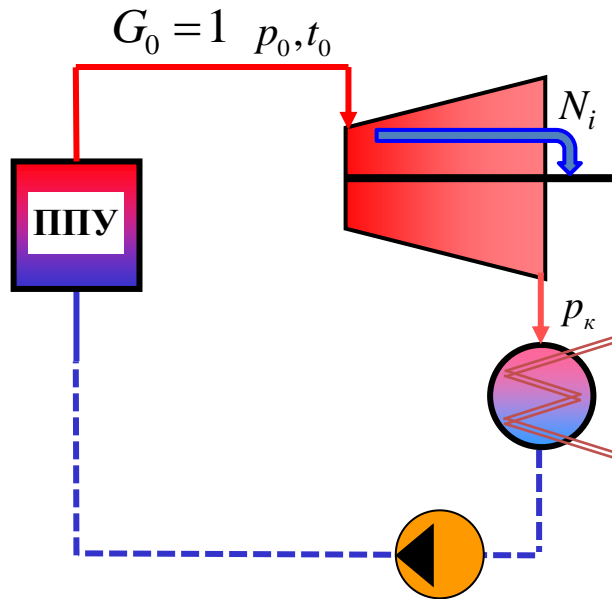


Б. Влияние РППВ на экономичность ПТУ

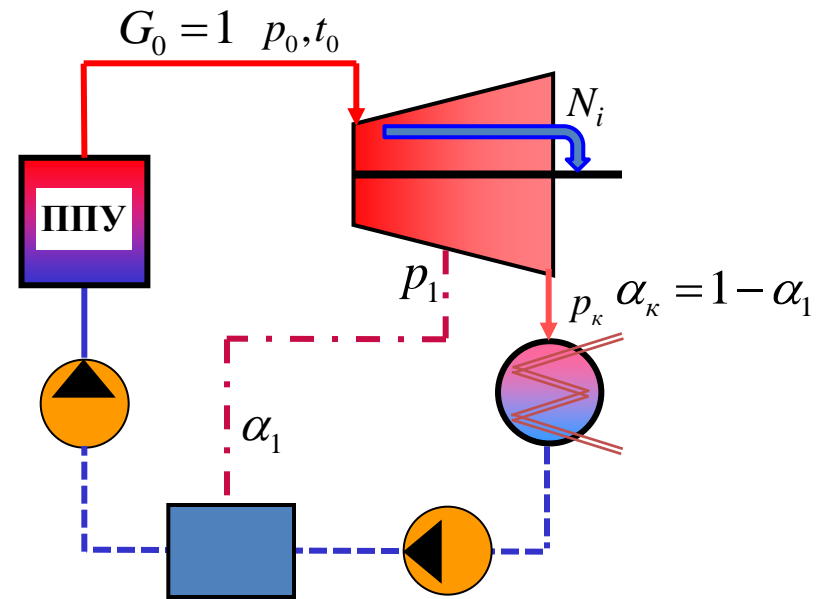


$$\eta = 1 - \frac{q_K}{q_{TE}} \quad *$$

$$q_{TE} = h_0 - h'_k$$

$$q_K = h_k - h'_k$$

Показателем экономичности рассматривается **абсолютный внутренний КПД**



$$\eta^R = 1 - \frac{\alpha_k q_K}{q_{TE}^R} \quad **$$

$$q_{TE}^R = h_0 - h_{nv}$$

$$q_K = h_k - h'_k$$

Из сравнения формул * и ** невозможно однозначно определить, как влияет РППВ на экономичность ПТУ (т.к. и числитель, и знаменатель в формуле ** меньше, чем в формуле *).

Но: если РППВ увеличивает экономичность ПТУ, то это происходит из-за снижения потери теплоты в конденсаторе, вызванное сокращением расхода пара в конденсатор.

По определению абсолютный внутренний КПД: $\eta = \frac{l_i}{q_{TE}}$

l_i — внутренняя работа.

Для турбинной установки с РППВ:

КПД: $\eta_i^R = \frac{l_i^R}{q_{TE}^R}$

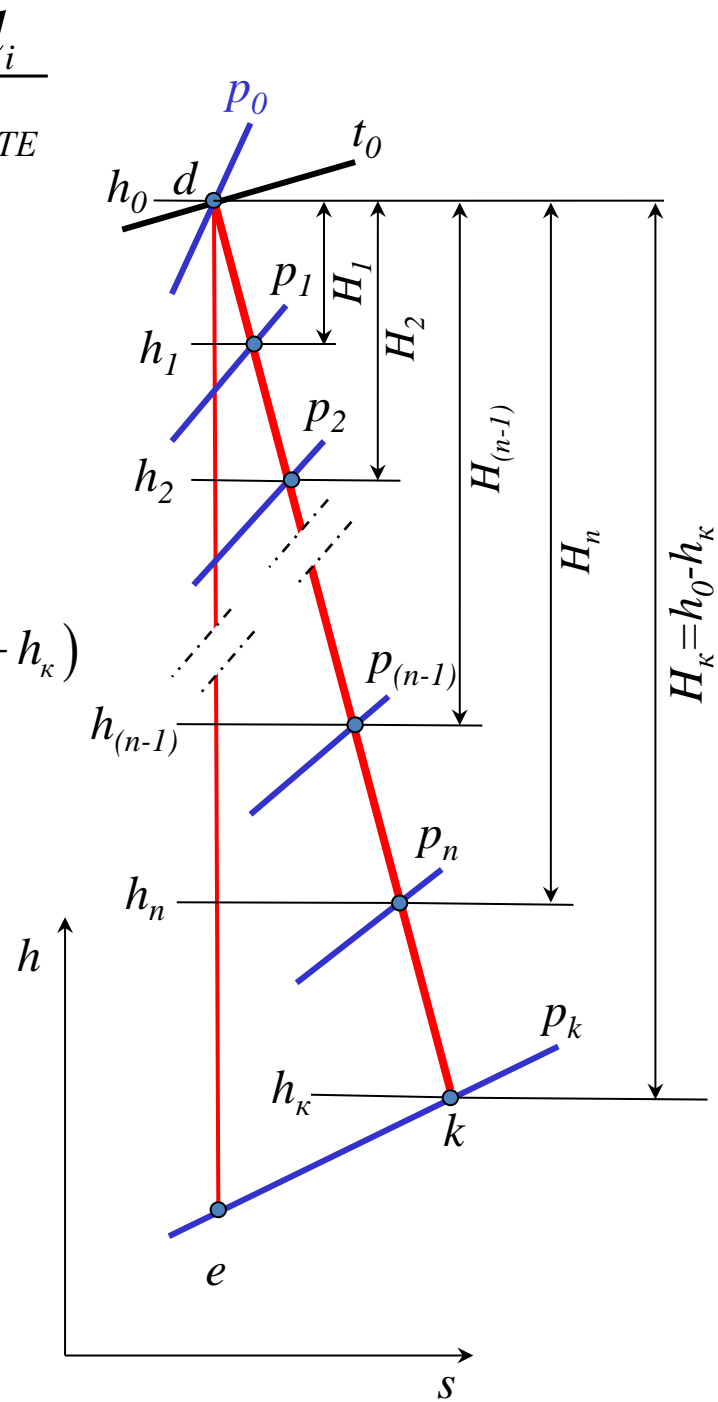
Внутренняя работа:

