

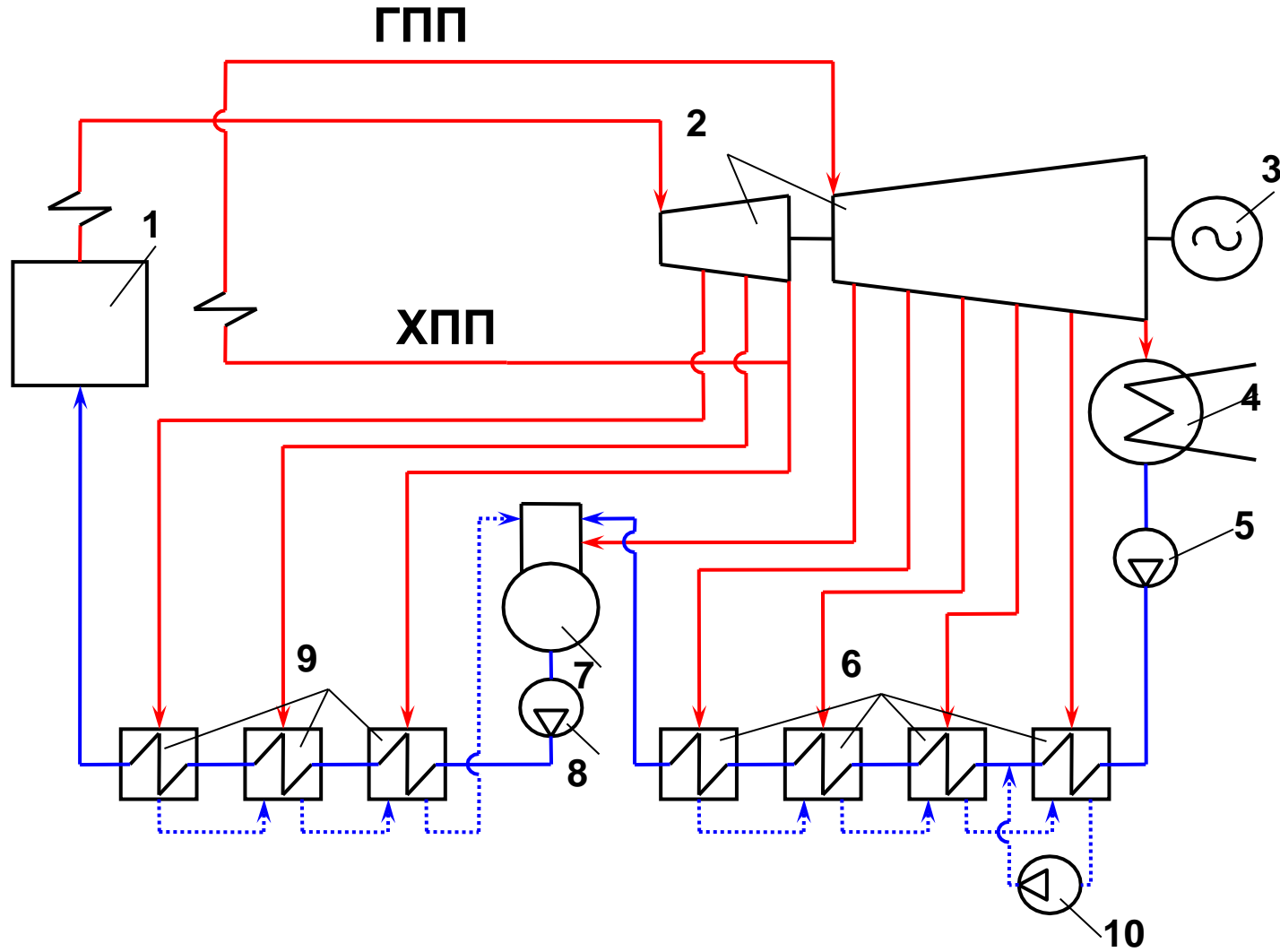
# **ПРОМПЕРЕГРЕВ НА ТЭС и АЭС**

# Промперегрев на ТЭС

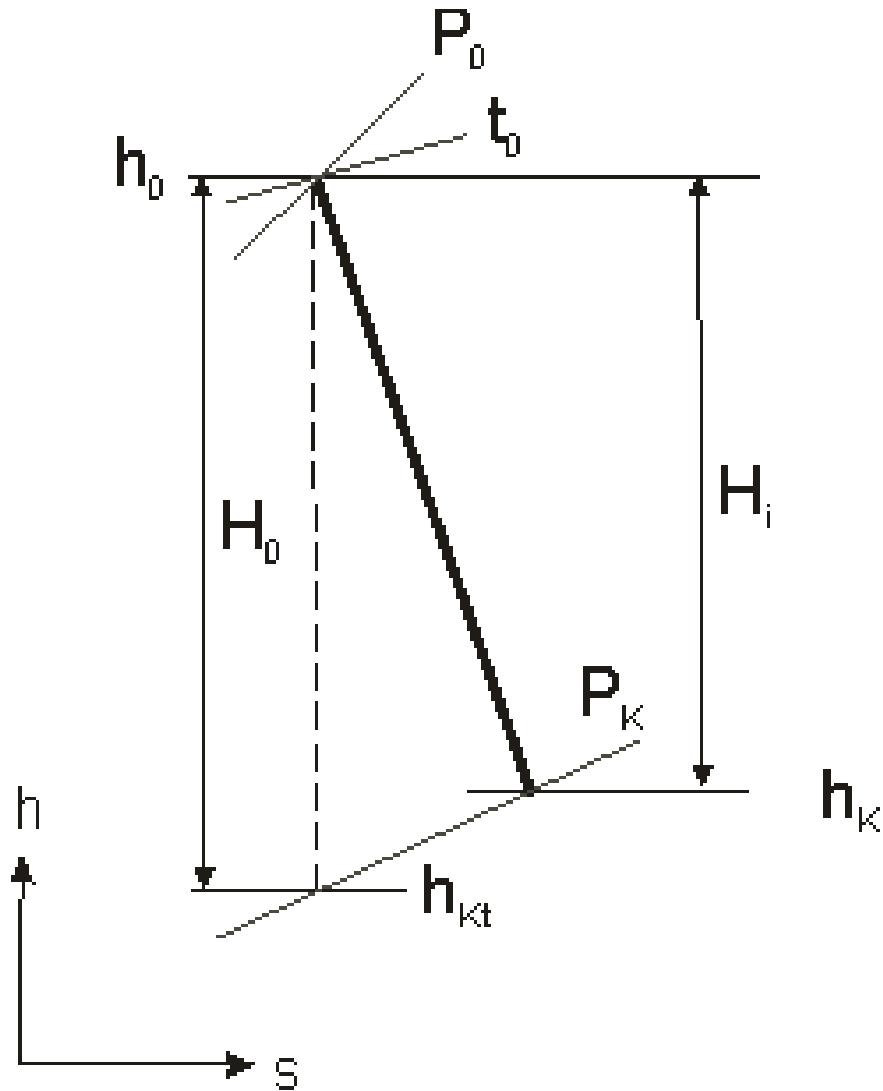
## Назначение:

1. Повышение степени сухости (уменьшение влажности) в последних ступенях турбины  
(повысит  $\eta_{di}$ )
2. Рост термического КПД (для цикла ПП)

