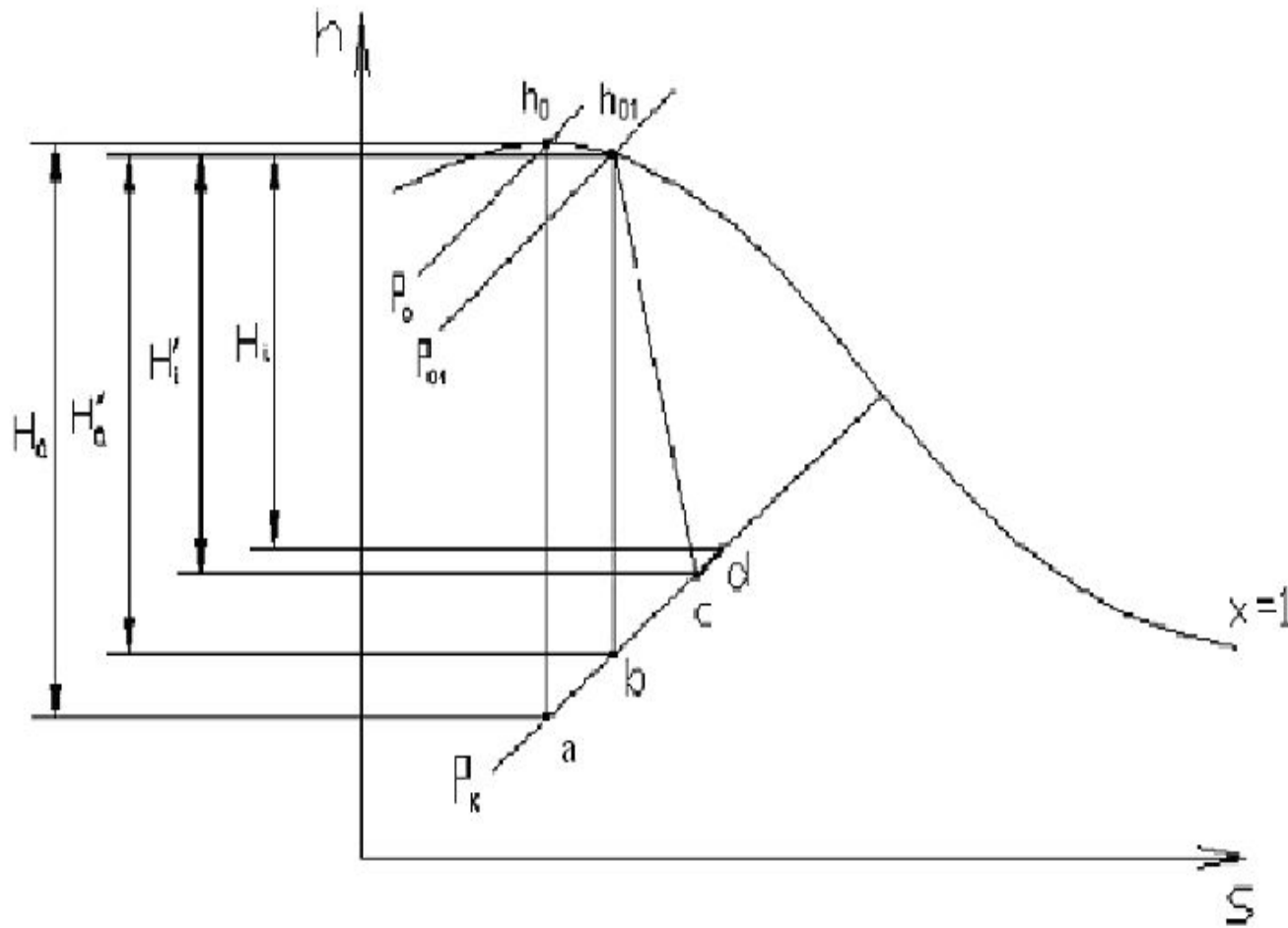


Показатели тепловой экономичности



Процесс расширения пара в турбине в $h-s$ диаграмме

Показатели тепловой экономичности (продолжение)