$$l_i^R = \alpha_1(h_0 - h_1) + \alpha_2(h_0 - h_2) + \dots + \alpha_n(h_0 - h_n) + \alpha_\kappa(h_0 - h_\kappa)$$

$(h_0 - h_j) = H_j$ - теплоперепад, срабатываемый паром идущим в j -ый отбор.

$(h_0 - h_\kappa) = H_\kappa$ - теплоперепад, срабатываемый паром идущим в конденсатор.

$$l_i^R = \alpha_\kappa H_\kappa + \sum_{j=1}^n \alpha_j H_j$$

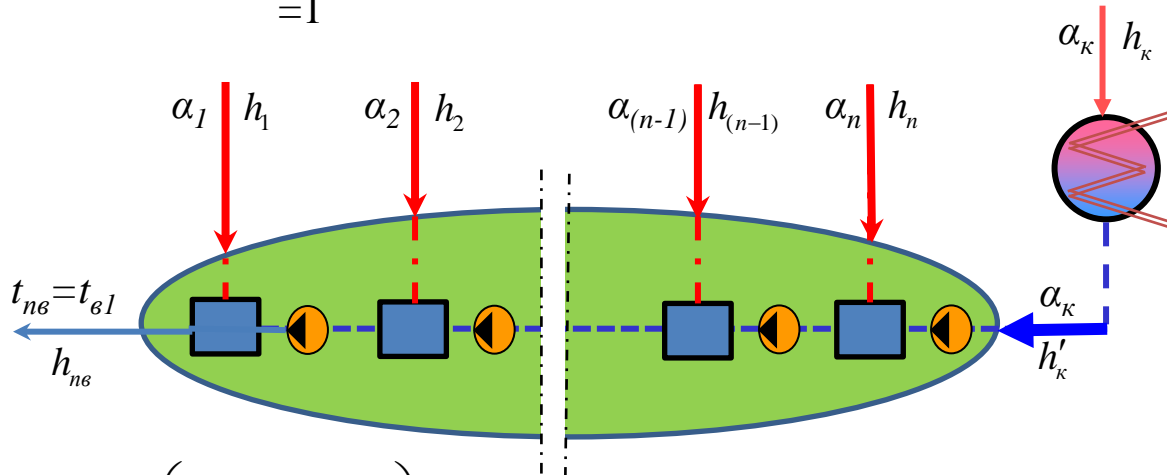


Подведенная теплота:

$$q_{TE}^R = h_0 - h_{n6}$$

$$h_0 = 1 \cdot h_0 = \underbrace{\left(\alpha_\kappa + \sum_{j=1}^n \alpha_j \right)}_{=1} h_0;$$

$$h_{n6} = \alpha_\kappa h'_\kappa + \sum_{j=1}^n \alpha_j h_j$$



$$q_{TE}^R = \left(\alpha_\kappa + \sum_{j=1}^n \alpha_j \right) h_0 - \alpha_\kappa h'_\kappa - \sum_{j=1}^n \alpha_j h_j$$

$$q_{TE}^R = \alpha_\kappa q_{TE} + \sum_{j=1}^n \alpha_j H_j$$

КПД:

$$\eta^R = \frac{l^R}{q_{TY}^R} = \frac{\alpha_\kappa H_\kappa + \sum \alpha_j H_j}{\alpha_\kappa q_{TY} + \sum \alpha_j H_j} = \frac{\alpha_\kappa H_\kappa}{\alpha_\kappa q_{TY}} \frac{1 + \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_\kappa H_\kappa}}{1 + \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_\kappa q_{TY}}}$$

$$\eta^R = \frac{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}}{\alpha_{\kappa} q_{TY}} \frac{1 + \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}}}{1 + \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_{\kappa} q_{TY}}} = \eta \frac{1 + A_{\mathcal{ER}}}{1 + \eta \cdot A_{\mathcal{ER}}}$$

$A_{\mathcal{ER}}$ - энергетический коэффициент регенерации

$$\frac{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}}{\alpha_{\kappa} q_{TY}} = \eta; \quad \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}} = A_{\mathcal{ER}}; \quad \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_{\kappa} q_{TY}} \frac{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}}{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}} = \frac{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}}{\alpha_{\kappa} q_{TY}} \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_{\kappa} H_{\kappa}} = \eta \cdot A_{\mathcal{ER}};$$

$$\eta^R = \eta \frac{1 + A_{\mathcal{ER}}}{1 + \eta \cdot A_{\mathcal{ER}}}$$

Числитель больше знаменателя, т.к. $\eta < 1$.

Следовательно, дробь > 1 .

Тогда $\eta^R > \eta$, если $A_{\mathcal{ER}} > 0$.

