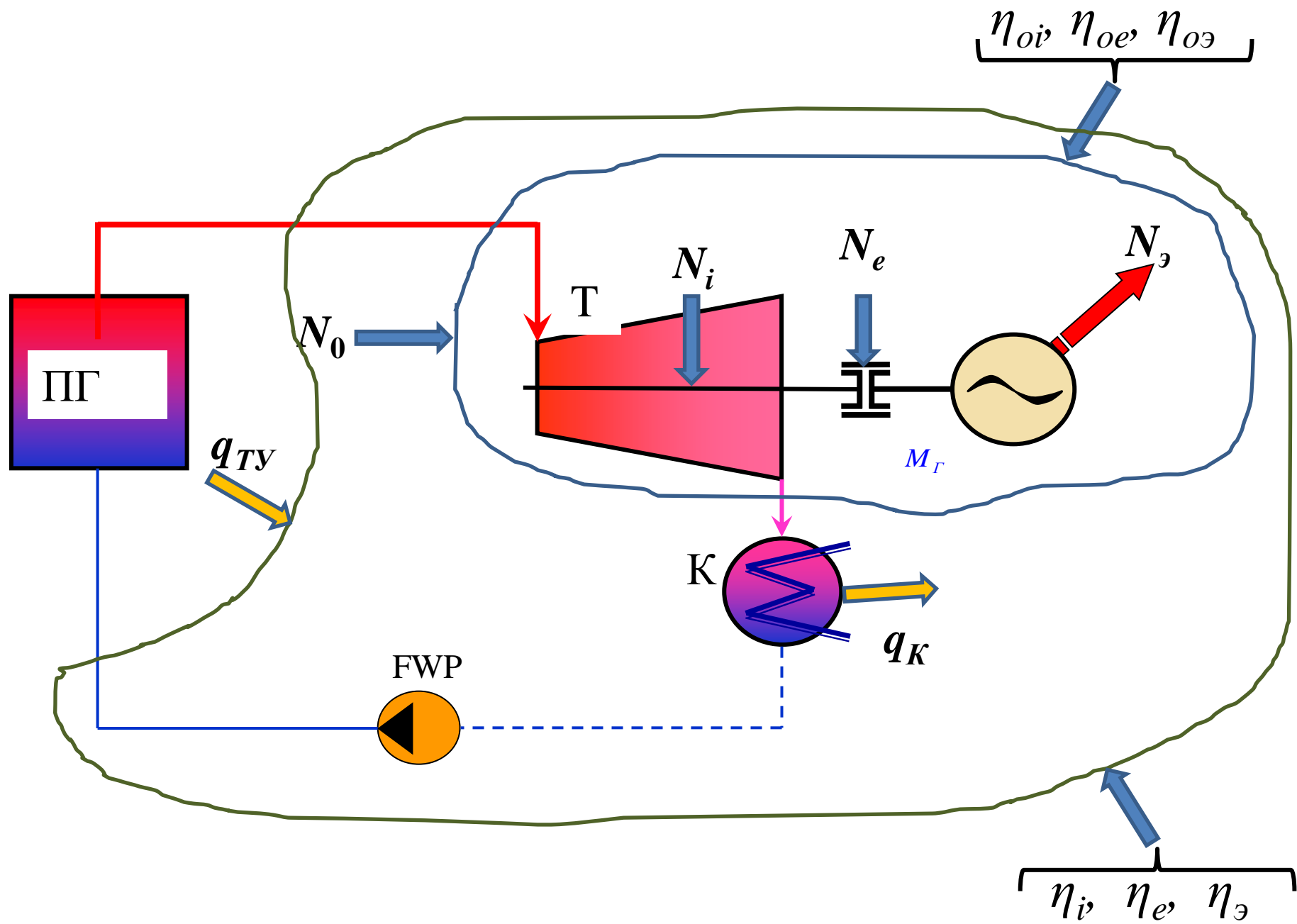


# **ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ И ОБЩЕЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЭС**

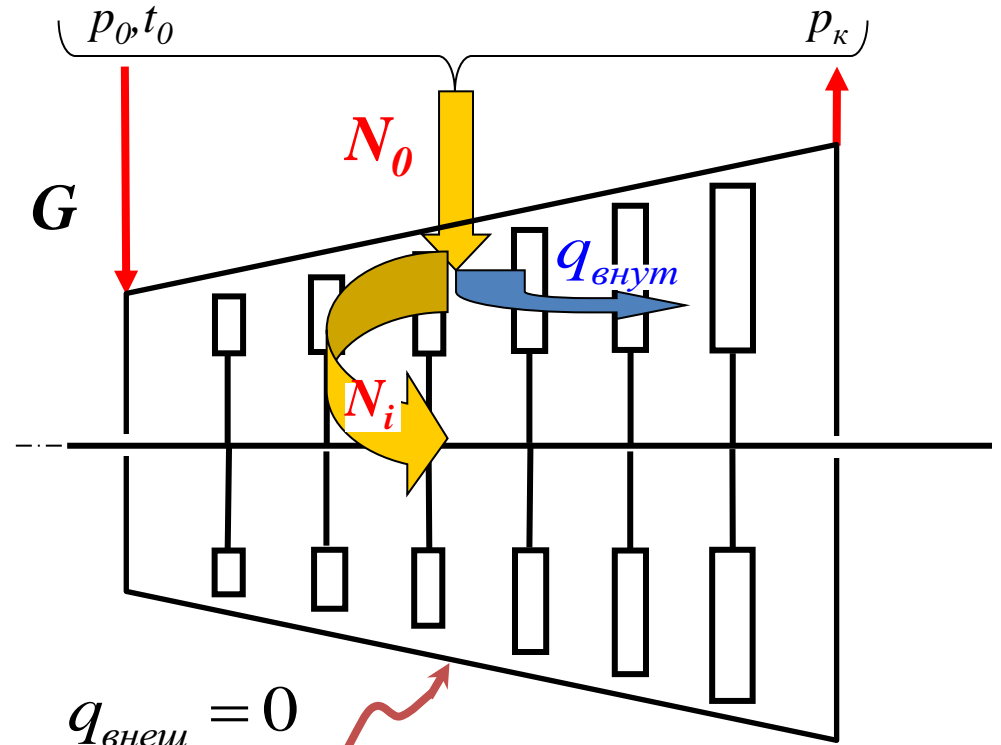
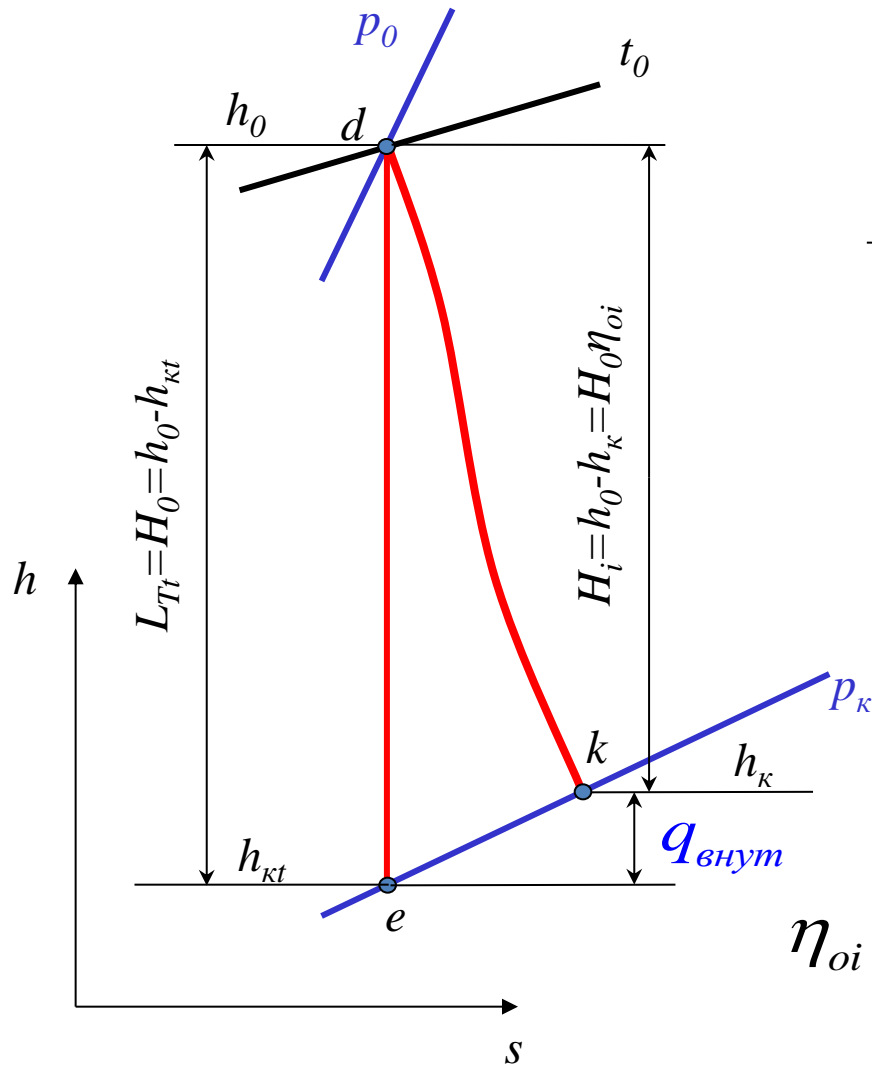
# 1. ТЕПЛОВАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ КЭС

