить показатель политропы, конечный объем, затраченную работу и количество отведенной теплоты.

Решение: Показатель политропы

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\lg \frac{T_2}{T_1}}{\lg \frac{p_2}{p_1}} = \frac{\lg \frac{398}{291}}{\lg \frac{100}{9}} = 0,13, \quad n = \frac{1}{1-0,13} = 1,149$$

$$\text{Конечный объем } V_2 = \frac{MRT_2}{p_2} = \frac{1,5 \cdot 287 \cdot 398}{1 \cdot 10^6} = 0,171 \text{ м}^3.$$

Затраченная работа

$$L = \frac{MR}{n-1} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{1,5 \cdot 287}{0,149} (18 - 125) = -309,2 \text{ кДж.}$$

Количество отведенной теплоты

$$Q = MC_v \frac{n-k}{n-1} (t_2 - t_1) = 1,5 \cdot \frac{20,93}{28,96} \cdot \frac{1,149 - 1,4}{1,149 - 1} (125 - 18) = -195,4 \text{ кДж.}$$

Задача № 10.

1 кг. воздуха при $p_1 = 0,5$ МПа и $t_1 = 111$ °С расширяется политропно до давления $p_2 = 0,1$ МПа. Определить конечное состояние воздуха, изменение внутренней энергии, количество подведенной теплоты и полученную работу, если показатель политропы $n = 1,2$.

Водяной пар.

Задача № 1.

Определить состояние водяного пара, если его давление $p = 0,5$ МПа, а температура $t = 172$ °С.

Решение: Из таблиц водяного пара давлению 0,5 МПа соответствует температура насыщенного пара $t_n = 151,8$ °С. Следовательно, пар перегретый и перегрев составляет $t - t_n = 172 - 151,8 = 20,2$ °С.

Задача № 2.

Определить состояние водяного пара, если его давление $p = 0,6$ МПа, а удельный объем $v = 0,3$ м³/кг.

Задача № 3.

Определить энтальпию и внутреннюю энергию влажного насыщенного пара при $p = 1,3$ МПа и степени сухости пара $x = 0,98$.

Решение: Энтальпия водяного пара $i_x = i' + r \cdot x$.

По таблицам водяного пара находим $i' = 814,5$ кДж/кг, $r = 1973$ кДж/кг, $J'' = 0,1512$ м³/кг. Следовательно,

$$i_x = 814,5 + 1973 \cdot 0,98 = 2748,5 \text{ кДж/кг.}$$

Удельный объем влажного пара

$$J_x = J'' \cdot x = 0,1512 \cdot 0,98 = 0,148 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Внутренняя энергия влажного насыщенного пара

$$U_x = i_x - p \cdot J_x = 2748,5 - \frac{1,3 \cdot 10^6 \cdot 0,148}{1000} = 2556,1 \text{ кДж/кг.}$$

Задача № 4.

Найти энтропию влажного насыщенного пара при $p = 2,4$ МПа и $x = 0,8$.

Решение: Из таблиц водяного пара при $p = 2,4$ МПа имеем $s' = 2,534$ кДж/кг, $s'' = 6,272$ кДж/кг. Следовательно, энтропия пара

$$S_x = s' + (s'' - s') \cdot x = 2,534 + (6,272 - 2,534) \cdot 0,8 = 5,524 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°С).}$$

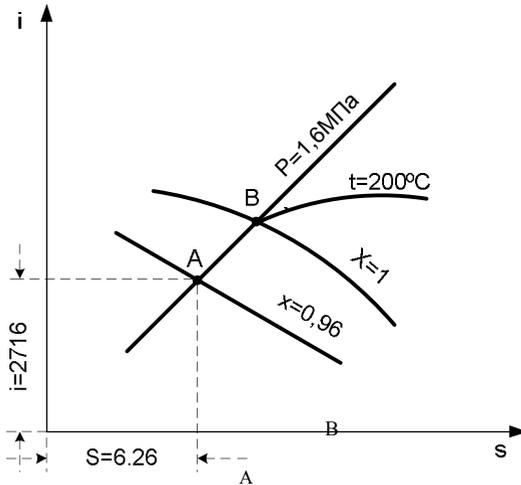
Задача № 5.

Водяной пар имеет параметры $p = 3$ МПа, $t = 400$ °С. Используя таблицы водяного пара, определить значения остальных параметров.

Задача № 6.