Относительное изменение КПД:

$$\delta \eta^R = \frac{\eta^R - \eta}{\eta} = \frac{\eta^R}{\eta} - 1 = \frac{1 + A_{\mathcal{ER}}}{1 + \eta \cdot A_{\mathcal{ER}}} - 1 = \frac{1 + A_{\mathcal{ER}} - 1 - \eta \cdot A_{\mathcal{ER}}}{1 + \eta \cdot A_{\mathcal{ER}}} = \frac{A_{\mathcal{ER}} - \eta \cdot A_{\mathcal{ER}}}{1 + \eta \cdot A_{\mathcal{ER}}}$$

$$\delta \eta^R = \frac{1 - \eta}{\frac{1}{A_{\mathcal{ER}}} + \eta}$$

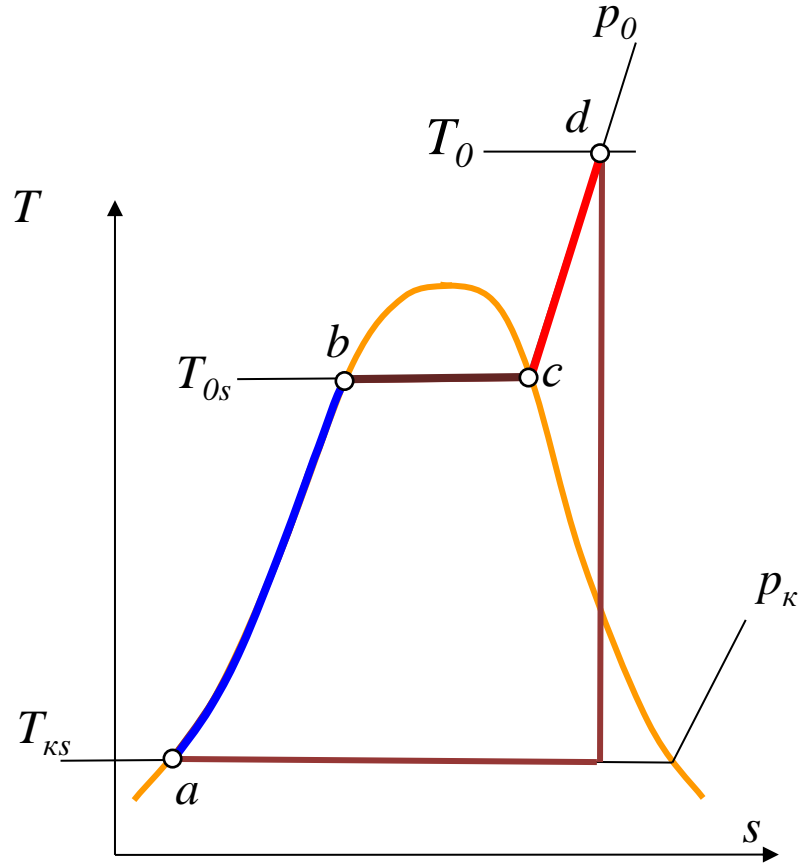
$\delta \eta^R > 0$, т.к. $\eta < 1$, если $A_{\mathcal{ER}} > 0$.

В противном случае (если $A_{\mathcal{ER}} = 0$) $\delta \eta^R = 0$.

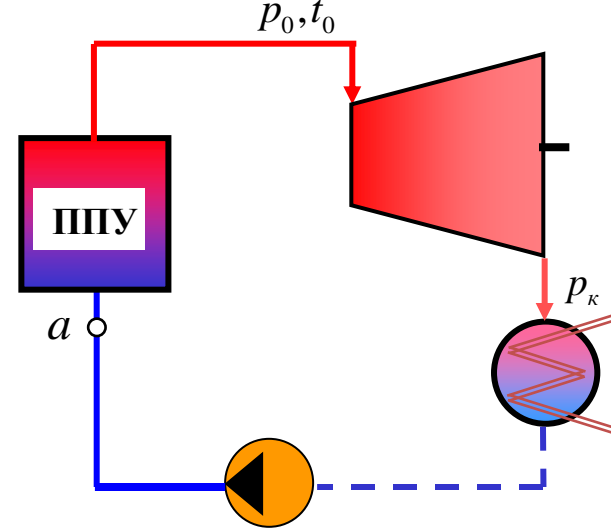
2.5.2. Влияние температуры питательной воды и числа ступеней на эффективность РППВ

Отступление:

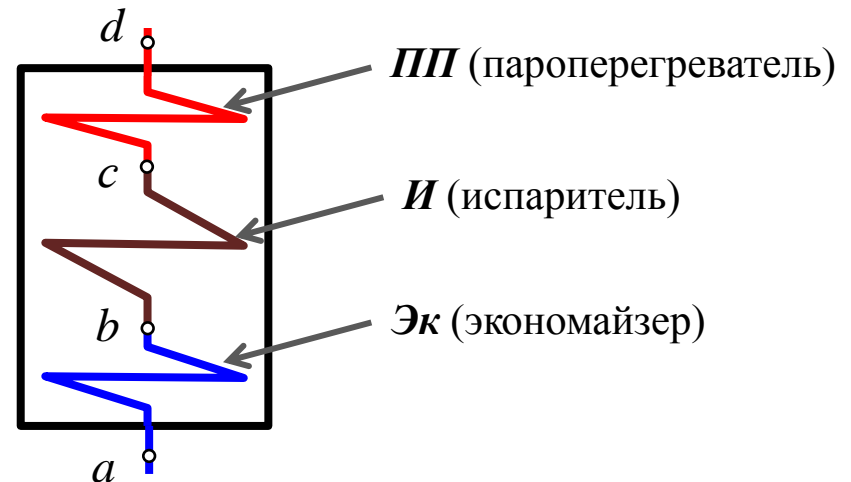
Каков возможный диапазон изменения температуры **ВОДЫ** в цикле паротурбинной установки?



Температура воды в цикле ПТУ изменяется **от** температуры насыщения на выходе из конденсатора $t_{кс} = f(p_{к})$, **до** температуры насыщения на выходе их экономайзера $t_{ос} = f(p_0)$.