характеризуется

- КПД
- удельным расходом теплоты
- удельным расходом пара
- удельным расходом топлива



# • Мощности и КПД турбины

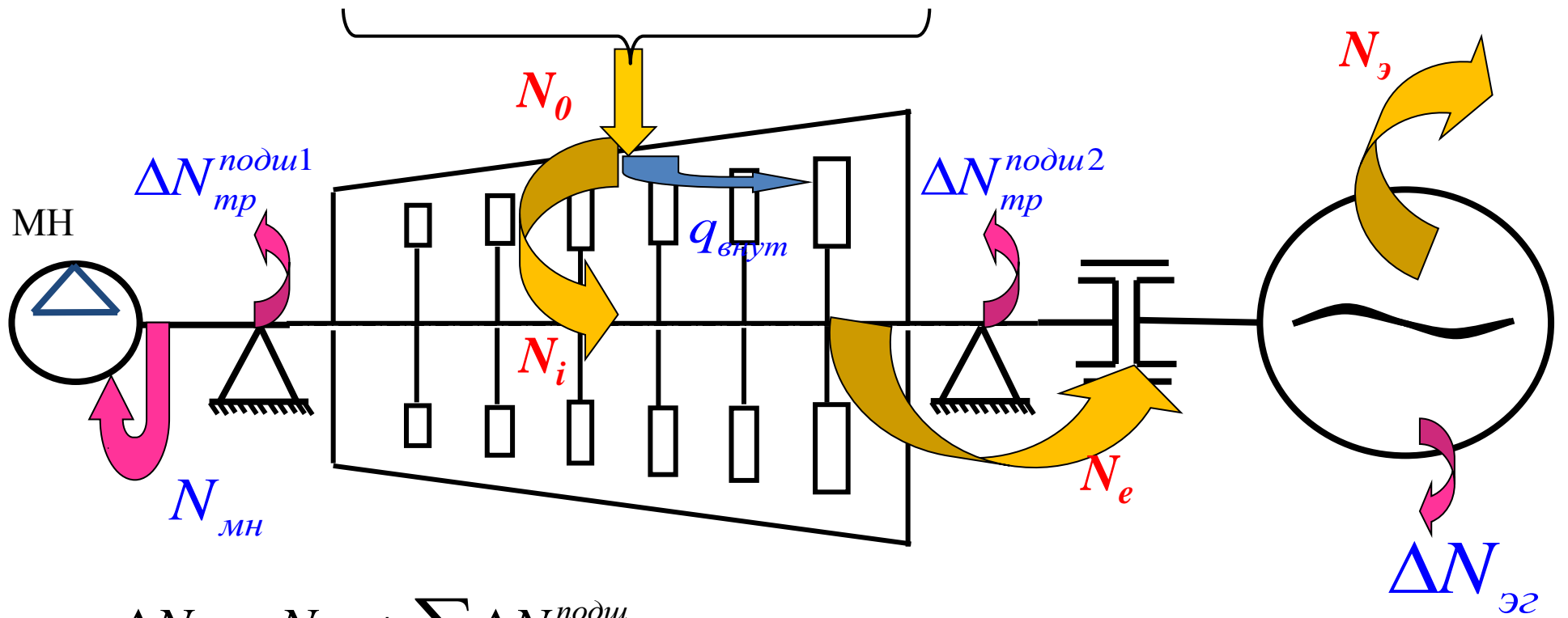


$N_0 = GH_0$  - располагаемая мощность  
 (мощность идеальной турбины)

$$N_i = GH_i$$

$$\eta_{oi} = \frac{N_i}{N_0} = \frac{H_i}{H_0}$$

- относительный внутренний КПД турбины.