# Принципиальная тепловая схема ТЭС с ПП



## Предпосылки для введения пром.перегрева



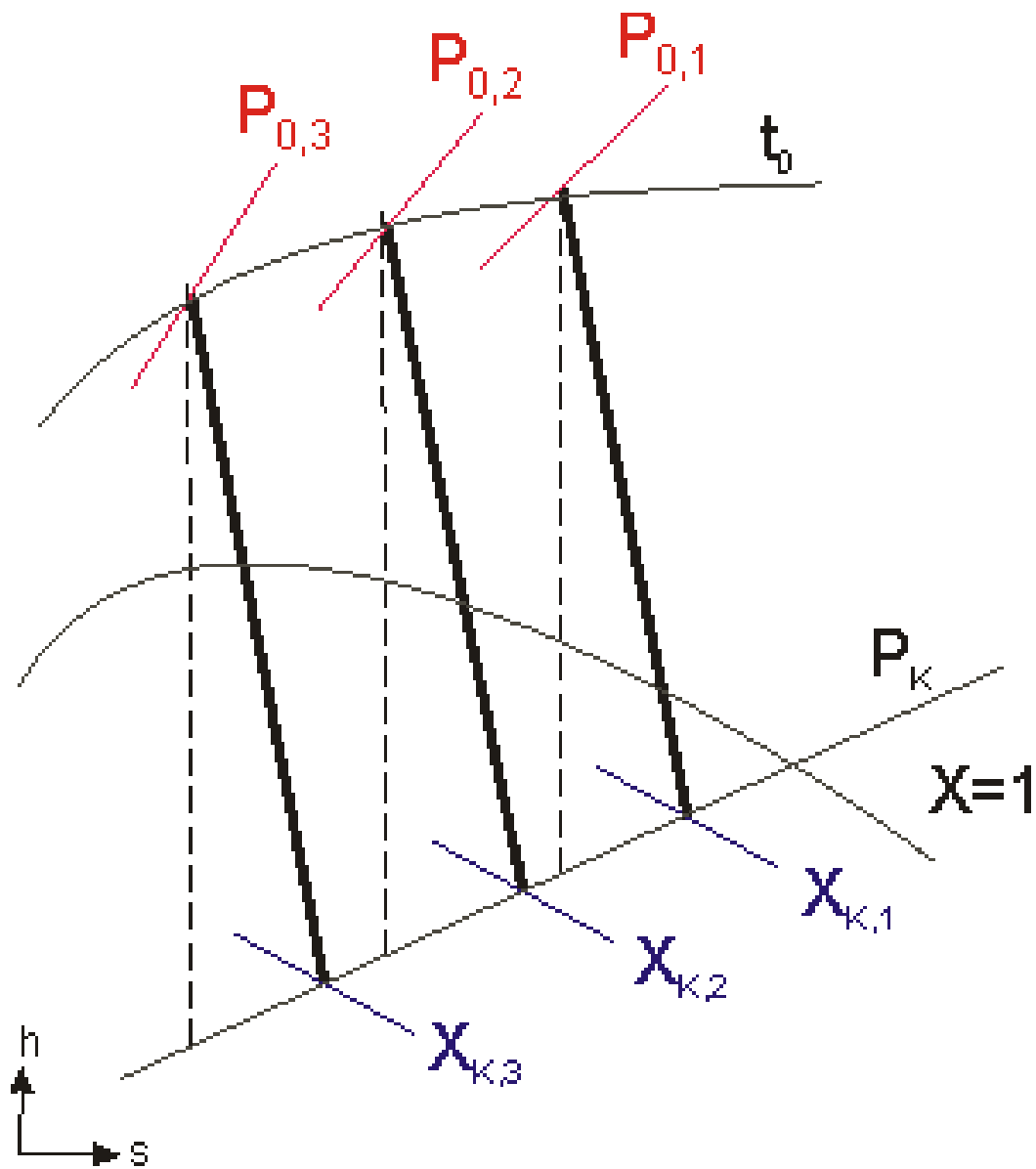
$$N_{\text{Э}} = D_0 \cdot H_0 \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_z$$

$$N_{\text{Э}} \uparrow \Leftrightarrow D_0 \uparrow$$

$$D \cdot v = F \cdot \omega$$

$$D \cdot v = \text{const}$$

$$v \downarrow \Rightarrow P_0 \uparrow$$



$$Y_K = 1 - X_K$$

$$P_{0,1} < P_{0,2} < P_{0,3}$$

$$X_{K,1} > X_{K,2} > X_{K,3}$$

$$t_0 = \text{const}$$

$$P_0 \uparrow \Rightarrow X_K \downarrow$$

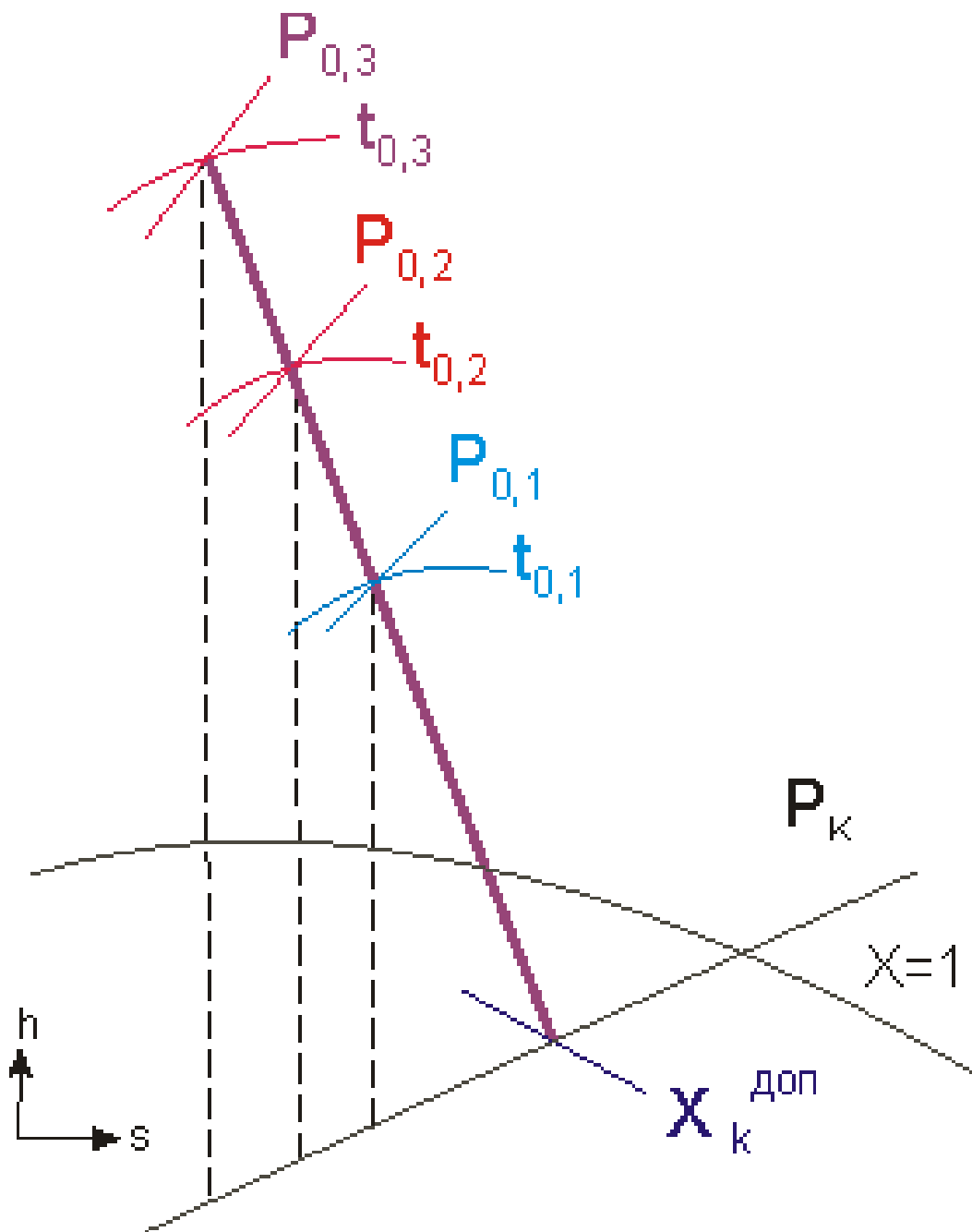
$$Y_K^{\text{don}} \leq 14\%$$



$$(P_0, t_0) \uparrow$$

## Сопряженные начальные параметры пара

Начальные давление и температуру, обеспечивающие одно и то же значение конечной влажности пара, называют **сопряженными** начальными параметрами пара