- Процесс перехода от P_0 к P_{01} связан с процессом дросселирования в блоке стопорно-регулирующий клапан турбины. Эти потери характеризуются величиной $h_0 - h_{01}$. Степень совершенства этого блока характеризуется следующим к.п.д.

$$\eta_d = \frac{H'_a}{H_a} = \frac{h_{01} - h_b}{h_0 - h_a}$$

- Количество теплоты, подводимое к турбоустановке одним килограммом пара, называется удельной располагаемой теплотой турбины $q_0 = h_0 - h_{n.в.}$
- $H_a = h_0 - h_a$ — удельный располагаемый теплоперепад (или адиабатный теплоперепад, или удельная располагаемая внутренняя работа турбины, ω_a).
- Количество теплоты, отводимое от одного килограмма рабочего тела в «холодном источнике», обозначим через q_1 .
- Термический к.п.д. цикла — это величина η_t

$$\eta_t = \frac{q_0 - q_1}{q_0} = \frac{H_a}{q_0} = \frac{\omega_a}{q_0}$$

Показатели тепловой экономичности (продолжение)

- Совершенство проточной части турбоустановки характеризуется

величиной η_T :

$$\eta_T = \frac{H_i'}{H_i'} = \frac{h_{01} - h_c}{h_{01} - h_b}$$

- Потери с выходной скоростью характеризуются своим к.п.д.

$$\eta_{\text{вых}} = \frac{H_i}{H_i'} = \frac{h_{01} - h_d}{h_{01} - h_c}$$

- Внутренний относительный к.п.д. турбины - это отношение действительного теплоперепада к располагаемому теплоперепаду:

$$\eta_{0i} = \frac{H_i}{H_i'} = \eta_{\partial} \cdot \eta_T \cdot \eta_{\text{вых}}$$

- Внутренний абсолютный к.п.д.^a турбины определяется следующим образом

$$\eta_i = \frac{H_i^*}{q_0}$$

- $H_i^* = H_i (1 - \psi_{\text{прот}})$ - теплоперепад в турбине с учетом протечек.

Показатели тепловой экономичности (продолжение)

- Внутренний абсолютный к.п.д. турбины можно переписать в следующем виде:

$$\eta_i = \eta_{0i} \cdot \eta_t \cdot (1 - \psi_{\text{прот}})$$

- Относительный эффективный к.п.д. турбины: $\eta_{0e} = \frac{\omega_e}{\omega_a}$
где ω_e - удельная эффективная работа на валу турбины, ω_a - удельная располагаемая внутренняя работа турбины,

- $\omega_e = \omega_i^* \cdot \eta_{\text{мех}}$, $\omega_i^* = H_i^*$, $\eta_{\text{мех}}$ - к.п.д. механических потерь.
- Абсолютный эффективный к.п.д. турбины

$$\eta_e = \frac{\omega_e}{q_0} = \eta_{0i} \cdot \eta_t \cdot (1 - \psi_{\text{прот}}) \cdot \eta_{\text{мех}}$$

- Относительный электрический к.п.д. ТУ $\eta_{0э} = \frac{\omega_э}{\omega_a}$
- $\omega_э = \omega_e \cdot \eta_{\Gamma}$ - удельная энергия, снимаемая с шин электрогенератора, а η_{Γ} - к.п.д., учитывающий потери в электрогенераторе.
- Абсолютный электрический к.п.д. турбоустановки

$$\eta_э = \frac{\omega_э}{q_0} = \eta_{0i} \cdot \eta_t \cdot (1 - \psi_{\text{прот}}) \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\Gamma}$$

Показатели тепловой экономичности (продолжение)

- Если же говорить о к.п.д. станции, то надо учесть также и потери в реакторе, ПГ, трубопроводах и т.д., то есть

$$\eta_{АЭС}^{бр} = \eta_{\vartheta} \cdot \eta_P \cdot \eta_{ПГ} \cdot \eta_{ТР}^I \cdot \eta_{ТР}^{II}$$

- Если учитывать расход электрической энергии на собственные нужды, то абсолютный электрический к.п.д. нетто турбоустановки запишется следующим образом:

$$\eta_{\vartheta}^{нетто} = \eta_{\vartheta} - \frac{\omega_{с.н.}}{q_0}$$

ω - удельный расход электроэнергии на собственные нужды.