$$\Delta N_m = N_{MH} + \sum \Delta N_{тр}^{подш1}$$

$$N_e = N_i - \Delta N_m$$

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = 1 - \frac{\Delta N_m}{N_i}$$

$$N_3 = N_e - \Delta N_{эз}$$

$$\eta_{эз} = \frac{N_3}{N_e} = 1 - \frac{\Delta N_{эз}}{N_e}$$

# Преобразование мощности в турбине

## 1. Теоретическая мощность

(идеальной турбины), кВт

$$N_0 = G_0 \cdot H_0$$

$G_0$  - расход пара на турбину, кг/с

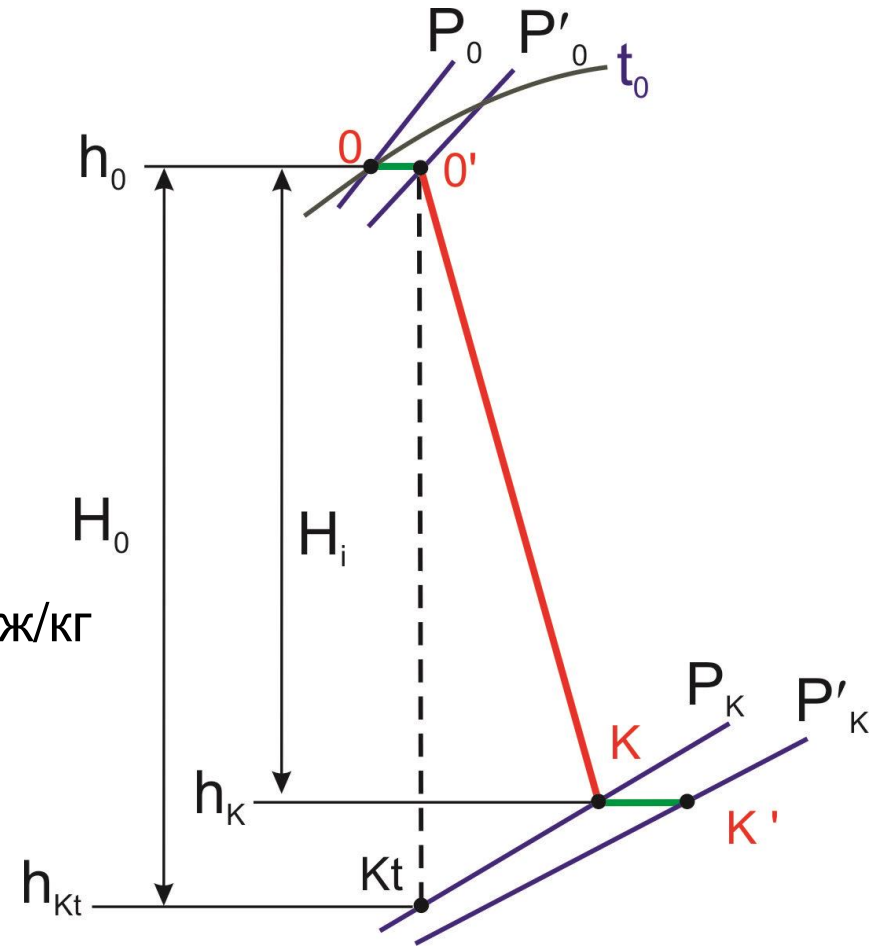
$H_0 = h_0 - h_{Kt}$  - располагаемый (теоретический) т/перепад, кДж/кг

## 2. Действительная (внутренняя)

мощность турбины, кВт

$$N_i = G_0 \cdot H_i$$

$H_i = H_0 \cdot \eta_{oi}$  - действительный т/перепад, кДж/кг



Процесс расширения пара в турбине без отборов

### **3. Эффективная мощность**

(на валу турбины), кВт

$$N_E = N_i \cdot \eta_M$$

$\eta_M$  - механический КПД (оценивает потери на трение в подшипниках)

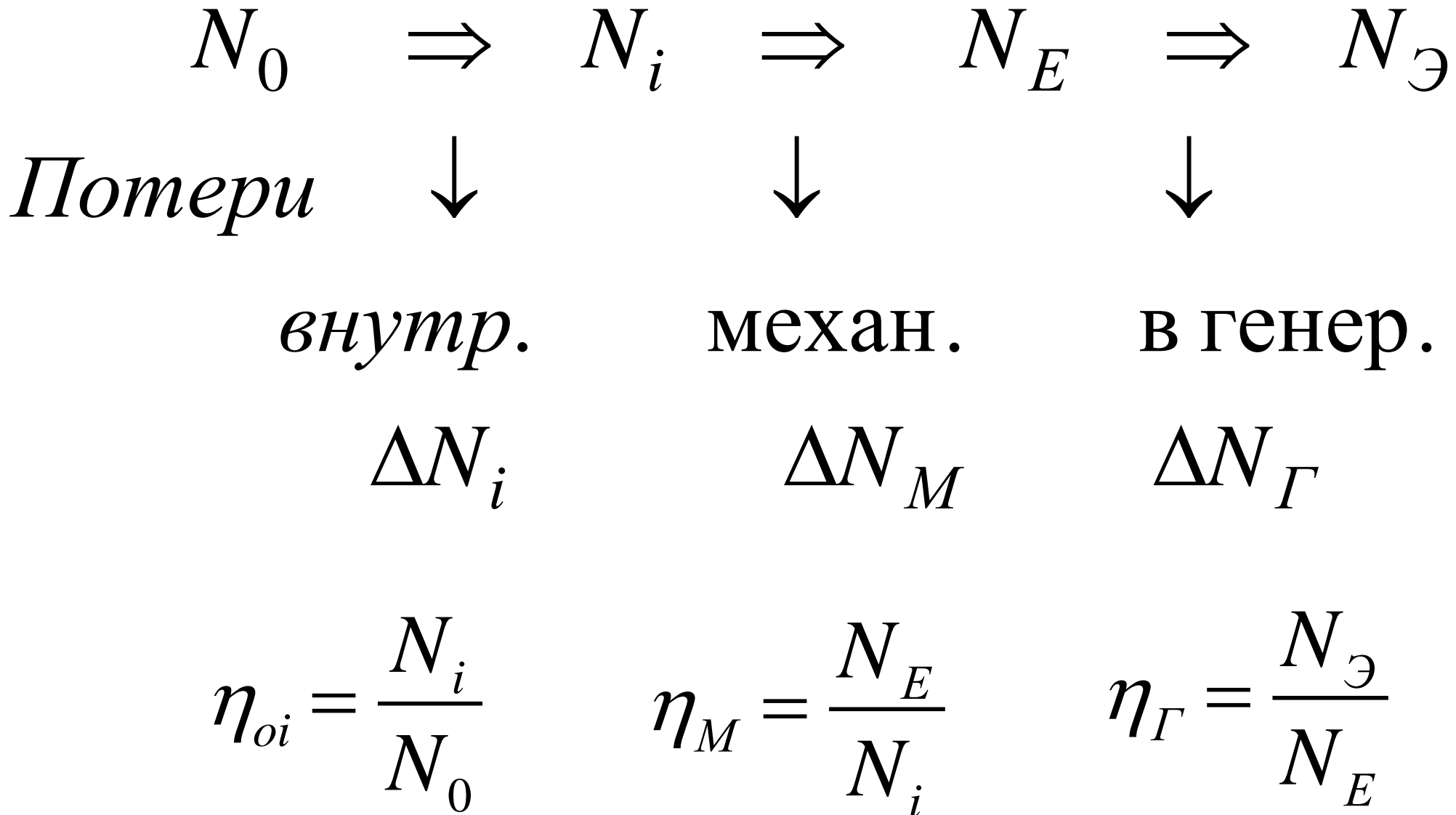
### **4. Электрическая мощность**

(на валу генератора), кВт

$$N_{\text{Э}} = N_E \cdot \eta_G$$

$\eta_G$  - КПД генератора

# Потери мощности в турбине





# Термический КПД

- оценивает эффективность идеального цикла

$$\eta_t = \frac{l_0}{q_0}$$

$l_0 = H_0$  - теоретическая работа 1 кг пара в турбине, кДж/кг

$q_0 = h_0 - h_{ПВ}$  - теплота топлива, подведенная в цикле к 1 кг рабочего тела, кДж/кг