Задано состояние пара: $p = 1,6$ МПа, $x = 0,96$. Определить, пользуясь iS – диаграммой остальные параметры и сравнить их со значениями этих же параметров, вычисленных с помощью таблиц водяного пара и соответствующих формул.

Решение: На iS – диаграмме находим точку А, характеризующую данное состояние, на пересечении изобары $p_I = 1,6$ МПа и линии постоянной степени сухости $x = 0,96$. Проецируя ее соответственно на ось ординат и ось абсцисс, находим значение $i_x = 2716$ кДж/кг и $S_x = 6,26$ кДж/(кг·°С). Величина удельного объема пара определяется по значению изохоры, проходящей через точку А:



$J_x = 0,12 \text{ м}^3/\text{кг}$. Для определения температуры пара нужно от точки А подняться по изобаре $p = 1,6$ МПа до верхней пограничной кривой (точка В). Через эту точку проходит изотерма $t = 200$ °С; эта температура и является температурой насыщенного пара при давлении 1,6 МПа.

Сопоставим полученные значения со значениями этих же параметров, вычисленных при помощи таблиц водяного

пара и соответствующих формул. Из таблицы насыщенного водяного пара при давлении

$p = 1,6$ МПа находим $t_n = 201,36$ °С; $J'' = 0,1238 \text{ м}^3/\text{кг}$; $i' = 858,3$ кДж/кг; $r = 1935$ кДж/кг; $s' = 2,344$ кДж/(кг·°С); $s'' = 6,422$ кДж/(кг·°С).

Энтальпия пара $i_x = i' + r \cdot x = 858,3 + 0,96 \cdot 1935 = 2715,9$ кДж/кг;

энтропия пара $s_x = s' + (s'' - s') \cdot x = 2,344 + (6,422 - 2,344) \cdot 0,96 = 6,259$ кДж/кг;

удельный объем $J_x = J'' \cdot x = 0,1189 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Следовательно, совпадение значений параметров удовлетворительное.

Задача № 7.

Пользуясь диаграммой iS водяного пара, определить энтальпию пара:

- сухого насыщенного при давлении $p = 1$ МПа;
- влажного насыщенного при $p = 1$ МПа и $x = 0,95$;
- перегретого пара при $p = 1$ МПа $t = 300$ °С.

Задача № 8.

На диаграмме iS выбрать точку в области влажного насыщенного пара и определить параметры, характеризующие этой точкой: p, x, t, s, i .

Задача № 9.

1 кг. пара расширяется адиабатно от начальных параметров $p_1 = 3$ МПа и $t_1 = 300$ °С до $p_2 = 0,05$ МПа. Найти значения $i_1, i_2, U_1, U_2, J_1, J_2, x_2$ и работу расширения.

Решение: По диаграмме iS находим для начального состояния: $i_1 = 2988$ кДж/кг; $J_1 = 0,081$ м³/кг. Пользуясь зависимостью $i = U + p \cdot J$, получаем

$$U_1 = i_1 - p_1 \cdot J_1 = 2988 - \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 0,081}{1000} = 2744 \text{ кДж/кг.}$$

Проведя на iS диаграмме адиабату до пересечения с изобарой $p_2 = 0,05$ Мпа, находим $i_2 = 2269$ кДж/кг, $x_2 = 0,837$, $J_2 = x_2 \cdot J_2'' = 2,76$ м³/кг,

$$U_2 = i_2 - p_2 \cdot J_2 = 2269 - \frac{0,05 \cdot 10^6 \cdot 2,76}{1000} = 2131 \text{ кДж/кг.}$$

Работа пара в процессе адиабатного расширения

$$l = U_1 - U_2 = 2744 - 2131 = 613 \text{ кДж/кг.}$$

Задача № 10.

1 кг. пара расширяется адиабатно от начальных параметров $p_1 = 9$ МПа и $t_1 = 500$ °С до $p_2 = 0,004$ МПа. Найти значения i_1, i_2, J_1, J_2, x_2 и работу расширения.

Циклы паросиловых установок.

Задача № 1.

Паротурбинная установка работает по циклу Ренкина с перегретым паром при начальных параметрах $p_1 = 20$ бар, $t_1 = 400$ °С и конечным давлением $p_2 = 0,05$ бар. Определить термический к.п.д. цикла и удельный расход пара.