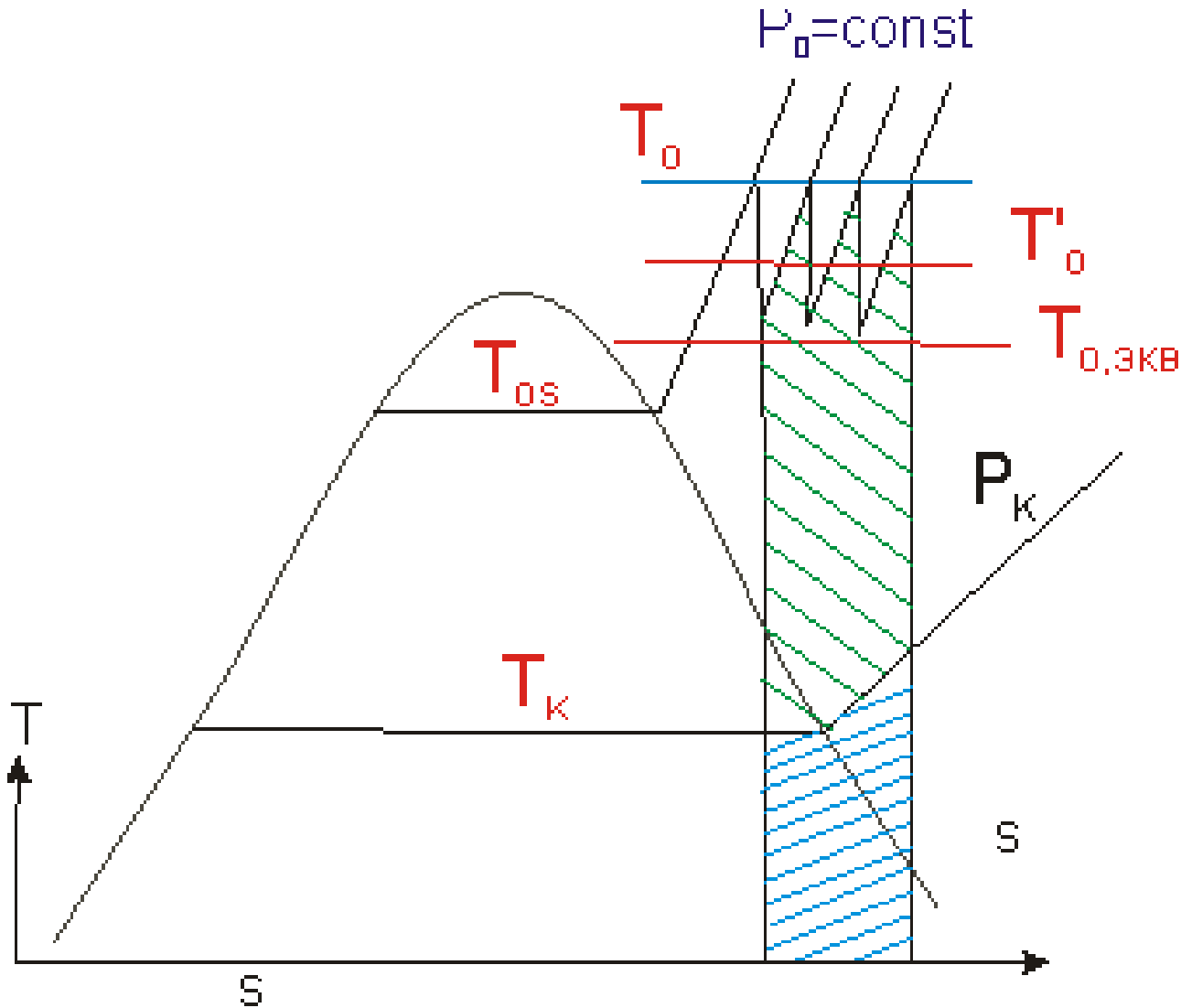


$$(P_{0,1}, t_{0,1})$$

$$(P_{0,2}, t_{0,2})$$

$$(P_{0,3}, t_{0,3})$$

# Влияние промперегрева на тепловую экономичность цикла



$$\eta_t^0 = 1 - \frac{T_{0,ЭKB}}{T_K}$$

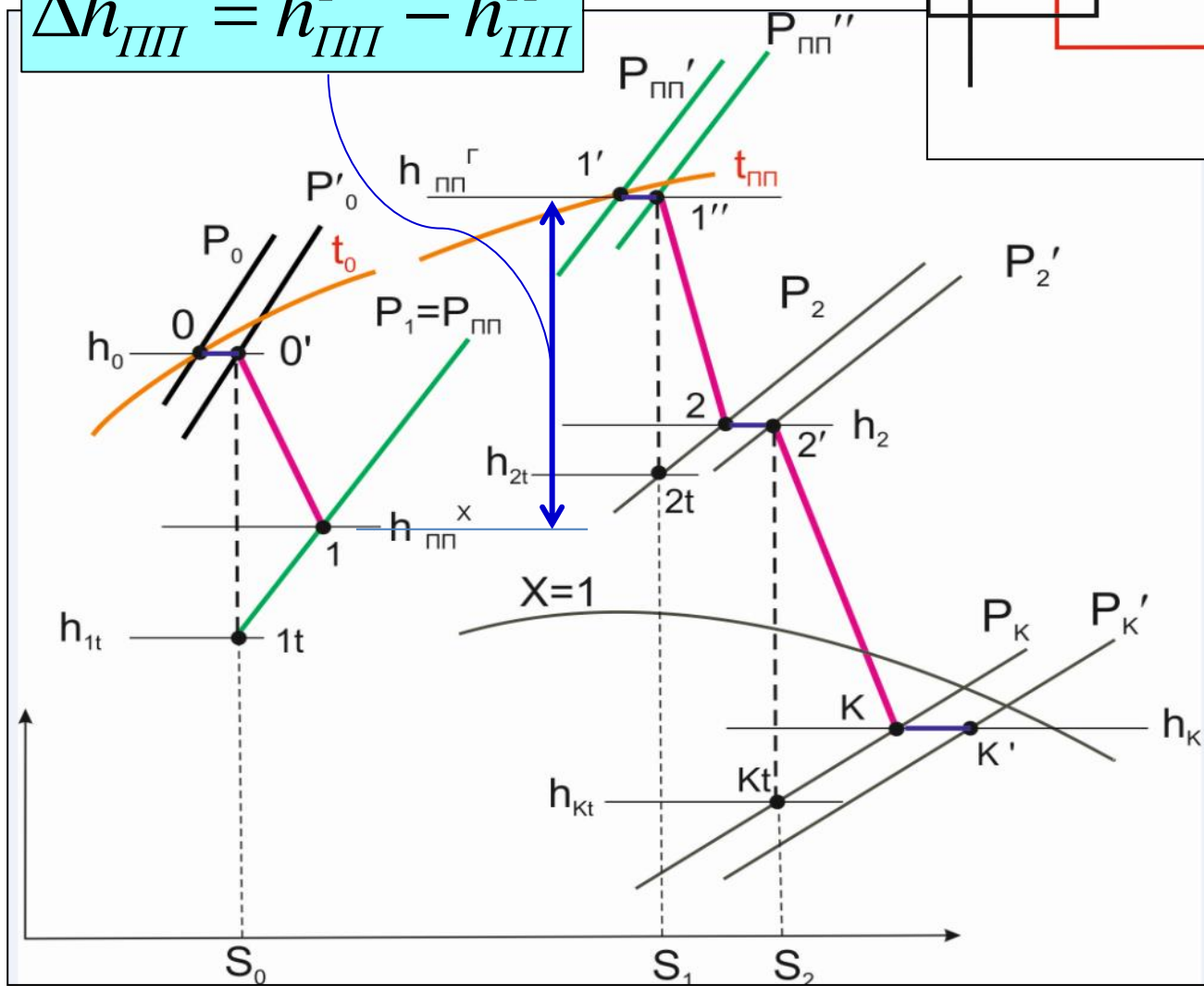
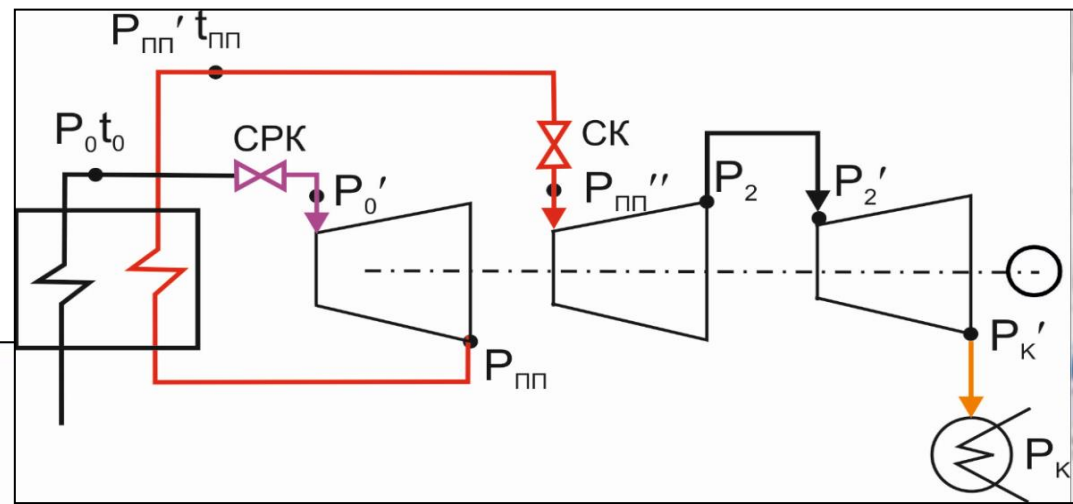
$$\eta_t' = 1 - \frac{T_0'}{T_K}$$