$h_{ПВ}$  - энтальпия воды на входе в котел (ПГ), кДж/кг

$$\eta_t = \frac{l_0}{q_0} = \frac{l_0 \cdot G_0}{q_0 \cdot G_0} = \frac{N_0}{Q_{ТУ}} \qquad \eta_t = \frac{N_0}{Q_{ТУ}}$$

$Q_{ТУ} = G_0 \cdot (h_0 - h_{ПВ})$  - теплота топлива, подведенная в цикле ко всему рабочему телу, кВт

$G_0, \text{кг} / \text{с}$

## Абсолютный внутренний КПД турбоустановки

- оценивает эффективность *реального цикла* с учетом внутренних потерь в турбине

$$\eta_i = \frac{N_i}{Q_{TY}} = \frac{N_i \cdot N_0}{Q_{TY} \cdot N_0} = \eta_t \cdot \eta_{0i}$$

**Абсолютный эффективный КПД ТУ–**  
оценивает эффективность *реального цикла* с  
учетом *внутренних* и *механических* потерь в  
турбине

$$\eta_e = \frac{N_e}{Q_{ТУ}} = \frac{N_e \cdot N_0 \cdot N_i}{Q_{ТУ} \cdot N_0 \cdot N_i} = \eta_t \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_M$$

## Абсолютный электрический КПД ТУ–

оценивает эффективность цикла ПТУ с учетом  
внутренних потерь в турбине,  
механических потерь в подшипниках и  
электрических потерь в генераторе эл. тока

$$\eta_{\text{Э}} = \frac{N_{\text{Э}}}{Q_{\text{ТУ}}} = \frac{N_{\text{Э}} \cdot N_e \cdot N_i \cdot N_0}{Q_{\text{ТУ}} \cdot N_e \cdot N_i \cdot N_0} = \eta_t \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}$$

$$\eta_{\text{Э}} = \eta_{\text{ТУ}} = \eta_t \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}$$

## Мощности и КПД турбины и турбинной установки

Наименование КПД	Относительный КПД	Абсолютный КПД	Мощность
<i>Идеальной турбины</i>	1	$\eta_t = \frac{H_0}{q_{ТУ}} = \frac{h_0 - h_{кт}}{h_0 - h_{нв}}$	$N_0 = GH_0$
<i>Внутренний</i>	$\eta_{oi} = \frac{N_i}{N_0} = \frac{H_i}{H_0}$	$\eta_i = \frac{N_i}{Q_{ТУ}} = \eta_t \eta_{oi}$	$N_i = GH_i = N_0 \eta_{oi}$
<i>Эффективный</i>	$\eta_{oe} = \frac{N_e}{N_0} = \eta_{oi} \eta_m$	$\eta_e = \frac{N_e}{Q_{ТУ}} = \eta_t \eta_{oe}$	$N_e = GH_i \eta_m = N_0 \eta_{oe}$
<i>Электрический</i>	$\eta_{oэ} = \frac{N_{э}}{N_0} = \eta_{oi} \eta_m \eta_{э2}$	$\eta_{э} = \frac{N_{э}}{Q_{ТУ}} = \eta_t \eta_{oэ}$	$N_{э} = GH_0 \eta_{oi} \eta_m \eta_{э2} = N_0 \eta_{oэ}$

## Характерные значения КПД современных турбоагрегатов

- $\eta_{0i}$  относит. внутренний 85 – 90 %
- $\eta_M$  механический 98 – 99 %
- $\eta_G$  генератора  
97 – 98 % (при воздуш. охлаждении)  
98 – 99 % (при водор. охлаждении)

# КПД электростанции (блока)

оценивает эффективность всего процесса преобразования энергии топлива в электрическую энергию.

$$\eta_{\text{СТ}} = \frac{N_{\text{Э}}}{Q_{\text{СТ}}}$$

Существуют два вида КПД электростанции (блока):

- КПД станции **БРУТТО**
- КПД станции **НЕТТО**

$$Q_{\text{СТ}} = B \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{P}}, \text{ кВт}$$

$B$  - расход топлива, кг/с

$Q_{\text{Н}}^{\text{P}}$  - низшая рабочая теплота сгорания топлива, кДж/кг

# КПД ТЭС

При определении КПД ТЭС учитываются потери теплоты и энергии:

- в котлоагрегате  $\eta_K$
- в трубопроводах  $\eta_{тр}$
- в турбоустановке  $\eta_{\text{Э}}$



# Преобразование теплоты топлива

*Тепло топлива*    *Тепл. нагрузка ПГ*    *Тепл. нагрузка ТУ*

$$Q_{СТ} \Rightarrow Q_K \Rightarrow Q_{ТУ}$$

*Потери*



*при сжигании*

*на транспорт*

*топлива в КА*

*в трубопроводах*

$$\Delta Q_K$$

$$\Delta Q_{TP}$$

**КПД котлоагрегата**

$$\eta_K = \frac{Q_K}{Q_{СТ}}$$

**КПД трубопроводов**

$$\eta_{TP} = \frac{Q_0}{Q_K}$$

$$\eta_{CT} = \eta_K \cdot \eta_{TP} \cdot \eta_{\text{Э}}$$

$$\eta_K \approx 0,85 - 0,93$$

$$\eta_{TP} \approx 0,98 - 0,99$$

$$\eta_{CT} = \frac{N_{\text{Э}}}{Q_{CT}} = \frac{N_{\text{Э}} \cdot Q_K \cdot Q_{TY}}{Q_{CT} \cdot Q_K \cdot Q_{TY}}$$

