



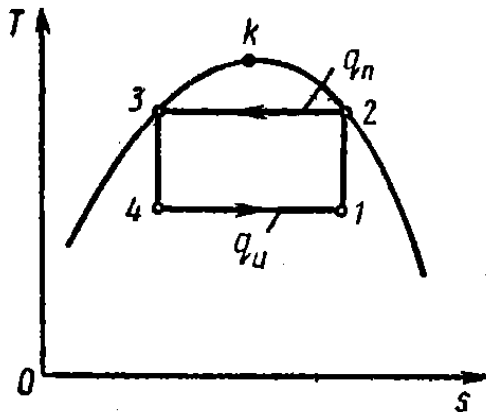
**Физико-технический  
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



## Практическое занятие № 10

12 июня 2017 г.



Тепловой насос работает по циклу, изображенному на рис. В качестве хладагента используется аммиак. Определить количество теплоты, которое может быть получено в течение часа в результате преобразования теплоты низкого

температурного потенциала ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) в теплоту более высокого температурного потенциала  $25^{\circ}\text{C}$ . Полученная теплота используется для отопления здания. Мощность, затрачиваемая на привод компрессора, 20 кВт.



Решение. Используя таблицы термодинамических свойств аммиака, получим: при  $t_1 = t_4 = -5^\circ\text{C}$   $s_1' = 4,1022$  кДж/(кг·К);  $s_1'' = 8,8756$  кДж/(кг·К),  $r = 1279,5$  кДж/кг, при  $t_2 = t_3 = t_H = 25^\circ\text{C}$   $s_2'' = 8,5093$  кДж/(кг·К).  $s_2' = 4,5954$  кДж/(кг·К).

Поскольку  $s_2'' = s_1' + (s_1'' - s_1')x_1$ , степень сухости пара в точке 1

$$x_1 = (s_2'' - s_1') / (s_1'' - s_1') = (8,5093 - 4,1022) / (8,8756 - 4,1022) = 0,9233.$$



## Степень сухости пара в точке 4

$$\begin{aligned}x_4 &= (s_4 - s_4') / (s_4'' - s_4') = (s_3' - s_1') / (s_1'' - s_1') \\ &= (4,5954 - 4,1022) / (8,8756 - 4,1022) = 0,1033.\end{aligned}$$

Количество теплоты, полученное для отопления здания при  $t_H = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$$q_H = i_2'' - i_3' = 1703,2 - 536,3 = 1166,9 \text{ кДж/кг.}$$

Количество теплоты, полученное хладагентом от окружающей среды при  $t_1 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$$q_H = r(x_1 - x_4) = 1279,5 (0,9233 - 0,1033) = 1049,2 \text{ кДж/кг.}$$



Работа, затраченная в цикле,

$$l = q_{\text{и}} - q_{\text{п}} = 1049,2 - 1166,9 = - 117,7 \text{ кДж/кг.}$$

Массовый расход аммиака

$$M = 3600 \cdot N / |l| = (20 \cdot 3600) / 117,7 = 611,7 \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, получаемое для отопления здания в течение часа,

$$Q_n = q_n M = 1166,9 \cdot 611,7 = 713,8 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч} = 713,8 \text{ МДж/ч.}$$



Определить термический к.п.д. паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина. Начальное давление пара  $p_1 = 3$  МПа; температура перегрева  $T_1 = 773$  К. Расчеты выполнить для трех конечных давлений;  $p_2 = 0,2$  МПа;  $p'_2 = 0,04$  МПа;  $p''_2 = 0,004$  МПа.

Решение. Термический к.п.д. цикла Ренкина определяется по формуле

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3}$$

где  $i_1, i_2, i_3$  – значения энтальпии пара на входе в турбину, на выходе из нее и воды конденсата при  $p_2$  соответственно.



Из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара находим (кДж/кг):  $i_{11} = 3456$ ;  $i_{21} = 2754$ ;  $i_{31} = 505$ ;  $i_{12} = 3456$ ;  $i_{22} = 2488$ ;  $i_{32} = 317,5$ ;  $i_{13} = 3456$ ;  $i_{23} = 2180$ ;  $i_{33} = 122$ .

К.П.Д. циклов

$$\eta_{t11} = \frac{i_{11} - i_{21}}{i_{11} - i_{31}} = \frac{3456 - 2754}{3456 - 505} = 0,237;$$

$$\eta_{t2} = \frac{i_{12} - i_{22}}{i_{12} - i_{32}} = \frac{3456 - 2488}{3456 - 317,5} = 0,308;$$

$$\eta_{t3} = \frac{i_{13} - i_{23}}{i_{13} - i_{33}} = \frac{3456 - 2180}{3456 - 122} = 0,382.$$

При уменьшении давления в конце расширения к.п.д. цикла Ренкина возрастает.



Сколько потребуется пара и какое количество теплоты при этом будет затрачено на единицу работы паросиловой установки, работающей на перегретом водяном паре по циклу Ренкина? Параметры цикла:  $T_{\text{пер}} = 773 \text{ К}$ ;  $p_1 = 5 \text{ МПа}$ ;  $p_2 = 0,005 \text{ МПа}$ ;  $x_2 = 0,822$ .

Решение. Энтальпия пара в конце расширения  $i_2 = i_2''x_2 + (1-x_2)i_3' = 2561 \cdot 0,822 + (1 - 0,822) \cdot 137 = 2130 \text{ кДж/кг}$ ,

где  $i_3' = c_{\text{к}}t_{\text{н}} = 4,1686 \cdot 32,88 = 137 \text{ кДж/кг}$  – энтальпия конденсата при температуре насыщения  $T_{\text{н}} = 32,88 + 273 = 305,88 \text{ К}$ .





Термический к.п.д. цикла

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} = \frac{3433 - 2130}{3433 - 137} = 0,395$$

Удельный расход пара на единицу работы

$$d = \frac{1000}{i_1 - i_2} = \frac{1000}{1303} = 0,762 \text{ кг/МДж.}$$

Удельный расход теплоты на единицу работы

$$q = \frac{1000}{\eta_t} = 2531 \text{ кДж/МДж.}$$