Паро-производящая установка (ППУ)



Влияние температуры питательной воды и числа ступеней на **эффективность** РППВ

Для анализа будем использовать следующие выражения:

Относительное изменение КПД:
$$\delta\eta^R = \frac{1-\eta}{\frac{1}{A_{\text{ЭР}}} + \eta};$$

Энергетический коэффициент регенерации:
$$A_{\text{ЭР}} = \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_\kappa H_\kappa};$$

Срабатываемый теплоперепад паром, идущим в j -ый отбор:
$$H_j = (h_0 - h_j);$$

Срабатываемый теплоперепад паром, идущим в конденсатор:
$$H_\kappa = (h_0 - h_\kappa);$$

Расход пара в j -ый подогреватель: α_j - определяется характеристикой j -ого подогревателя;

Расход пара в конденсатор:
$$\alpha_\kappa = 1 - \sum \alpha_j$$

Нагреть воду до заданной температуры можно любым числом подогревателей. Для этого необходимо иметь давление в первом подогревателе соответствующее этой температуре:

- задана температура воды на выходе из подогревателя - $t_{\text{в}j}$.
- температура насыщения греющего пара должна быть - $t_{\text{ж}j} = t_{\text{в}j} + \mathcal{G}_{nj}$.
- этой температуре должно соответствовать давление отбора - $p_j = f(t_{\text{ж}j})$.

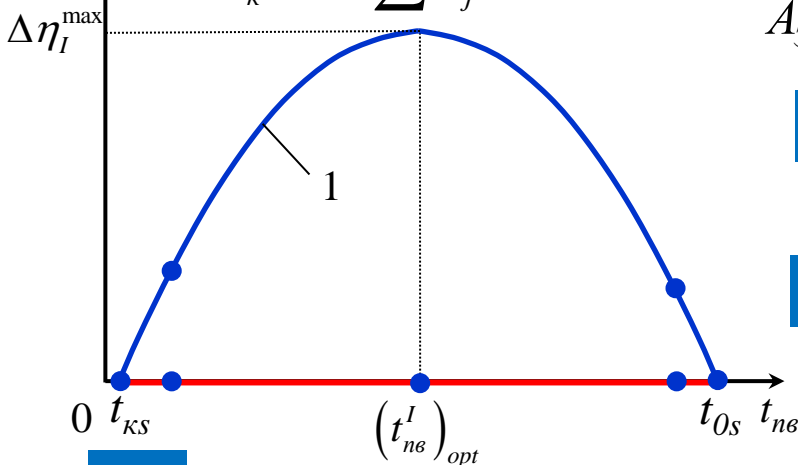
Одноступенчатый подогрев:

$$\delta\eta^R = \frac{1-\eta}{\frac{1}{A_{\text{ЭР}}} + \eta}$$

$$A_{\text{ЭР}} = \frac{\sum \alpha_j H_j}{\alpha_\kappa H_\kappa}$$

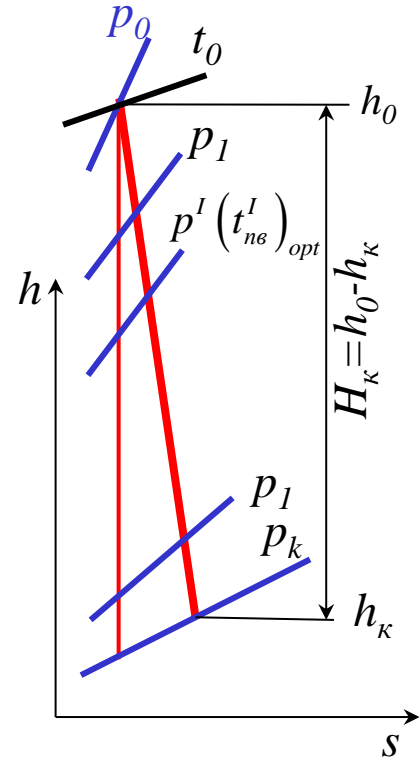
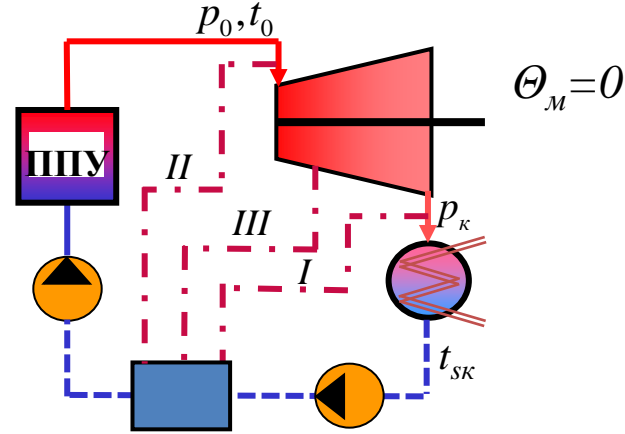
$H_j = (h_0 - h_j)$; $H_\kappa = (h_0 - h_\kappa)$;
 α_j - определяется характеристикой j -ого подогревателя;

$$\alpha_\kappa = 1 - \sum \alpha_j$$



III.

$$t_{ks} < t_{n8} < t_{0s} \rightarrow t_{ks} < t_{1s} < t_{0s} \rightarrow p_\kappa < p_1 < p_0$$