# КПД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ нетто

$$\eta_{\text{СТ}}^{\text{Н}} = \frac{N_{\text{Э}} - \Delta N_{\text{СН}}}{Q_{\text{СТ}}}$$

$$\beta_{\text{СН}} = \frac{\Delta N_{\text{СН}}}{N_{\text{Э}}} \approx (0,05 \div 0,10)$$

$$\eta_{\text{СТ}}^{\text{Н}} = \eta_{\text{СТ}} \cdot (1 - \beta_{\text{СН}})$$

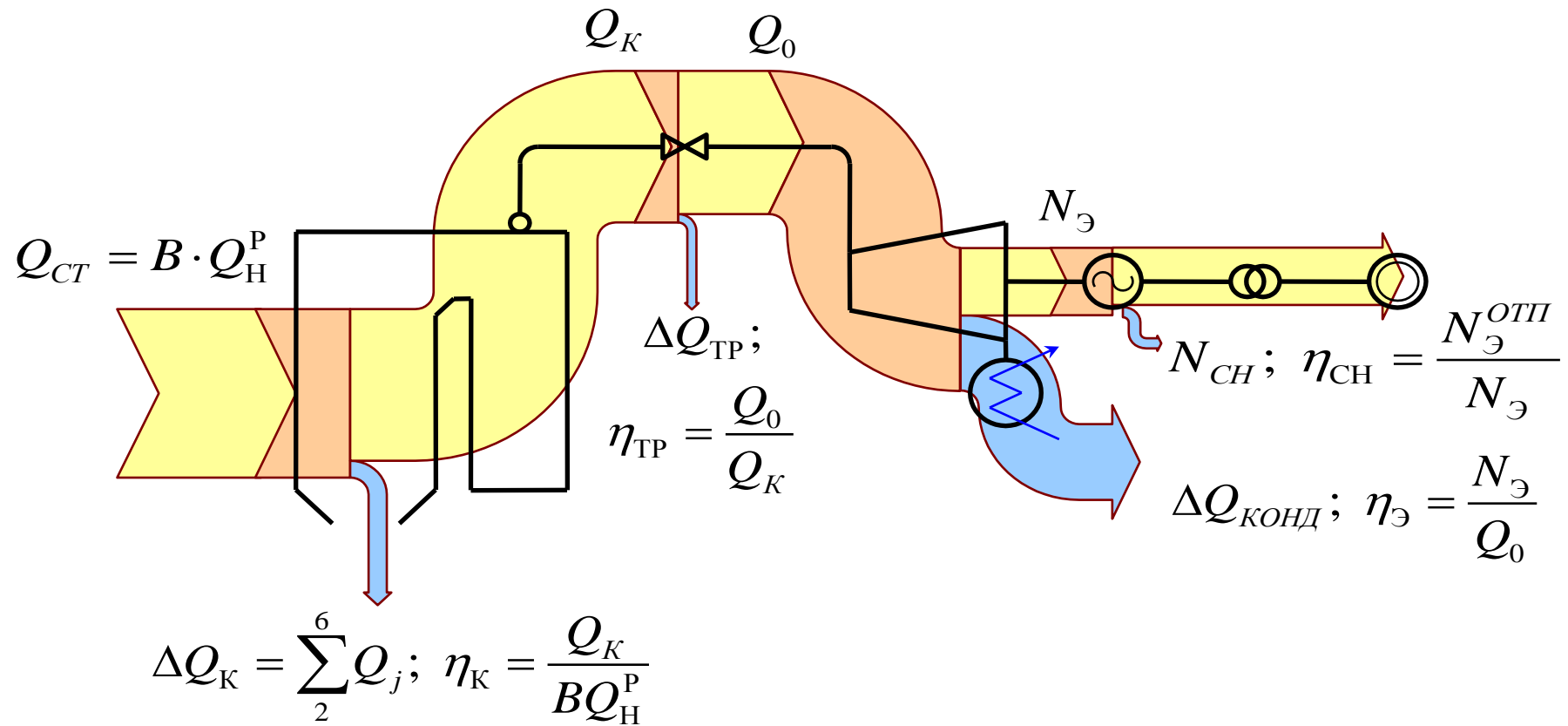
$\Delta N_{\text{СН}}$  - мощность, затрачиваемая на СН станции

$\beta_{\text{СН}}$  - доля эл. мощности, расходуемая на СН

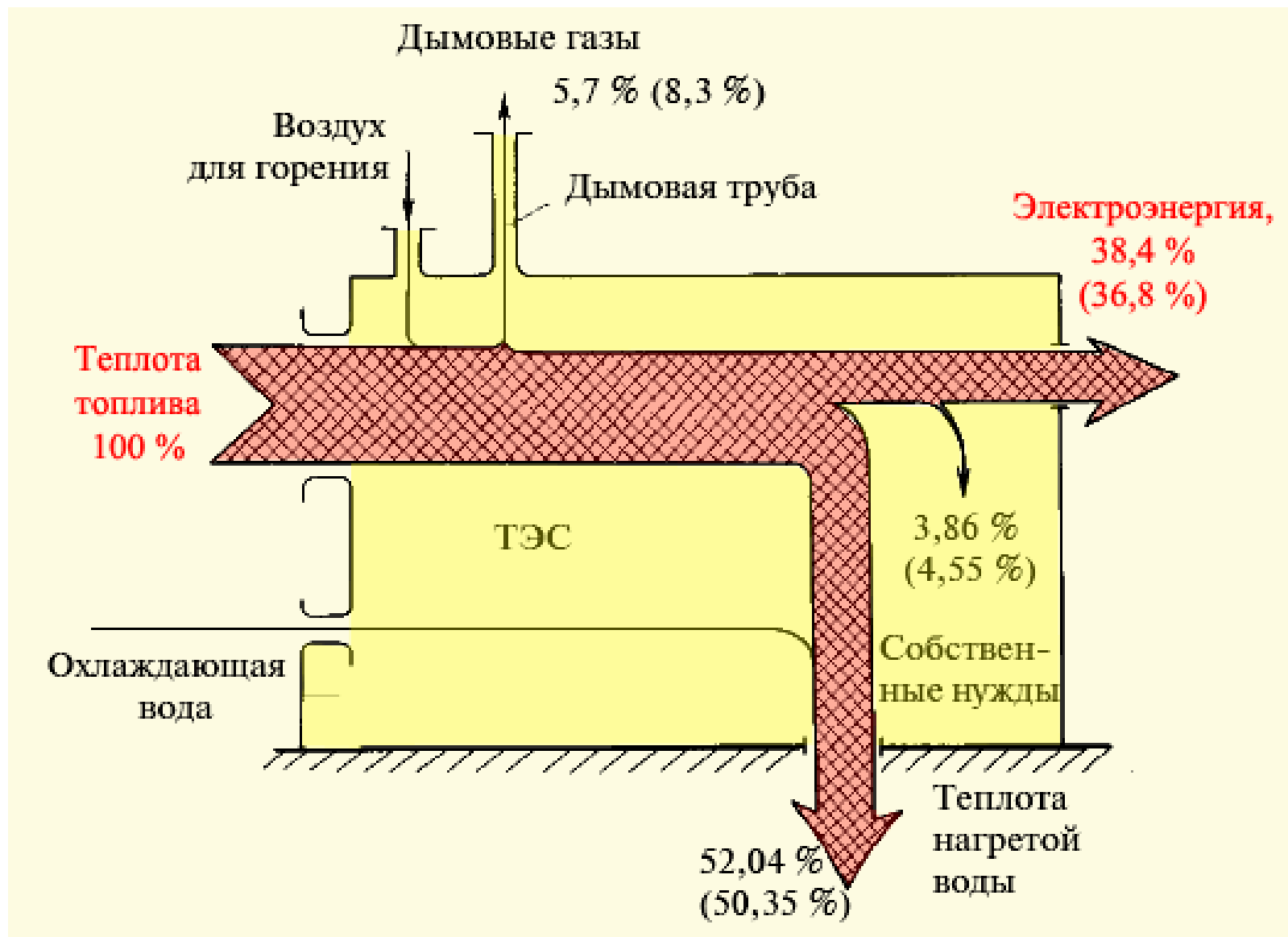
## Расход электроэнергии на СН электростанции

