

В цикле ПТУ с промежуточным перегревом пара на вход паровой турбины поступает пар с параметрами $p_1 := 14 \text{ МПа}$ и $t_1 := 510 \text{ }^\circ\text{C}$. После расширения пара в части высокого давления турбины (ЧВД) до температуры 330°C пар направляется в промежуточный перегреватель, где его температура повышается до 490°C . Далее пар расширяется в части низкого давления турбины (ЧНД) до давления в конденсаторе $p_2 := 4,4 \text{ кПа}$. Определить: 1) термический КПД цикла с промперегревом, 2) насколько уменьшится влажность пара на выходе из турбины и насколько увеличится термический КПД цикла в результате введения промежуточного перегрева, 3) каковы средние интегральные температуры подвода теплоты в циклах с промежуточным перегревом и без него, 4) на сколько изменится удельная работа ПТУ при введении промперегрева.

Решение

Используем принципиальную схему ПТУ с промперегревом и цикл в T, s-диаграмме, приведенные соответственно на рис. 11.14 и рис. 11.16, а. Для нахождения свойств используем таблицы [3]:

т. 1: по $p_1 = 14 \text{ МПа}$ и $t_1 = 510 \text{ }^\circ\text{C}$ находим

$$h_1 := 3352,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$s_1 := 6,4292 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

т. а: параметры пара на выходе из ЧВД турбины определяем по $t_a := 330 \text{ }^\circ\text{C}$ и $s_a := s_1$:

$$p_a := 4,5019 \text{ МПа}$$

$$h_a := 3028,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

т. б: Параметры на входе в ЧНД турбины определяем по $p_b := p_a$ и $t_b := 490 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$s_b := 7,002 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$h_b := 3417,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

т. 2: по p_2 находим

$$s'_2 := 0,44527 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$s''_2 := 8,4393 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$h'_2 := 128,32 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$h''_2 := 2556,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$r := 2428,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Т.к. $(s'_2 < s_2) < s''_2$, то точка 2 находится в области влажного пара со степенью сухости

$$x_2 := \frac{s_b - s'_2}{s''_2 - s'_2} = 0,8202$$

Тогда

$$h_2 := h'_2 + x_2 \cdot r = 2120,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

т. 3: повышение давления воды в питательном насосе до давления $p_3 := p_1$ происходит в адиабатном процессе ($s_3 := s'_2$)

$$h_3 := 142,34 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Термический КПД цикла с промежуточным перегревом определяется по формуле (11.24):

$$\eta_t := \frac{(h_1 - h_a) + (h_b - h_2) - (h_3 - h'_2)}{(h_1 - h_3) + (h_b - h_a)} = 0,44644$$

В случае отсутствия промперегрева пара адиабатный процесс закончится в точке с (рис. 11.16, а). В этом случае

$$s_c := s_1$$

$$x_c := \frac{s_c - s'_2}{s''_2 - s'_2} = 0,74855$$

а

$$h_c := h'_2 + x_c \cdot r = 1946,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

В итоге в схеме без промперегрева

$$\eta_{\text{б/пп}} := \frac{(h_1 - h_c) - (h_3 - h'_2)}{(h_1 - h_3)} = 0,43367$$

В случае применения промперегрева степень сухости пара в конце процесса расширения в турбине по сравнению с циклом без промперегрева вырастет на:

$$x_2 - x_c = 0,071653 \frac{x_2 - x_c}{x_2} = 8,7361 \%$$

Термический КПД в результате введения промперегрева увеличится:

$$\eta_t - \eta_{\text{б/пп}} = 0,012773$$

$$\frac{\eta_t - \eta_{\text{б/пп}}}{\eta_t} = 2,861 \%$$

Среднеинтегральные температуры подвода теплоты в цикле с промперегревом

$$T_{1cp} := \frac{(h_1 - h_3) + (h_b - h_a)}{(s_1 - s_3) + (s_b - s_a)} = 548,77 \text{ К}$$

– без промперегрева

$$T_{\text{б/пп};1cp} := \frac{(h_1 - h_3)}{(s_1 - s_3)} = 536,4 \text{ К}$$

Изменение удельной работы ПТУ при введении промперегрева

$$l_u := 1606,55 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$l_{\text{б/пп}} := 1390,68 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$l_u - l_{\text{б/пп}} = 215,87 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\frac{l_u - l_{\text{б/пп}}}{l_u} = 13,437 \%$$

$$\text{Ответ: } \eta_t = 44,644 \% \quad x_2 - x_c = 0,071653 \quad \frac{\eta_t - \eta_{\text{б/пп}}}{\eta_t} = 0,02861 \quad T_{1cp} = 548,77 \text{ К} \quad T_{\text{б/пп};1cp} = 536,4 \text{ К} \quad \frac{l_u - l_{\text{б/пп}}}{l_u} = 13,$$