$$T_0' > T_{0,ЭKB}$$

⇓

$$\eta_t' > \eta_t^0$$

$$\Delta h_{III} = h_{III}^{\Gamma} - h_{III}^X$$





# ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД цикла Ренкина с ПН

Без учета работы ПН

$$\eta_t = \frac{H_0^{\text{ЧВД}} + H_0^{\text{ЧНД}}}{h_0 - h'_K + h_{\text{III}}^{\Gamma} - h_{\text{III}}^X}$$

С учетом работы ПН

$$\eta_t = \frac{H_0^{\text{ЧВД}} + H_0^{\text{ЧНД}} - \Delta h_n}{h_0 - (h'_K + \Delta h_n) + (h_{\text{III}}^{\Gamma} - h_{\text{III}}^X)}$$

# АБСОЛЮТНЫЙ ВНУТРЕННИЙ КПД цикла Ренкина с ПН

Без учета работы ПН

$$\eta_i = \frac{h_0 - h_K + \Delta h_{\text{III}}}{h_0 - h'_K + \Delta h_{\text{III}}}$$

С учетом работы ПН

$$\eta_i = \frac{h_0 - h_K + \Delta h_{\text{III}} - \Delta h_H}{h_0 - (h'_K + \Delta h_H) + \Delta h_{\text{III}}}$$

$$\Delta h_{\text{III}} = h_{\text{III}}^{\Gamma} - h_{\text{III}}^X$$

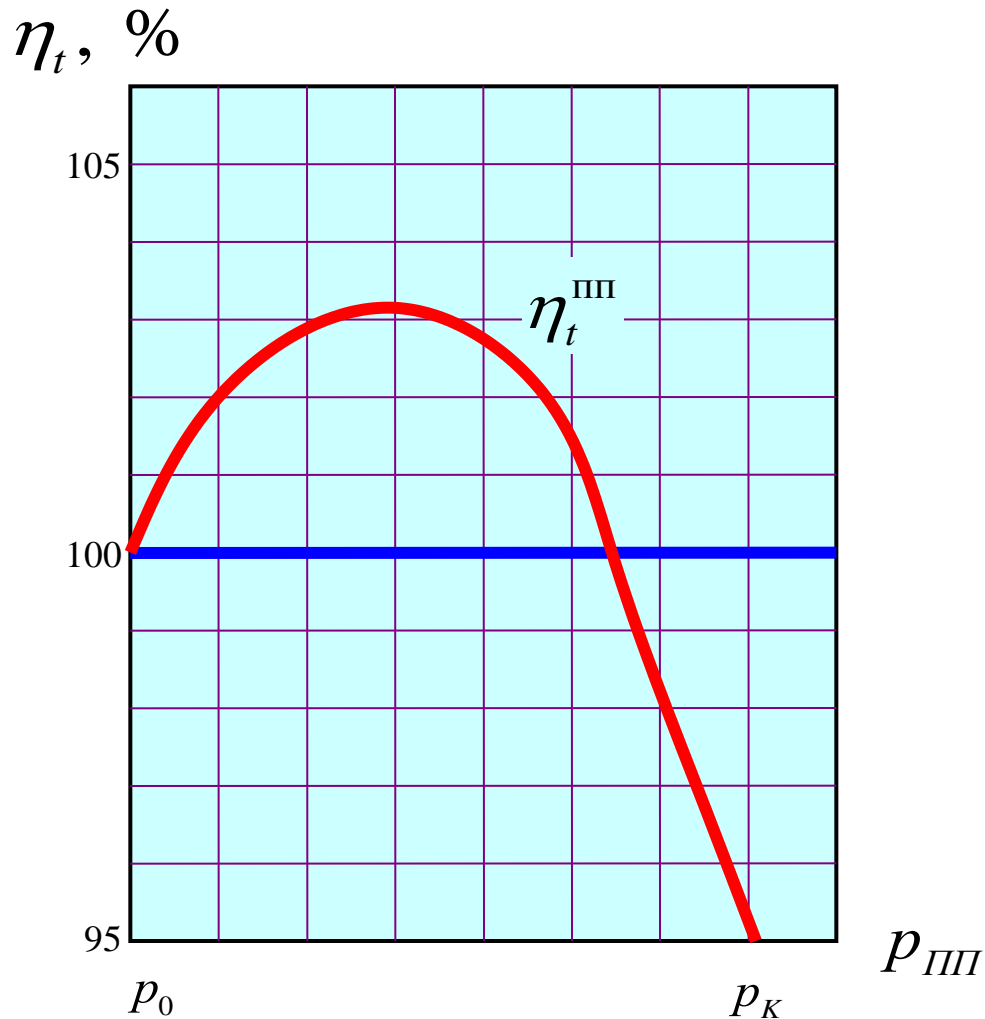
# Влияние Рпп на экономичность

1. Затраты теплоты пара на перегрев пара в промежуточном пароперегревателе с уменьшением давления пара всегда увеличиваются:

$$\Delta h_{III} = h_{III}^{\Gamma} - h_{III}^X \quad - \uparrow$$

2. Располагаемый теплоперепад с уменьшением давления пара в промежуточном пароперегревателе от начального к конечному сначала увеличивается, затем, начиная с какого-то давления, падает.