- Для АЭС к.п.д. нетто записывается так:

$$\eta_{АЭС}^{нетто} = \eta_{\vartheta}^{нетто} \cdot \eta_P \cdot \eta_{ПГ} \cdot \eta_{ТР}^I \cdot \eta_{ТР}^{II}$$

- Удельный расход теплоты на турбоустановку q – это величина

- $$q = \frac{3600}{\eta_{\vartheta}} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

Показатели тепловой экономичности (продолжение)

- Удельный расход пара на турбоустановку d_0 – количество пара, которое надо подвести к турбине, чтобы выработать 1 *кВт·час* энергии. Определяется d_0 следующим образом:

-
- $$d_0 = \frac{q}{q_0} = \frac{3600}{\eta_{\varepsilon} \cdot q_0} \left[\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right]$$

К.п.д. турбоустановки АТЭЦ по выработке электроэнергии:

$$\eta_{\varepsilon}^{ту} = \frac{W_{\varepsilon}}{Q_0 - \frac{Q_{ТП}}{\eta_{ТП}}}$$

- Q_0 – тепловая мощность АТЭЦ, $Q_{ТП}$ – мощность теплового потребителя, $\eta_{ТП}$ – коэффициент, учитывающий потери при транспортировке тепла.

Регенеративный подогрев на АЭС

- Подогрев питательной воды за счет теплоты частично отработавшего в турбине пара называется регенеративным подогревом питательной воды.
- Технически такой процесс осуществляется следующим образом. В процессе расширения пара часть его отбирается из турбины и направляется в специальные теплообменные аппараты (регенеративные подогреватели) для нагрева конденсата (питательной воды).
- С термодинамической точки зрения выигрыш от регенеративного подогрева состоит в следующем.
- При чисто конденсационном цикле весь пар, подводимый к турбине, доходит до конденсатора, в котором происходит его полная конденсация, и теплота конденсации уносится в окружающую среду с охлаждающей водой.
- В цикле с регенерацией теплота отбираемого пара возвращается (регенерируется) обратно в цикл. Это позволяет заметно повысить тепловую экономичность цикла.