- привод питательного и других насосов (конденсатные, дренажные и др.)
- общестанционные механизмы (дымососы, вентиляторы и пр.)
- электронагреватели, контрольно-измерительные приборы и аппараты (КИПиА), приводы арматуры и т.п.

# Схема энергобалансов (для КЭС)



# Тепловой баланс газомазутной и пылеугольной (в скобках) ТЭС



# Удельный расход теплоты (брутто) на турбоустановку

В системе СИ удельный расход теплоты измеряется в единицах:

$$\frac{\text{кВт теплоты на турбоустановку}}{\text{кВт электрической мощности}} = \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}} = 1$$

$$q_T = \frac{1}{\eta_{\text{Э}}}$$

# Удельный расход пара на ТЭС

В системе СИ удельный расход пара измеряется в единицах

$$\frac{\text{кг/ч пара}}{\text{кВт электрической мощности}} = \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$d_0 = \frac{D_0}{N_{\text{э}}}$$



# Удельный расход топлива

## По выработке электроэнергии

$B_{\Sigma}$  – расход топлива за период, кг

$$b_{\Sigma}^{\text{бр}} = \frac{B_{\Sigma}}{\mathcal{E}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right]$$

$B$  – часовой расход топлива,  $\left[ \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right]$

$$b_{\mathcal{E}}^{\text{бр}} = \frac{B}{N_{\mathcal{E}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right]$$

## По отпуску электроэнергии

$$b_{\mathcal{E}}^{\text{нетто}} = \frac{B}{N_{\mathcal{E}} - \Delta N_{\text{CH}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right]$$

## Удельный расход топлива по выработке ЭЭ

$$b_{\text{Э}}^{\text{бр}} = \frac{B}{N_{\text{Э}}} = \frac{B}{Q_{\text{ст}} \cdot \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}} = \frac{B}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot B \cdot \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}} = \frac{1}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кДж}} \right] = \left[ \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кДж}}{\text{с}} \cdot \text{с}} \right]$$

$$b_{\text{Э}}^{\text{бр}} = \frac{3600}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad \left[ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$$

## Удельный расход топлива по отпуску ЭЭ

$$b_{\text{Э}}^{\text{нетто}} = \frac{3600}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ст}}^{\text{нетто}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

## Условное топливо

Это некое топливо с теплотворной способностью **7000** ккал/кг (29308 кДж/кг).

Термин вводится для сравнения между собой по показателям тепловой экономичности различных электростанций.

$$B_{\text{усл}} \cdot Q_{\text{н усл}}^p = B_{\text{нат}} \cdot Q_{\text{н нат}}^p$$

# Удельный расход **условного** топлива

По выработке электроэнергии

$$b_{\text{Эу}}^{\text{бр}} = \frac{3600}{Q_{\text{н у}}^p \cdot \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}} = \frac{3600}{29330 \cdot \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

$$b_{\text{Эу}}^{\text{бр}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

По отпуску электроэнергии (нетто)

$$b_{\text{Эу}}^{\text{нетто}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{ст}}^{\text{нетто}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

# Методы повышения тепловой экономичности паротурбинных установок

$$\eta_{\text{э}} = \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{эз}}$$

## А. Термодинамические методы.

Направлены на увеличение  $\eta_t$ . Однако они влияют и на  $\eta_{oi}$ .

- Повышение начальных параметров.
- Понижение конечного давления.
- Применение промежуточного перегрева и сепарации влаги.
- Применение регенеративного подогрева питательной воды.

Комбинированное производство электроэнергии и теплоты.

## Б. Конструктивные методы.

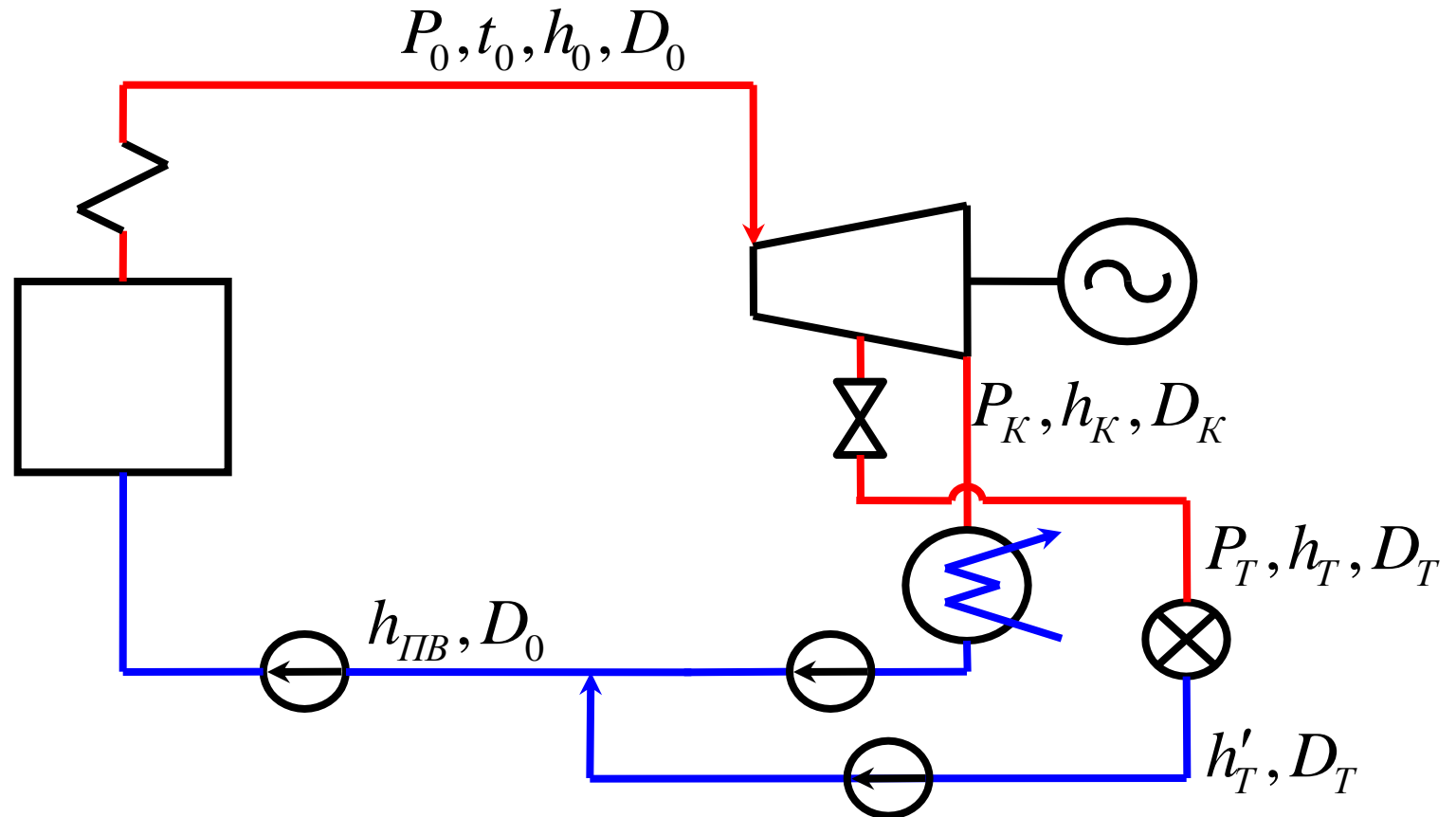
Направлены на увеличение  $\eta_{oi}$ ,  $\eta_m$ ,  $\eta_{\text{эз}}$ .