# Оптимальное давление ПП



Одноступенчатый ПП

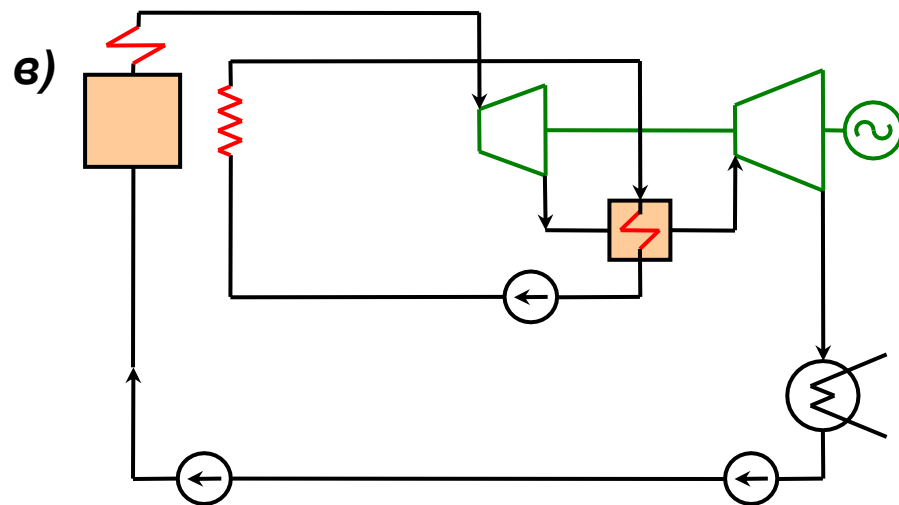
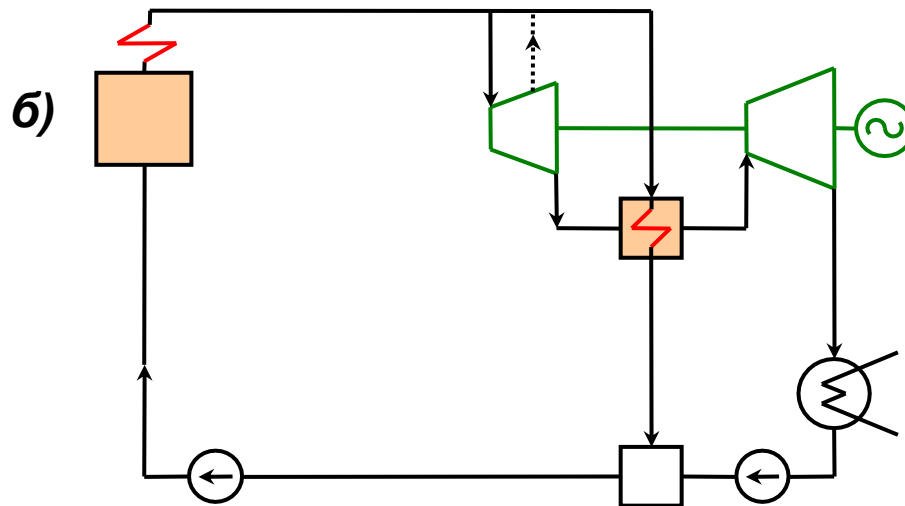
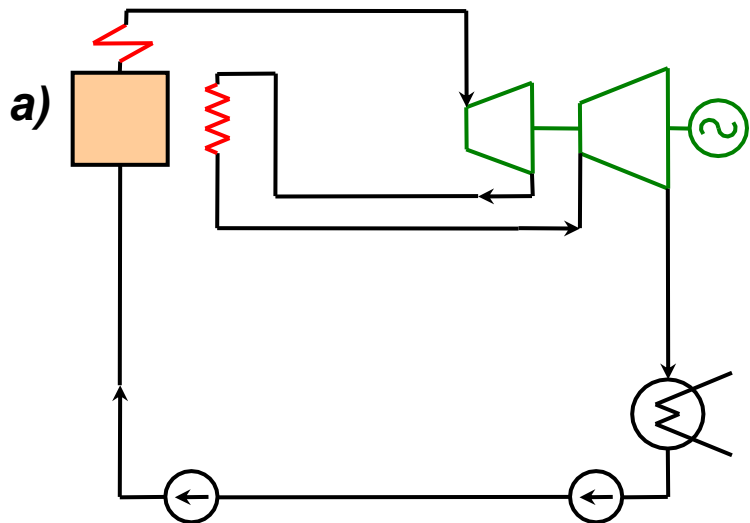
$$p_{III} = (0,15 \div 0,20) \cdot p_0$$

Двухступенчатый ПП

$$p_{III}^I = (0,25 \div 0,30) \cdot p_0$$

$$p_{III}^{II} = (0,25 \div 0,30) \cdot p_{III}^I = \\ = (0,06 \div 0,09) \cdot p_0$$

# Возможные способы осуществления промежуточного перегрева на ТЭС



а – газовый промежуточный перегрев;

б – паровой ПП (острым или отборным паром)

в – перегрев промежуточным теплоносителем

# Сепарация и промперегрев на АЭС

ПТУ насыщенного пара не могут использовать цикл Ренкина в его исходном виде.

В процессе расширения насыщенного пара в турбине его влажность непрерывно увеличивается и достигает значений, недопустимых *по условиям эрозионного износа проточной части*.

## Назначение

Повысить степень сухости (уменьшить влажность) в последних ступенях турбины. Благодаря этому растет  $\eta_{oi}$  турбины.

## Недостаток

В циклах насыщенного пара введение ПП приводит к снижению термического КПД.

# Промежуточная сепарация

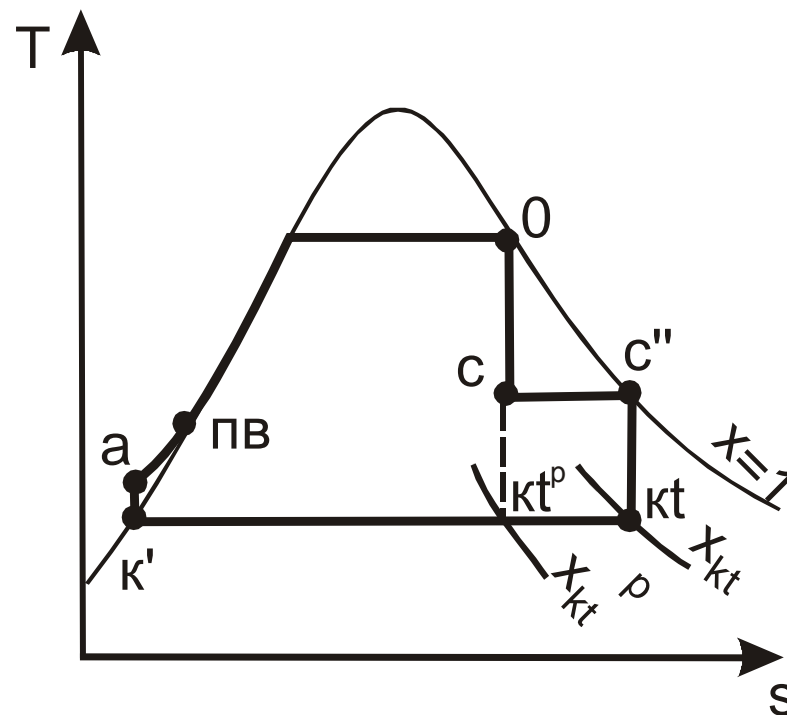
Пар, достигший в процессе расширения предельно допустимых значений влажности, отводится в сепаратор и осушается в нем при постоянном давлении и температуре.