Решение: По iS – диаграмме находим энтальпии $i_1 = 3250$ кДж/кг, $i_2 = 2180$ кДж/кг, степень сухости пара $x_2 = 0,84$ и температура насыщения при конечном давлении $t_n = 33$ °С. Тогда энтальпия кипящей воды при t_n равна $i_2' = 4,19 \cdot 33 = 138$ кДж/кг.

Термический к.п.д. цикла Ренкина

$$h_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'} = \frac{3250 - 2180}{3250 - 138} = 0,344$$

Расход пара на 1 МДж

$$d = \frac{1000}{i_1 - i_2} = \frac{1000}{3250 - 2180} = 0,93 \text{ кг/МДж.}$$

Задача № 2.

Определить термически к.п.д. цикла Ренкина при начальном давлении пара $p_1 = 40$ бар и начальной температуре $t_1 = 500$ °С. Конечное принять равным $p_2 = 2$ бар; $p_2 = 1$ бар; $p_2 = 0,5$ бар.

Задача № 3.

Паровая турбина мощностью $N = 12$ МВт работает при начальных параметрах пара $p_1 = 8$ МПа, $t_1 = 450$ °С. Давление в конденсаторе $p_2 = 0,004$ МПа. В котельной установке, снабжающей турбину паром, сжигается уголь с теплотой сгорания $Q_{н}^p = 25120$ кДж/кг. К.п.д. котельной установки равен 0,8. Температура питательной воды $t_{н.в.} = 90$ °С. Определить производительность котельной установки и часовой расход топлива при полной нагрузке паровой турбины.

Задача № 4.

Показать сравнительным расчетом целесообразность применения пара высоких начальных параметров и низкого конечного давления на примере паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, определить располагаемое теплопадение, термический к.п.д. цикла и удельный расход пара для двух различных значений начальных и конечных параметров пара. Указать конечное значение сухости x_2 .

Решение: Для решения задачи используем iS – диаграмму водяного пара.

Вариант № 1. $p_1 = 2$ МПа, $t_1 = 350$ °С, $p_2 = 0,1$ МПа.

Теплосодержание пара, соответствующее начальному состоянию, найдем на пересечении изобары $p_1 = 2$ МПа и изотермы $t_1 = 350$ °С, т.е. $i_1 = 3150$ кДж/кг.

Теплосодержание пара, поступающего в конденсатор, найдем на пересечении изобары $p_2 = 0,1$ МПа и адиабаты $S = const$, проведенной из точки 1, т.е. $i_2 = 2530$ кДж/кг. Температура кипящей воды при $p_2 = 0,1$ МПа найдется на пересечении изобары p_2 с верхней пограничной кривой ($x = 1$), т.е. $t_2' = 100$ °С.

Принимая теплоемкость воды $C_в = 4,19$ кДж/(кг·°С), найдем энтальпию кипящей воды $i_2' = C_в \cdot t_2' = 419$ кДж/кг. Конечная степень сухости пара $x_2 = 0,92$.

Располагаемый теплоперепад $h_0 = i_1 - i_2 = 3150 - 2530 = 620$ кДж/кг.

Термический к.п.д. цикла Ренкина

$$h_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'} = \frac{620}{3150 - 419} = 0,23$$

Удельный расход пара

$$d = \frac{3600}{i_1 - i_2} = \frac{3600}{620} = 5,8 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Вариант № 2. $p_1 = 11$ МПа, $t_1 = 520$ °С, $p_2 = 0,004$ МПа.

Из iS – диаграммы $i_1 = 3460$ кДж/кг; $i_2 = 2000$ кДж/кг; $x_2 = 0,79$. Температура кипящей воды при $p_2 = 0,004$ МПа $t_2' = 30$ °С, поэтому энтальпия кипящей воды $i_2' = 30 \cdot 4,19 = 126$ кДж/кг. Следовательно,

$$h_0 = i_1 - i_2 = 3460 - 2000 = 1460 \text{ кДж/кг},$$

$$h_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'} = \frac{1460}{3460 - 126} = 0,44$$

$$d_0 = \frac{3460}{1460} = 2,46 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Вывод: Применение пара высоких начальных параметров и низкого конечного давления приводит к повышению термического к.п.д. цикла Ренкина и снижению удельного расхода пара на единицу работы.

Задача № 5.

Решить задачу № 4 при следующих исходных данных:

1 вариант $p_1 = 4,5$ МПа, $t_1 = 400$ °С, $p_2 = 0,1$ МПа;
2 вариант $p_1 = 15$ МПа, $t_1 = 600$ °С, $p_2 = 0,005$ МПа.