## 2. ТЕПЛОВАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ТЭЦ

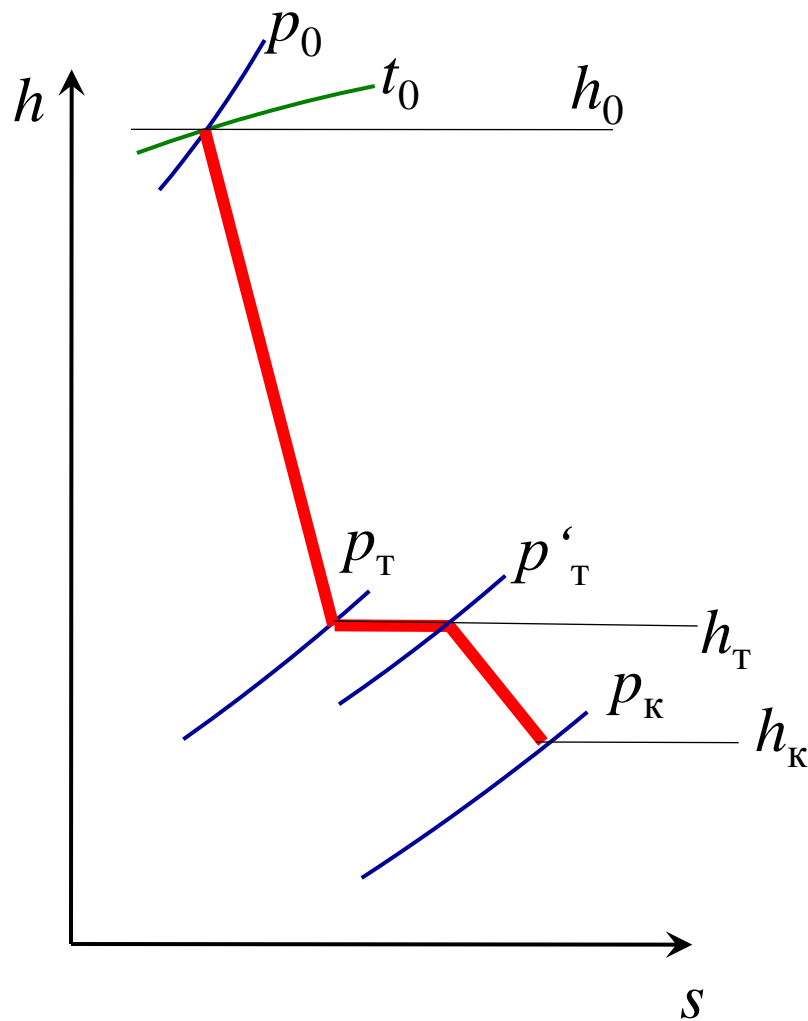
характеризуется:

- показателями тепловой экономичности ***по производству и отпуску электроэнергии***
- показателями ***по отпуску теплоты*** тепловым потребителям

# Схема паротурбинной установки с отпуском тепла потребителю



# Процесс расширения пара в турбине с регулируемым отбором в $h,s$ - диаграмме





# 1). Расход пара на турбину

$$D_0 = D_K + D_T, \left[ \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$$

$D_T, \left[ \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$  - расход пара из отбора (к тепловому потребителю)

$D_K$  - расход пара в конденсатор

## 2). Мощность т/ф турбины

По отсекам

$$N_{\text{Э}} = \left[ D_0 \cdot (h_0 - h_T) + (D_0 - D_T) \cdot (h_T - h_K) \right] \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}$$

По потокам

$$N_{\text{Э}} = \left[ D_T \cdot (h_0 - h_T) + D_K \cdot (h_0 - h_K) \right] \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}$$

# Сравнение расхода острого пара на т/ф и конд. турбины

$$N_{\text{Э}} = \left[ D_0 \cdot (h_0 - h_K) - D_T \cdot (h_T - h_K) \right] \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}$$

$$D_0 = \frac{\left[ \frac{N_{\text{Э}}}{\eta_M \cdot \eta_{\Gamma}} + D_T \cdot (h_T - h_K) \right]}{h_0 - h_K} = \frac{N_{\text{Э}}}{H_i \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}} + D_T \cdot \frac{(h_T - h_K)}{h_0 - h_K}$$

$$\frac{N_{\text{Э}}}{H_i \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}} = D_0^{\text{К}} \quad Y_T = \frac{h_T - h_K}{h_0 - h_K}$$