$$A_{\text{ЭР}}^I = \frac{\alpha_1^I H_1}{\alpha_\kappa H_\kappa}$$

$$\alpha_\kappa = 1 - \alpha_1^I$$

I. $t_{n8} = t_{ks}$

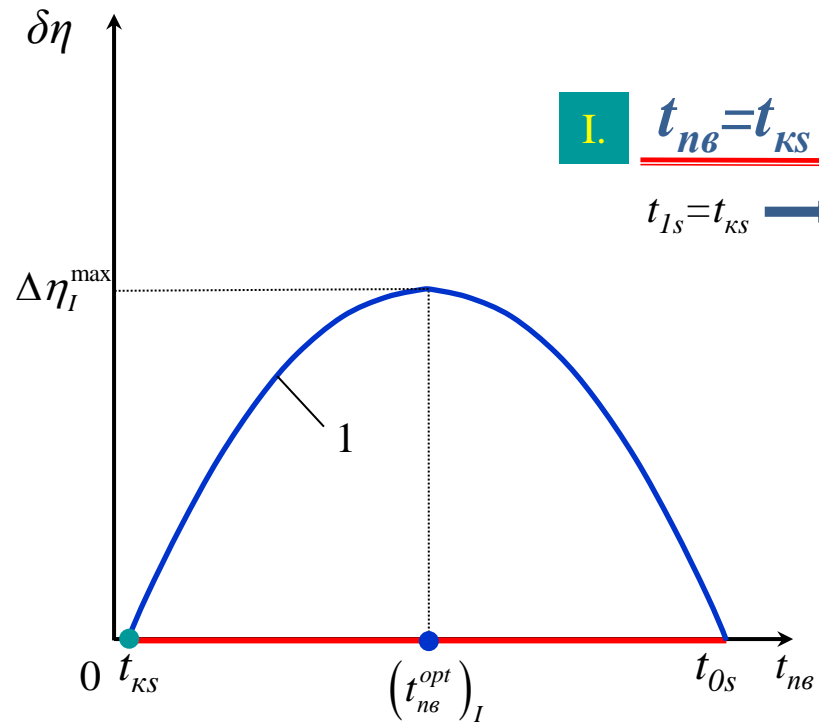
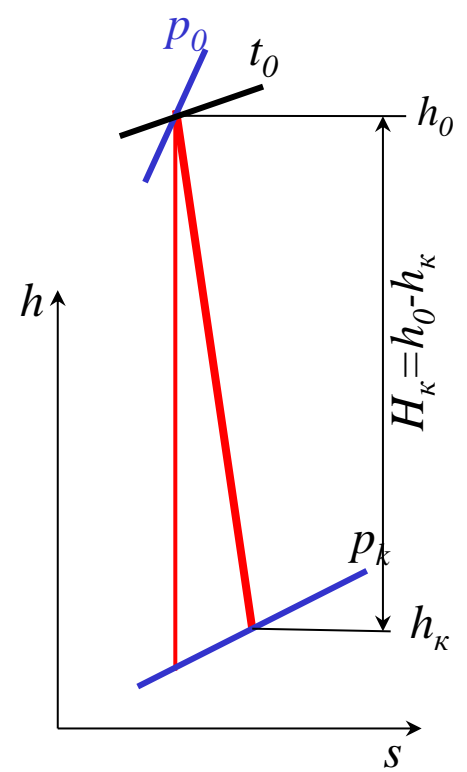
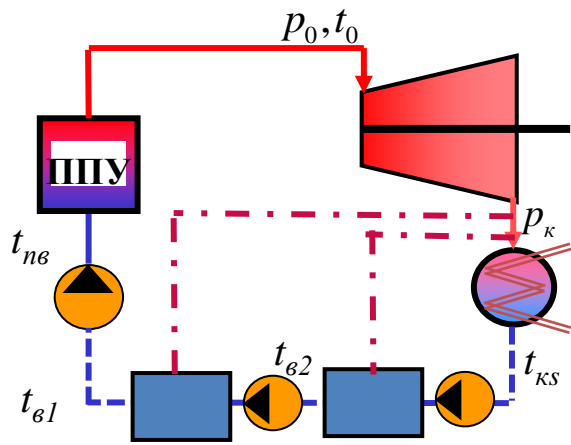
$$t_{1s} = t_{ks} \rightarrow p_1 = p_\kappa \rightarrow \begin{cases} H_1 = H_\kappa \\ \alpha_1^I = 0 \end{cases} \rightarrow A_{\text{ЭР}} = 0 \rightarrow \Delta\eta = 0.$$

II. $t_{n8} = t_{0s}$

$$t_{1s} = t_{0s} \rightarrow p_1 = p_0 \rightarrow \begin{cases} H_1 = 0 \\ \alpha_1^I = (\alpha_1^I)_{\max} \end{cases} \rightarrow A_{\text{ЭР}} = 0 \rightarrow \Delta\eta = 0.$$

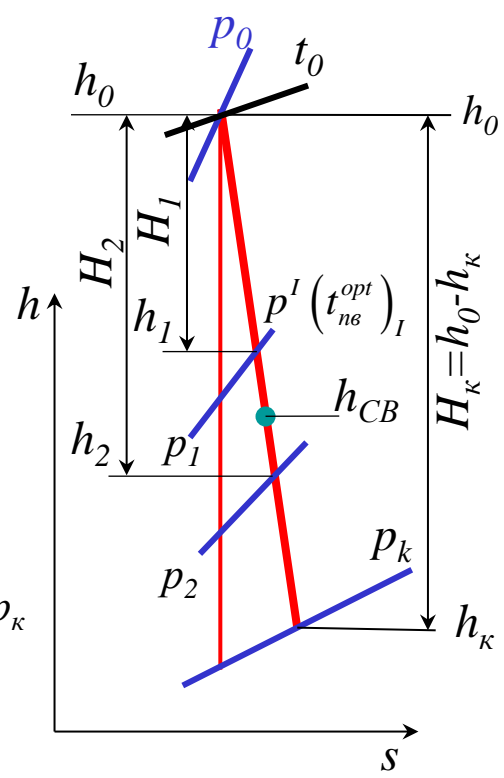
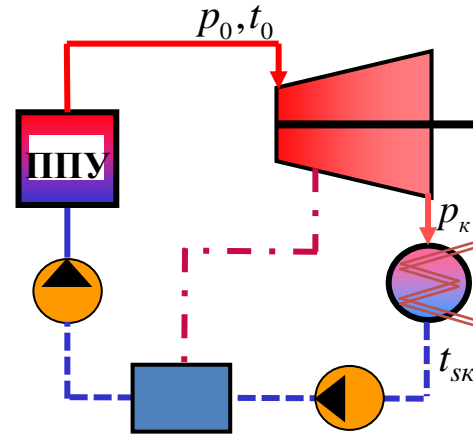
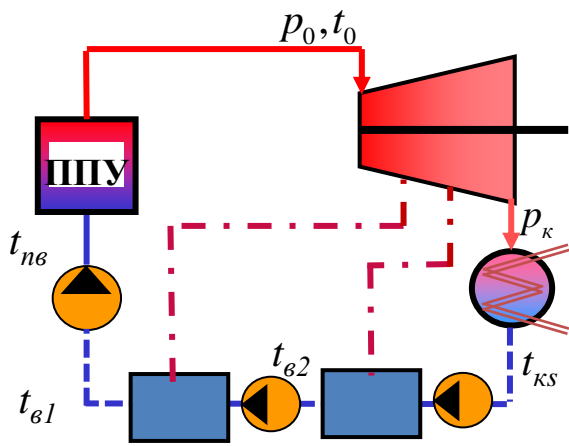
$$0 < H_1 < H_\kappa \rightarrow \begin{cases} 0 < \alpha_1^I < (\alpha_1^I)_{\max} \\ A_{\text{ЭР}} > 0 \end{cases} \rightarrow \Delta\eta > 0.$$