Давление сепарации называют **разделительным**

При введении сепарации возрастают:

- ❖ полезная работа
- ❖ КПД цикла на 2 – 3,5 %.

Так можно поддержать в допустимых пределах влажность на выходе из турбины при невысоких значениях начального давления пара ( $p_0 < 4$  МПа).



При  $p_0 > 4$  МПа влажность пара в допустимых пределах можно поддержать **только за счет:**

➤ двукратной сепарации

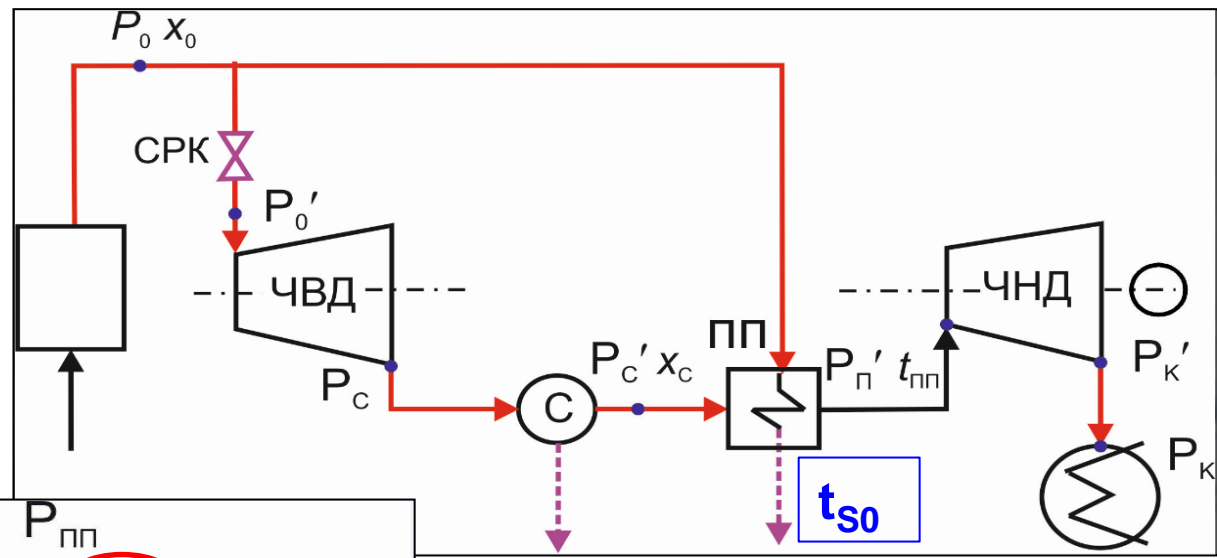
➤ последовательных сепарации и промежуточного перегрева пара

**Промежуточный перегрев пара** после сепарации осуществляют за счет теплоты конденсации части свежего пара (паропаровой промперегрев) в поверхностном теплообменнике (**пароперегревателе**)

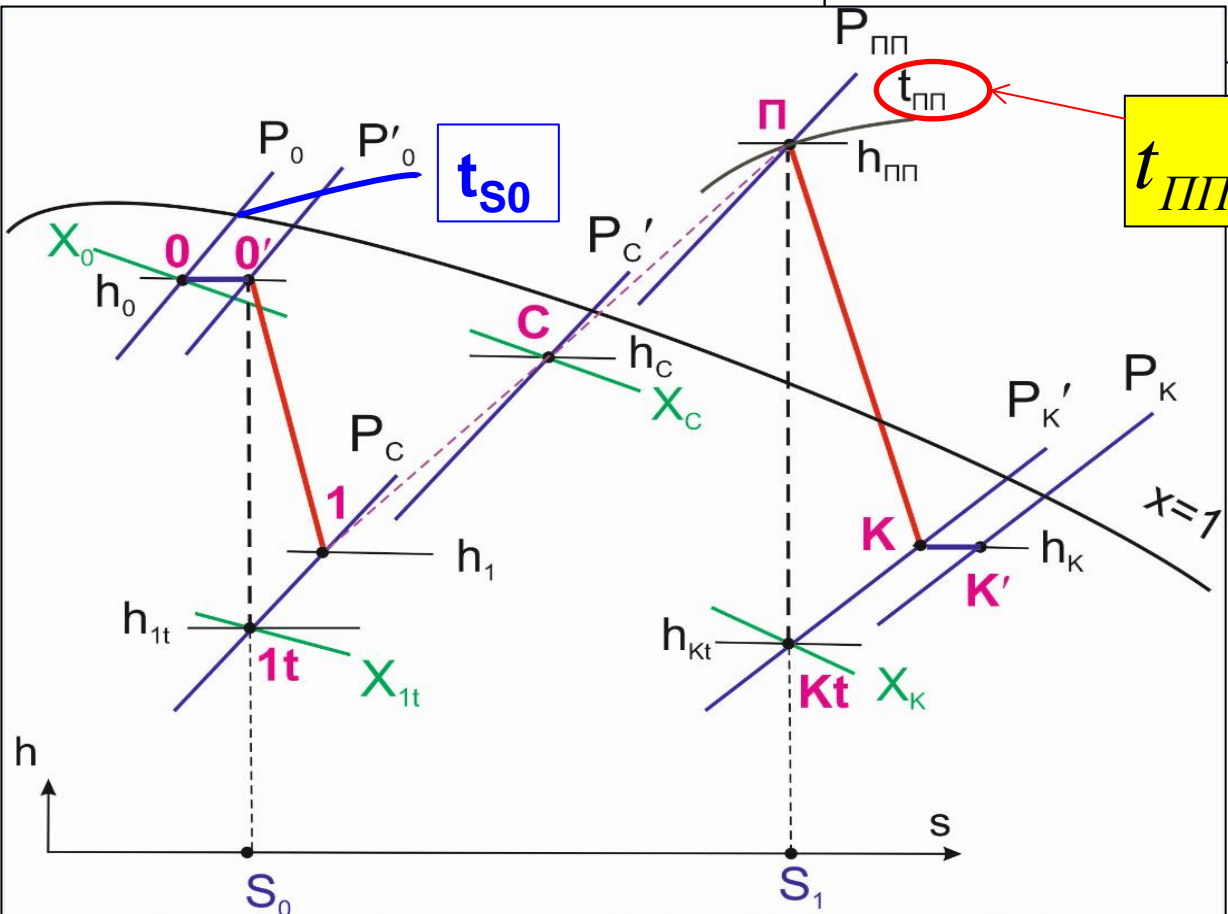


Температура пара после ПП - меньше начальной температуры греющего свежего пара на значение **температурного напора  $\Delta t$** .