Реализация цикла с регенерацией

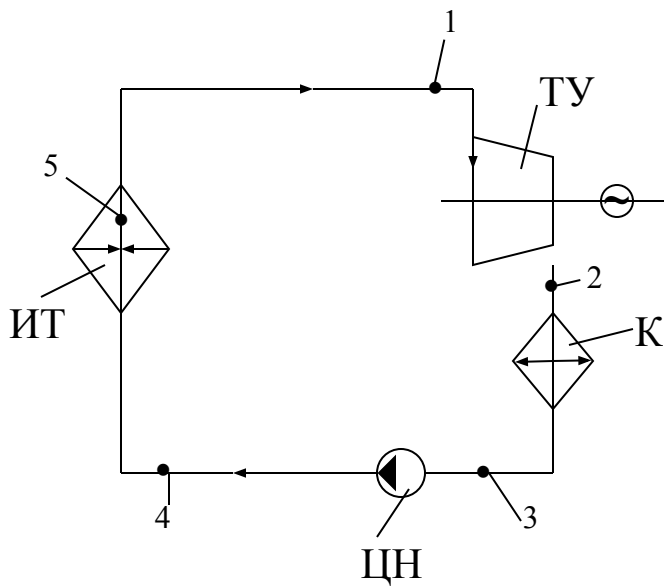


Схема без регенеративного подогрева

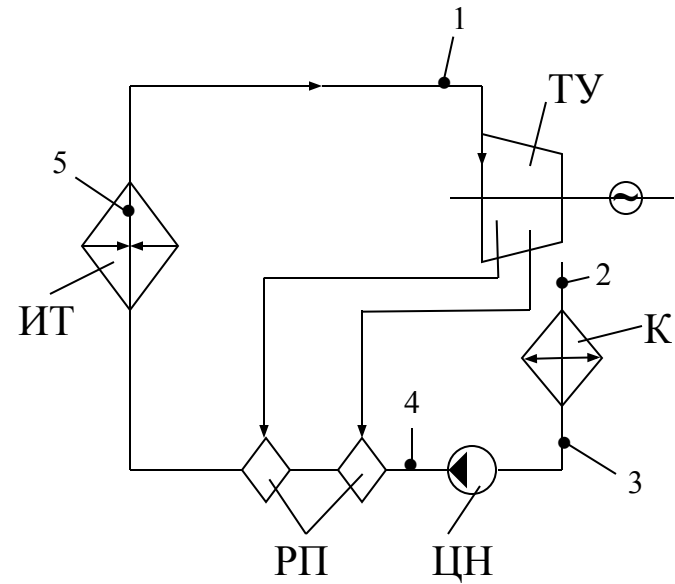
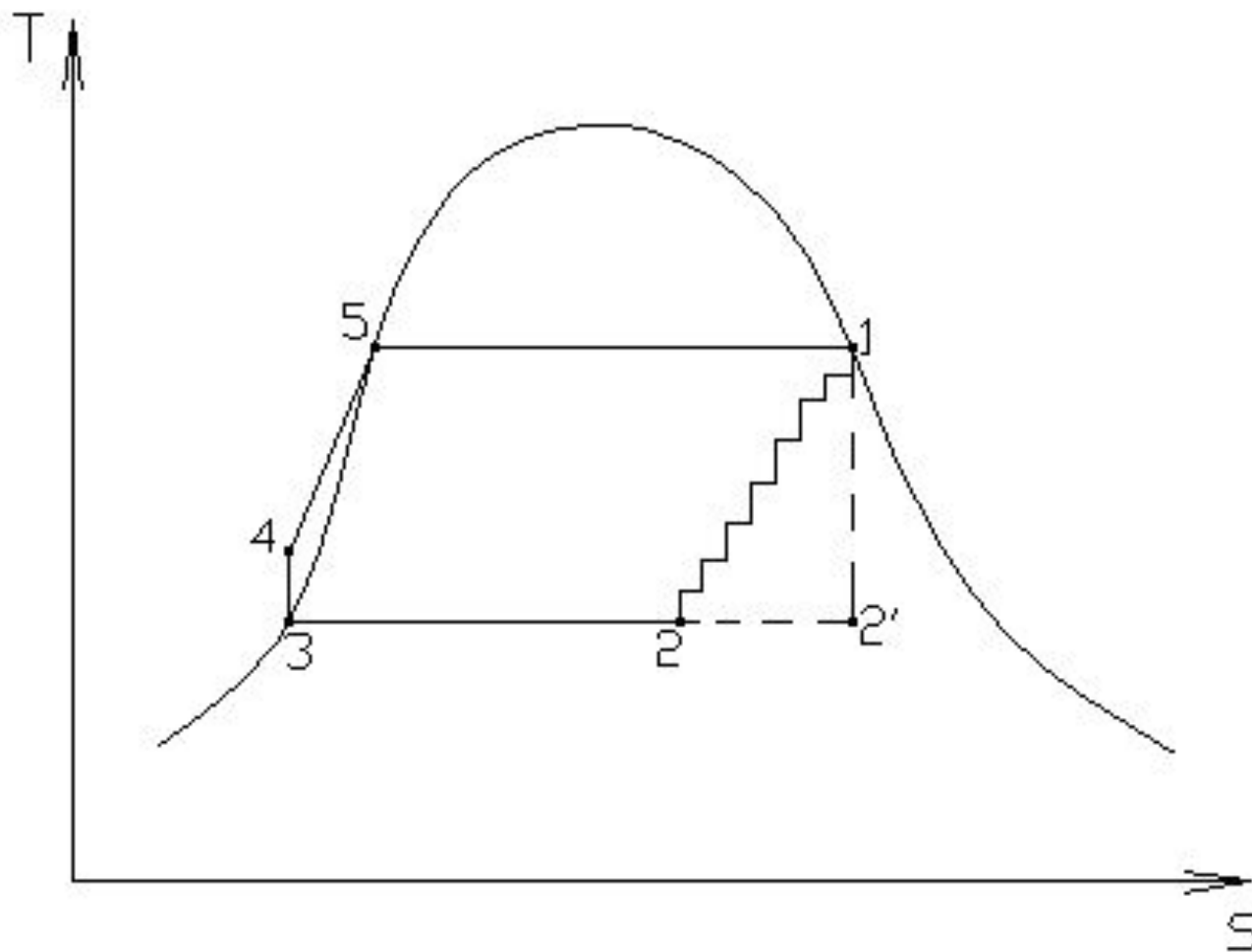