Двухступенчатый подогрев:



I. $t_{ne} = t_{KS}$

$$t_{1s} = t_{KS} \rightarrow p_1 = p_K = p_2 \begin{cases} H_1 = H_2 = H_K \\ \alpha_1^{II} = \alpha_2^{II} = 0 \end{cases} \rightarrow A_{\exists R} = 0 \rightarrow \Delta\eta = 0.$$



II. $t_{ne} = (t_{ne}^{opt})_I$ $t_{e1} = (t_{ne}^{opt})_I \rightarrow p_1 = p^I(t_{ne}^{opt})_I$; $t_{e1} > t_{e2} > t_{sk} \rightarrow p_1 > p_2 > p_k$

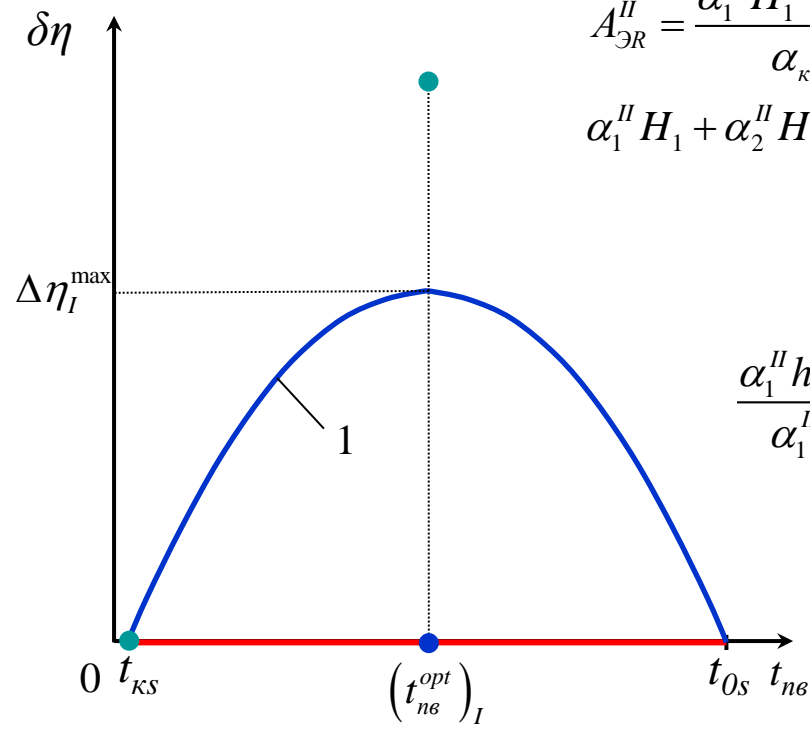
$$A_{\text{ЭР}}^{II} = \frac{\alpha_1^{II} H_1 + \alpha_2^{II} H_2}{\alpha_k H_k}; \quad \alpha_k = 1 - \alpha_1^{II} - \alpha_2^{II}.$$

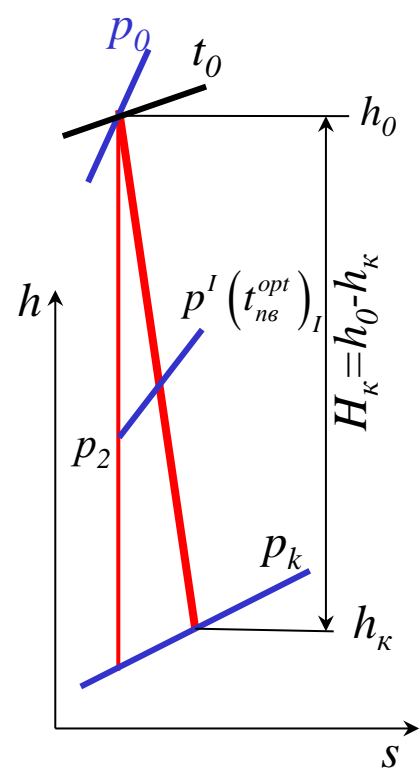
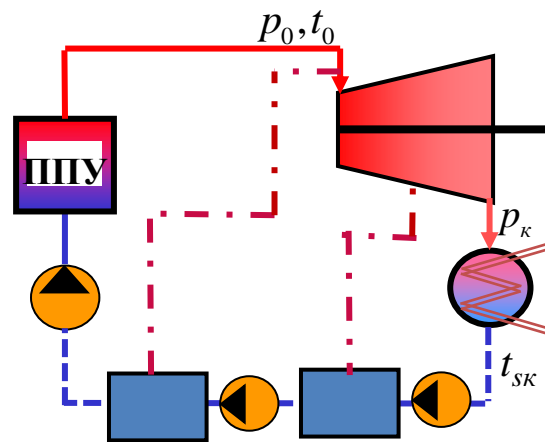
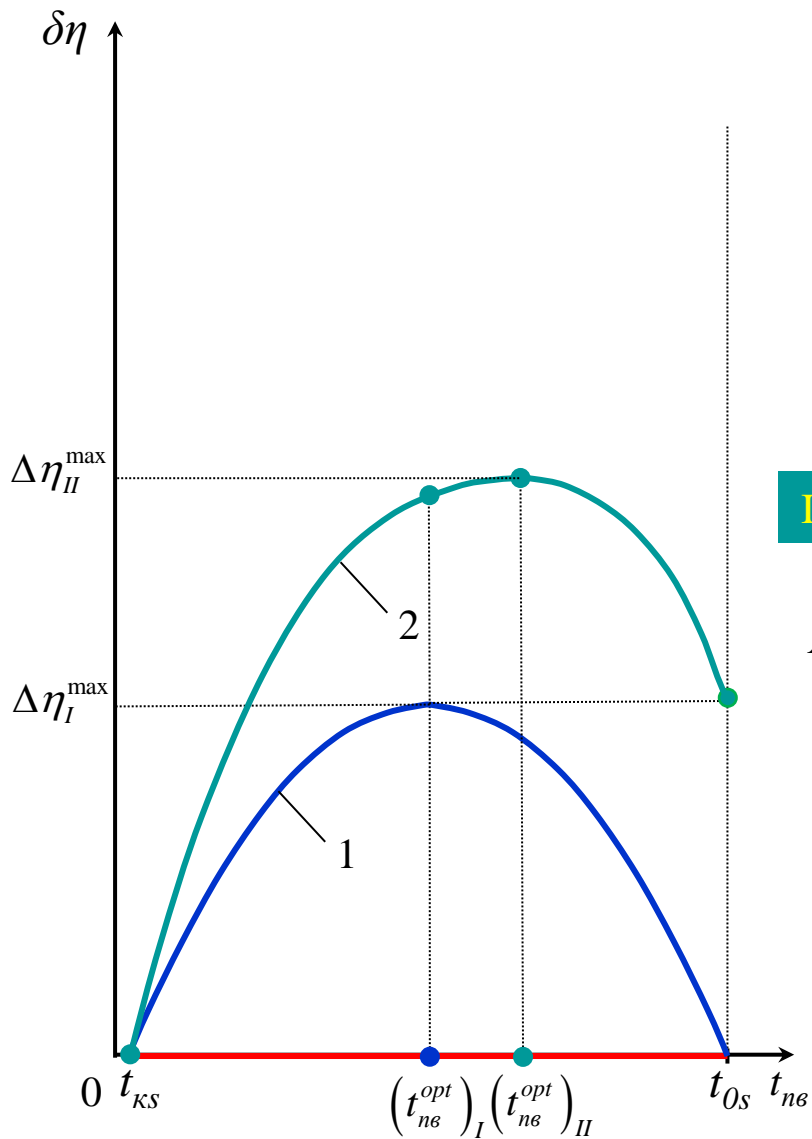
$$\begin{aligned} \alpha_1^{II} H_1 + \alpha_2^{II} H_2 &= \alpha_1^{II} (h_0 - h_1) + \alpha_2^{II} (h_0 - h_2) = (\alpha_1^{II} + \alpha_2^{II}) h_0 - \alpha_1^{II} h_1 - \alpha_2^{II} h_2 = \\ &= (\alpha_1^{II} + \alpha_2^{II}) (h_0 - h_{CB}) = (\alpha_1^{II} + \alpha_2^{II}) H_{CB} \end{aligned}$$