На АЭС с БН-600 ПП осуществляют в парогенераторе за счет теплоты теплоносителя

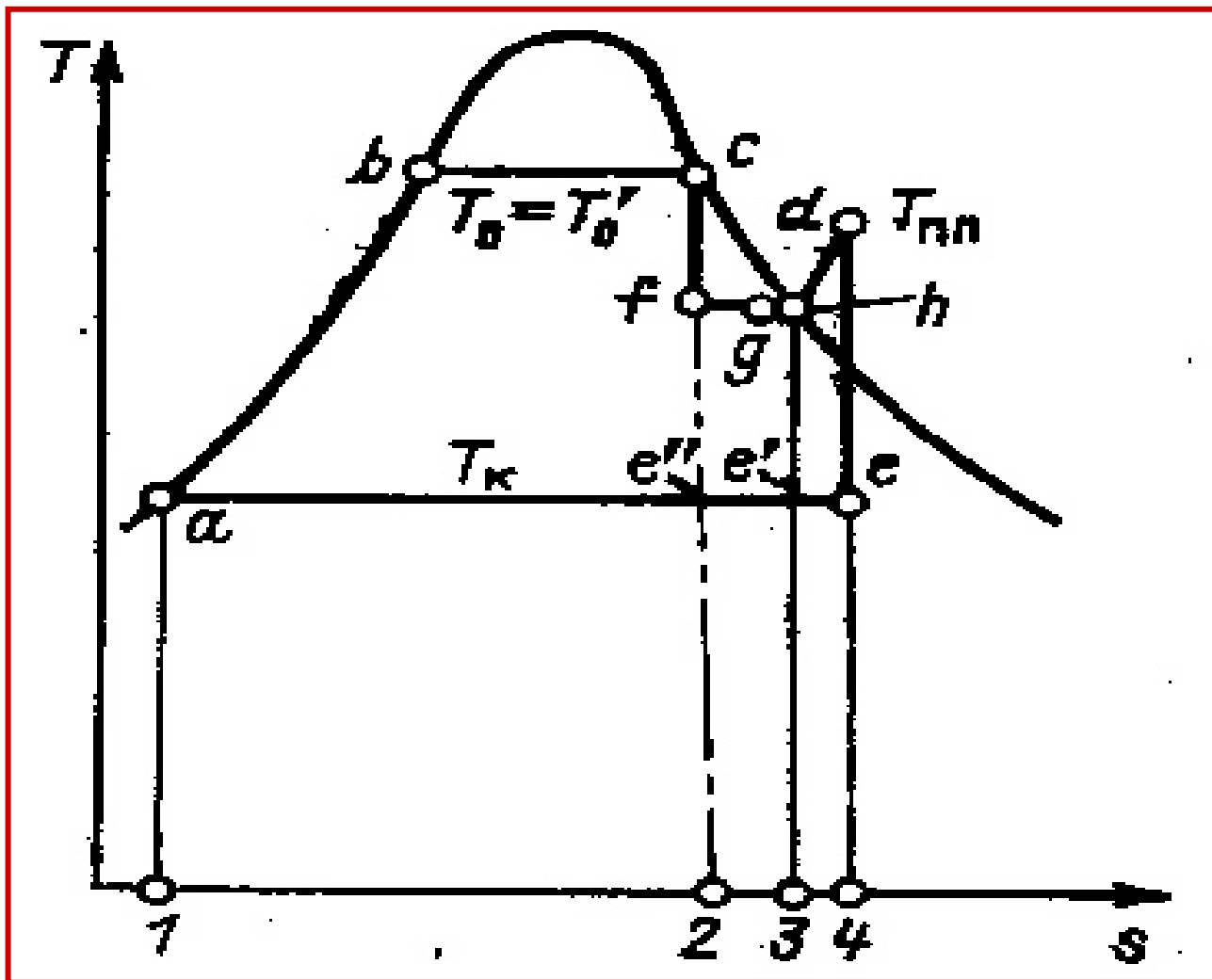


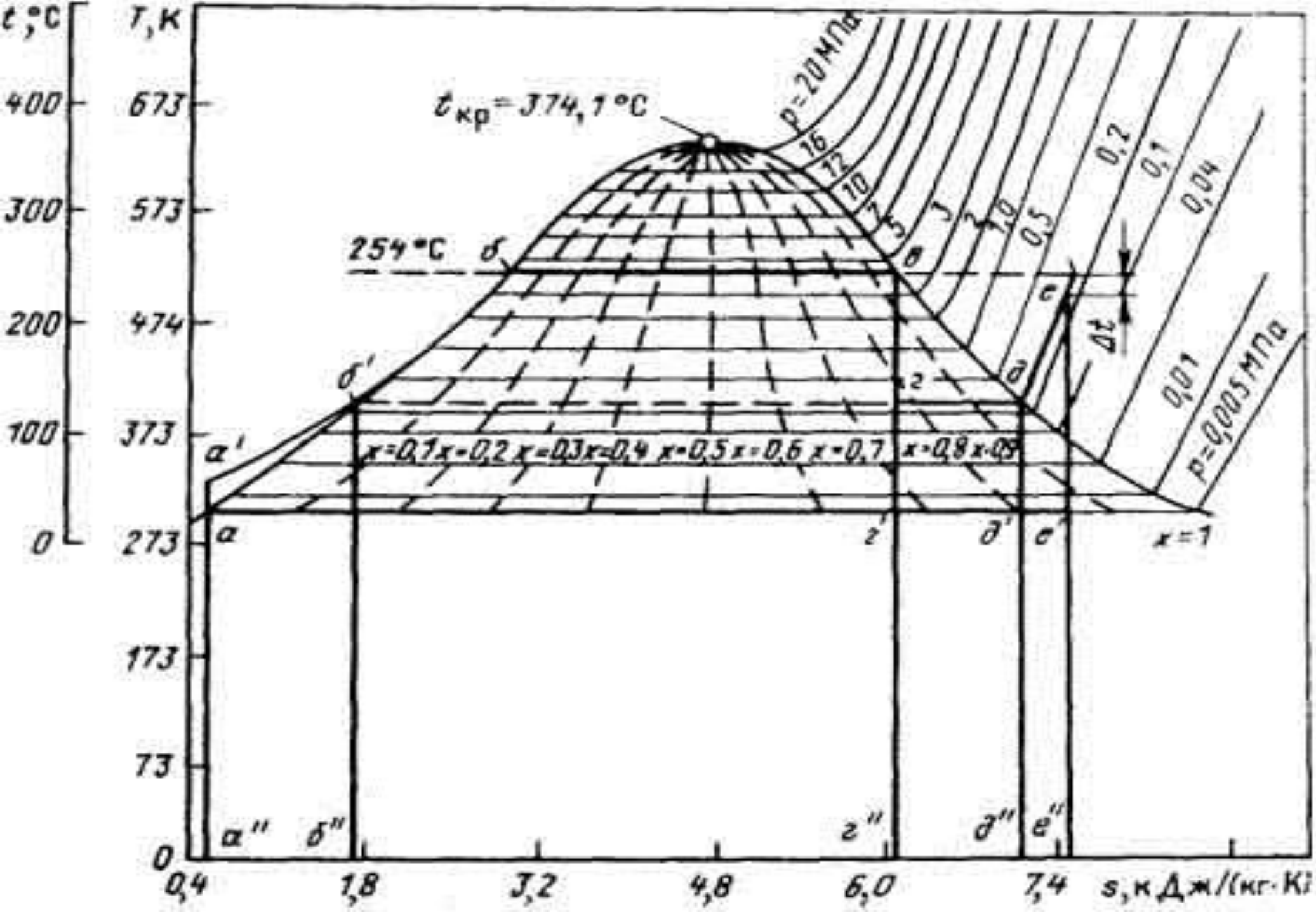
$t_{III} = t_{S0} - \Delta t$





# Теоретический цикл турбинной установки насыщенного пара в $T,s$ - диаграмме



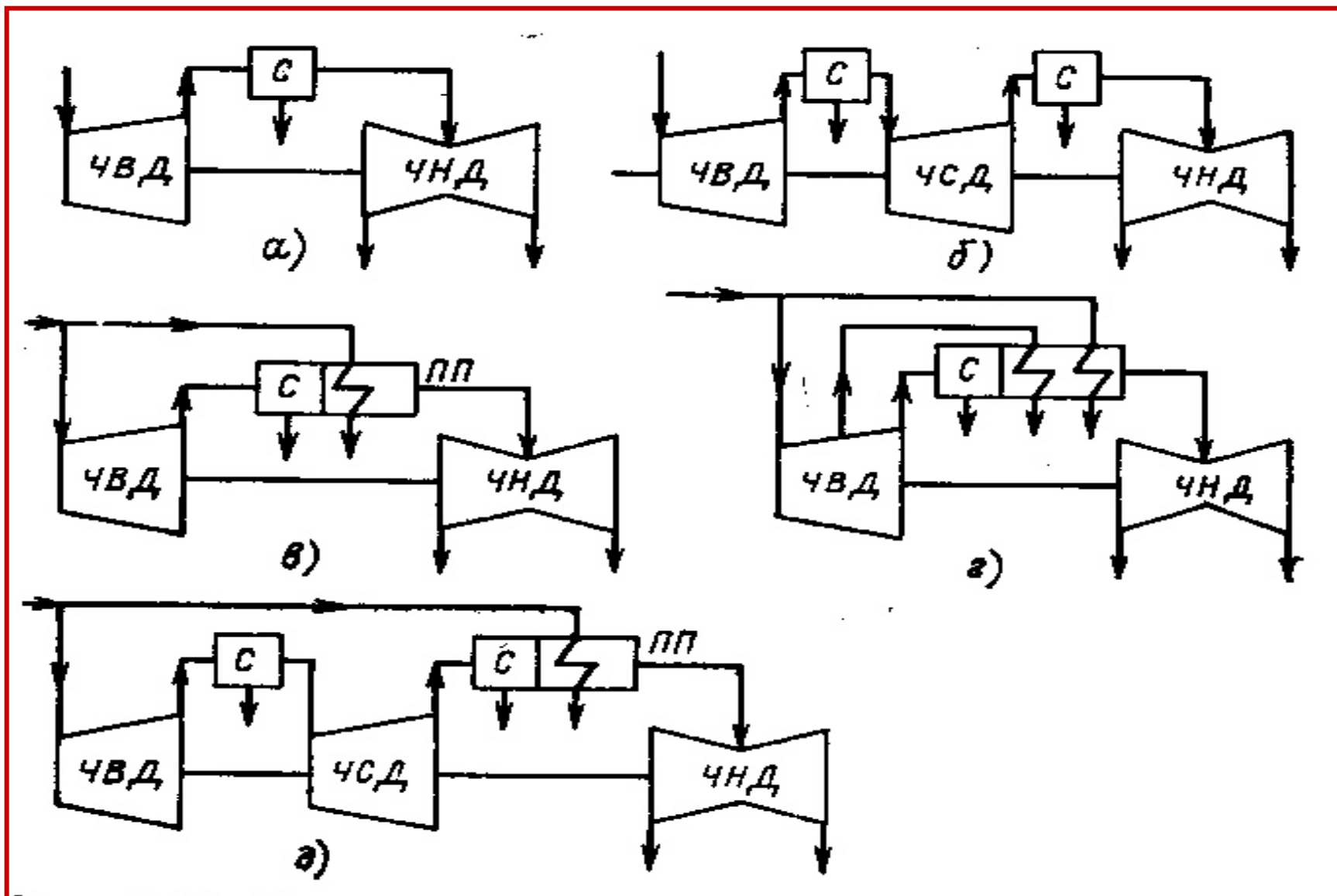


КПД цикла с промежуточными сепарацией и **паровым перегревом** пара оказывается меньшим, чем для цикла только с промежуточной сепарацией.

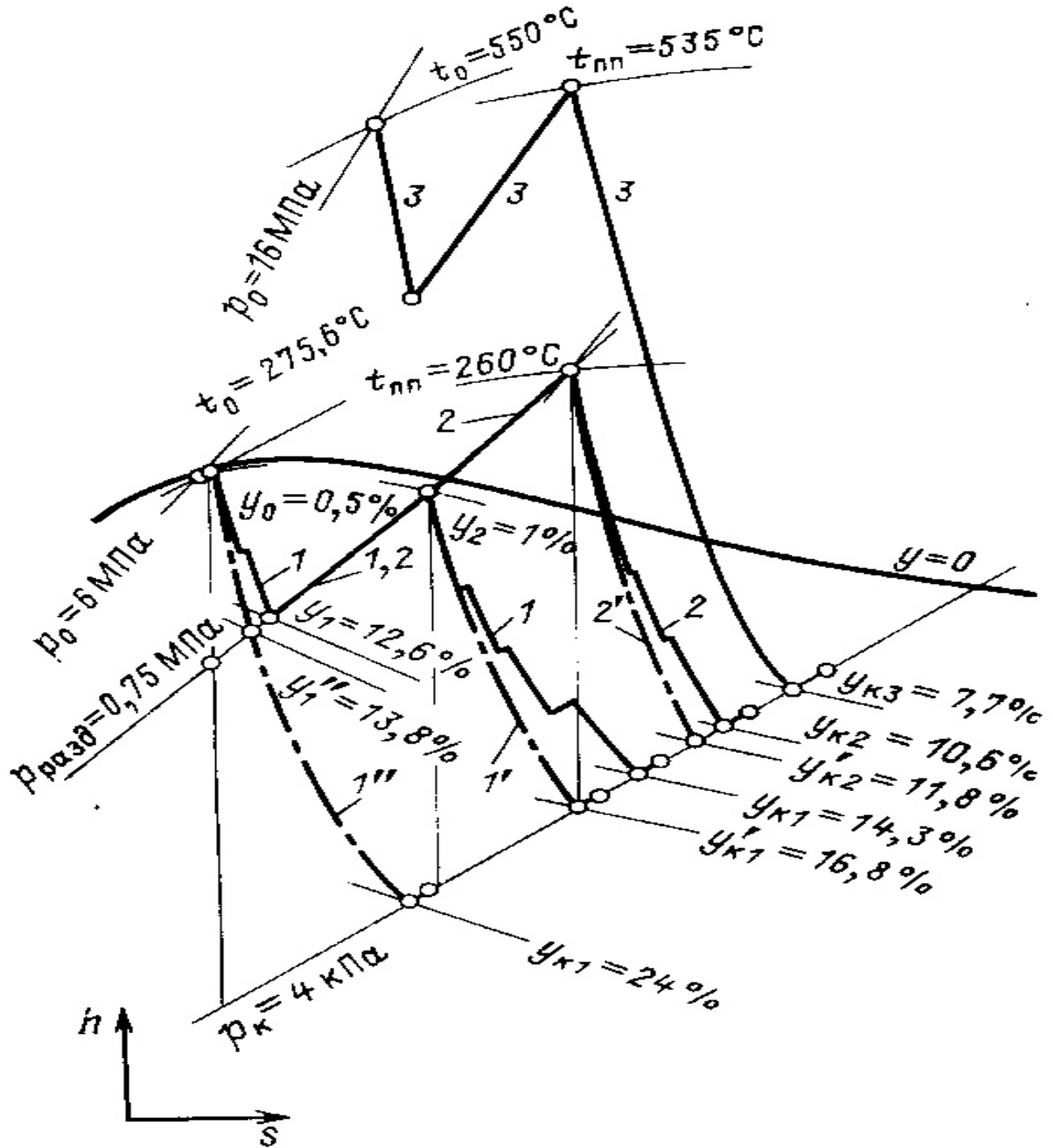
Это объясняется снижением средней температуры подвода теплоты в цикле из-за наличия температурного напора в пароперегревателе  $\Delta t$  .

Таким образом, КПД цикла с промежуточными сепарацией и перегревом пара оказывается меньшим, чем для цикла без промежуточных сепарации и перегрева пара. Но, как уже было сказано выше, невозможно осуществление цикла без сепарации и перегрева при давлении в холодном источнике 0,005 МПа. Поэтому такое прямое сопоставление неправомерно. Цикл с сепарацией и промежуточным перегревом надо сопоставлять с циклом при их отсутствии при допустимой конечной влажности.

# Внешняя сепарация и промперегрев пара в турбинных установках насыщенного пара



Процесс  
расширения  
пара в турбинах  
в  
hs - диаграмме



# Влияние разделительного давления на КПД турбинной установки