Схема с регенеративным подогревом

Условное изображение цикла с регенерацией в T-s диаграмме



Характеристики регенеративного подогрева

- Степень регенерации - это отношение фактического подогрева питательной воды к максимально возможному.

$$\sigma = \frac{h_{П.В.} - h_K}{h'_0 - h_K} \approx \frac{t_{П.В.} - t_K}{t_0 - t_K}$$

- $\alpha_K \cdot (h_0 - h_K) = \omega_K$ - работа, совершаемая в турбине долей пара, дошедшей до конденсатора.
- $\sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i) = \omega_P$ - работа, совершаемая в турбине долями пара, ушедшими в отборы на регенеративный подогрев.
- $\alpha_K \cdot (h_K - h'_K) = q_K$ - отвод тепла в конденсаторе.
- $\alpha_K \cdot (h_0 - h'_K) = q_0$ - тепло, подводимое в источнике для выработки доли пара α_K .
- $\sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i) = q_P = \omega_P$ - тепло, подводимое в источнике для получения долей пара α_i .

Регенеративный подогрев (продолжение)

Исходя из общего определения, запишем выражение для к.п.д. цикла:

$$\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \quad .$$

Подставив выражения для q_1 и q_2 , получим в общем виде выражение для к.п.д. цикла с регенерацией:

$$\eta_P = \frac{\alpha_K \cdot (h_0 - h_K) + \sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i)}{\alpha_K \cdot (h_0 - h'_K) + \sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i)} = \frac{\omega_K + \omega_P}{q_0 + q_P} = \frac{\omega_K}{q_0} \cdot \frac{1 + \frac{\omega_P}{\omega_K}}{1 + \frac{q_P}{q_0}} = \eta_t \cdot \frac{1 + A_P}{1 + A_P \cdot \eta_t}$$

$$\eta_t = \frac{(h_0 - h_K)}{(h_0 - h'_K)} \quad \text{- термический к.п.д. цикла без регенерации}$$

$$A_P = \frac{\omega_P}{\omega_K} \quad \text{- энергетический коэффициент цикла, то есть отношение работы, совершаемой паром отборов, к работе конденсационного потока пара.}$$

Регенеративный подогрев (продолжение)

- Сравним к.п.д. цикла с регенерацией и к.п.д. цикла без регенерации

$$\Delta\eta = \frac{\eta_P - \eta_t}{\eta_t} = \frac{1 - \eta_t}{\frac{1}{A_P} + \eta_t}$$

Для цикла с регенерацией энергетический коэффициент $A_P > 0$, поэтому $\Delta\eta > 0$, причем чем выше A_P , тем больше $\Delta\eta$.

В свою очередь, энергетический коэффициент A_P зависит от ряда факторов: количества подогревателей, теплопередач Δh_i , температуры питательной воды и их соотношений. Поэтому надо искать оптимум величины A_P в зависимости от всех этих параметров. Это одна из задач расчета схемы регенеративного подогрева.