$$\frac{\alpha_1^{II} h_1 + \alpha_2^{II} h_2}{\alpha_1^{II} + \alpha_2^{II}} = h_{CB} \quad \text{- средневзвешенная энтальпия пара отборов.}$$

$$A_{\text{ЭР}}^I = \frac{\alpha_1^I H_1}{\alpha_k H_k}; \quad \alpha_k = 1 - \alpha_1^I. \quad A_{\text{ЭР}}^{II} = \frac{(\alpha_1^{II} + \alpha_2^{II}) H_{CB}}{(1 - \alpha_1^{II} - \alpha_2^{II}) H_k}.$$

$$A_{\text{ЭР}}^{II} > A_{\text{ЭР}}^I$$





III. $t_{ns} = t_{0s}$

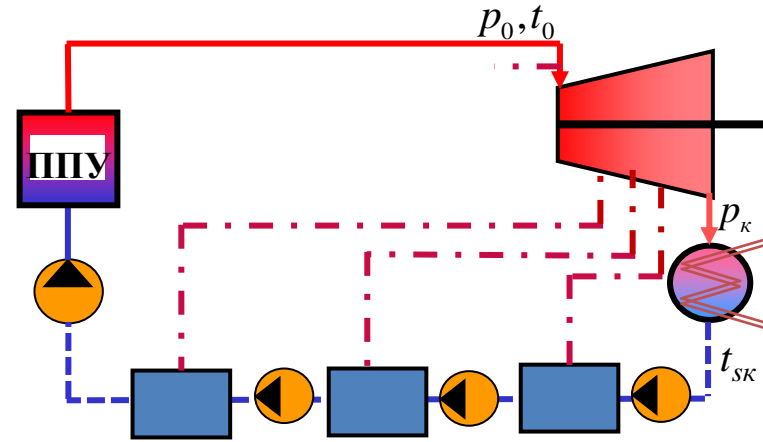
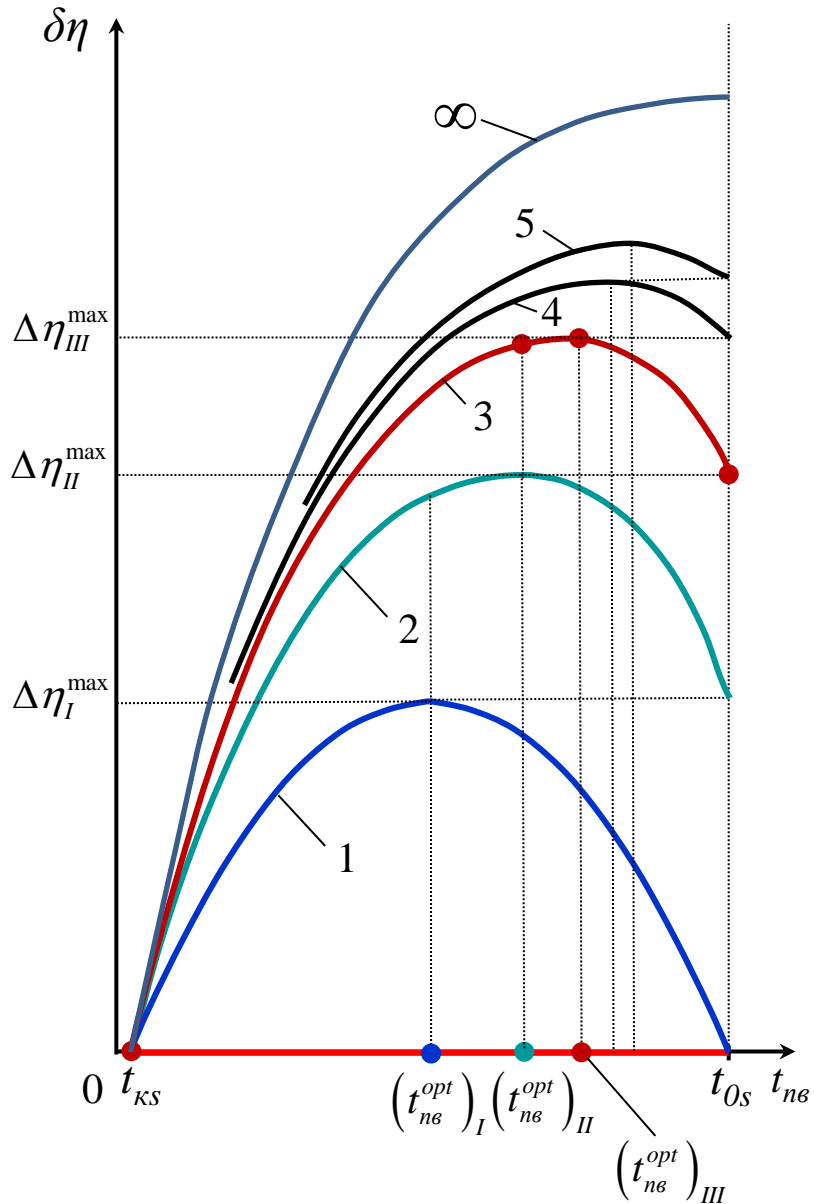
$$A_{\mathcal{A}R}^{II} = \frac{\alpha_1^{II} H_1}{\alpha_k H_k} + \frac{\alpha_2^{II} H_2}{\alpha_k H_k} = A_{\mathcal{A}R1} + A_{\mathcal{A}R2}$$

$$t_{s1} = t_{0s} \rightarrow p_1 = p_0 \begin{cases} H_1 = 0 \\ \alpha_1^I = (\alpha_1^I)_{\max} \end{cases} \rightarrow A_{\mathcal{A}R1} = 0$$

$$t_{s2} = (t_{ns}^{opt})_I \rightarrow p_2 = p^I(t_{ns}^{opt})_I; \quad A_{\mathcal{A}R2} = A_{\mathcal{A}R}^I$$

$$A_{\mathcal{A}R}^{II} = A_{\mathcal{A}R}^I$$

Трехступенчатый подогрев:

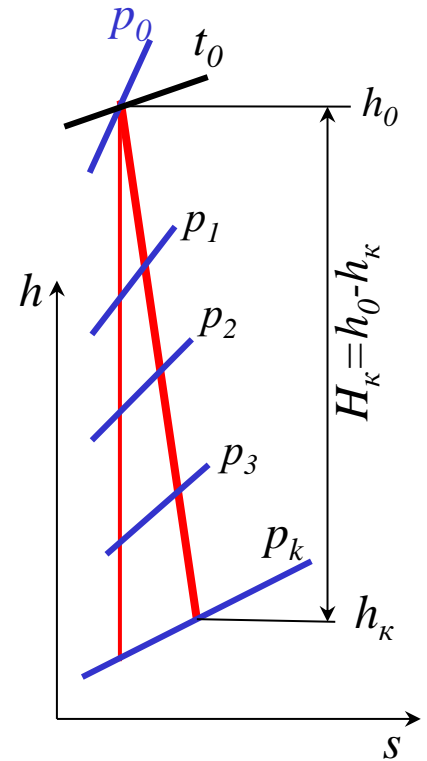


Четырехступенчатый ...:

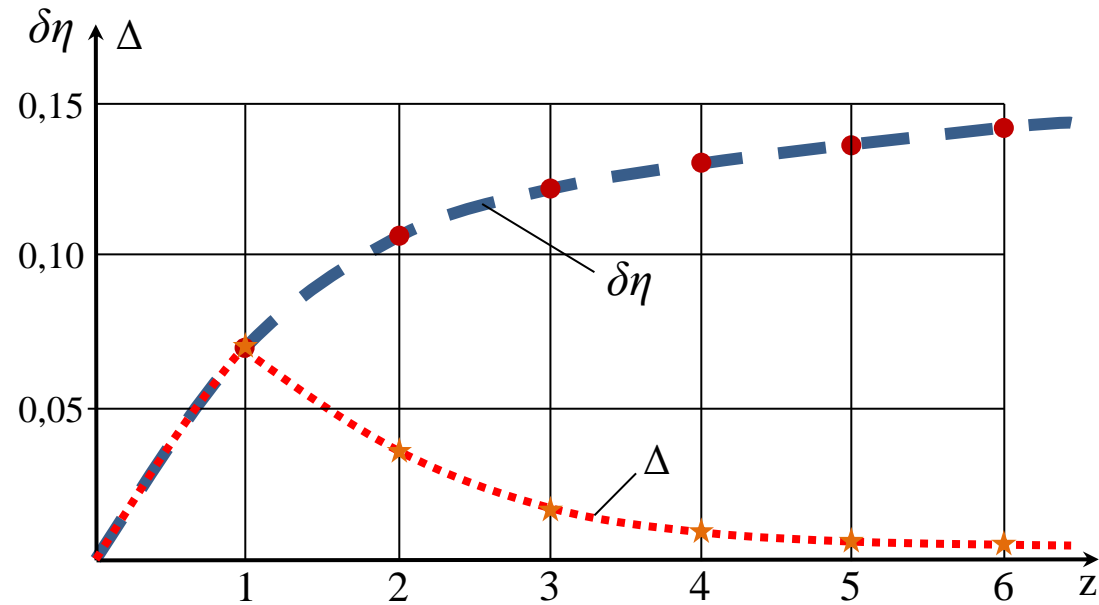
Пятиступенчатый ...:

.....:

Безконечное число ступеней ...:



Обобщающие выводы



Выигрыш от установки дополнительного подогревателя:

$$\Delta = \delta\eta_j - \delta\eta_{(j-1)}$$

Оптимальная температура питательной воды при равномерном нагреве в подогревателях:

$$\left(t_{ns}^{opt}\right)_z = t_{sk} + \frac{z}{z+1} \left(t_{s0} - t_{sk}\right)$$