$D_0^{\text{К}}$  - расход пара на конденсационную турбину такой же мощности

$Y_T$  - коэффициент недовыработки мощности паром регулируемого отбора  $D_T$

Сравнение расхода острого пара на т/ф и  
конд. турбины

$$D_0^T = D_0^K + Y_T \cdot D_T, \left[ \frac{K\mathcal{Z}}{c} \right]$$

Для выработки одной и той же эл. мощности  $N_{\mathcal{E}}$  на теплофикационной турбине с отбором потребителю  $D_T$  требуется **большой (!!! )** расход пара  $D_0^T$ , чем на конденсационную  $D_0^K$

$$D_0^T > D_0^K$$

### 3). Расход теплоты на турбину

Теплота рабочего тела, поступившая в турбоустановку

$$Q_0 = D_0 \cdot (h_0 - h_{\text{ПВ}}), [\text{кВт}]$$

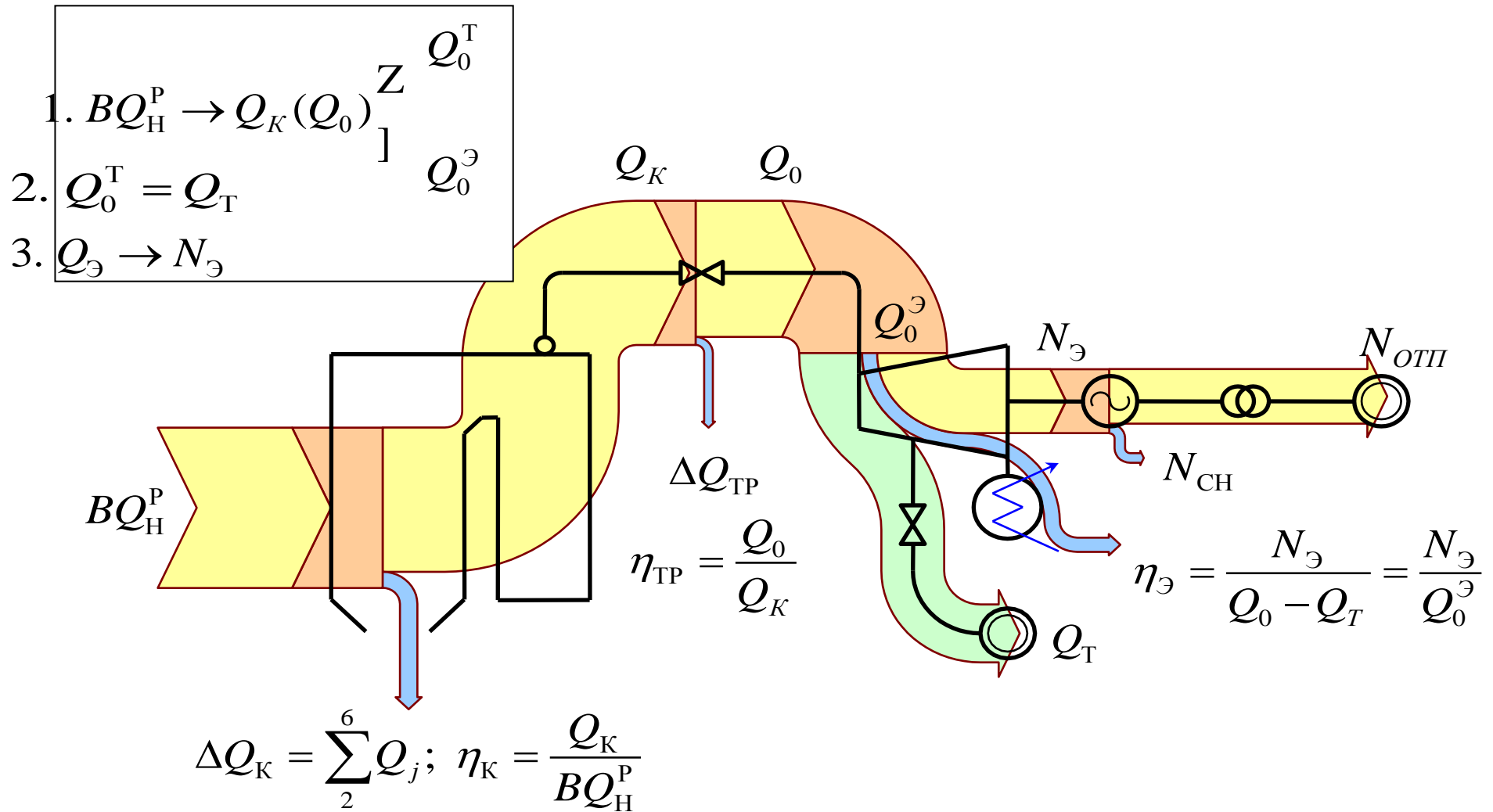
Теплота, отпускаемая из теплофикационного отбора внешнему потребителю

$$Q_T = D_T \cdot (h_T - h'_T), [\text{кВт}]$$

Теплота на выработку электроэнергии, кВт

$$Q_0^{\text{Э}} = Q_0 - Q_T$$

# Схема энергобалансов (для ТЭЦ)



## 5). Абсолютный электрический КПД т/ф ТУ

$$\eta_{\text{Э}} = \frac{N_{\text{Э}}}{Q_0 - Q_T} = \frac{N_{\text{Э}}}{Q_0^{\text{Э}}}$$

## 6). КПД станции по выработке ЭЭ

$$\eta_{\text{СТ}}^{\text{бр}} = \eta_{\text{Э}} \cdot \eta_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\text{К}}$$

## 7). КПД станции по отпуску ЭЭ

$$\eta_{\text{СТ}}^{\text{нетто}} = \eta_{\text{СТ}}^{\text{бр}} \cdot (1 - \beta_{\text{СН}})$$

**8). Удельный расход теплоты (брутто)  
на ТУ по выработке ЭЭ**

$$q_T = \frac{Q_0 - Q_T}{N_{\text{Э}}} = \frac{Q_0^{\text{Э}}}{N_{\text{Э}}}$$



## 9). Удельный расход условного топлива

*По выработке электроэнергии*

$$b_{\text{Эу}}^{\text{бр}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{СТ}}^{\text{бр}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

*По отпуску электроэнергии*

$$b_{\text{Эу}}^{\text{нетто}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{СТ}}^{\text{нетто}}}, \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} \right]$$

## 10). КПД ТЭЦ по производству теплоты

$$\eta_{CT}^T = \eta_{КА} \cdot \eta_{TP}$$

## 11). КПД ТЭЦ по отпуску теплоты

$$\eta_{CT}^T = \eta_K \cdot \eta_{TP} \cdot \eta_{ТП}$$

$\eta_{ТП}$  - КПД теплового потока (учитывает потери теплоты при транспорте)

## 12). Удельный расход топлива по отпуску теплоты

$$b_{\text{T}}^{\text{нетто}} = \frac{B_{\text{T}}}{Q_{\text{T}} \cdot \eta_{\text{ТП}}}, \left[ \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{кДж} / \text{с}} \right], \left[ \frac{\text{кг}}{\text{кДж}} \right]$$

Для **условного** топлива

$$b_{\text{T у}}^{\text{нетто}} = \frac{34,121}{\eta_{\text{СТ}}^{\text{T}}} \approx 39,08 \frac{\text{кг}}{\text{ГДж}} \approx 164 \frac{\text{кг}}{\text{Гкал}}$$

### **3. ПОКАЗАТЕЛИ ОБЩЕЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЭС (технико-экономические показатели)**

Общая экономичность ТЭС характеризуется:

- 1. Капитальными затратами на сооружение ТЭС (удельными капитальными затратами)**
- 2. Издержками производства**
- 3. Себестоимостью электрической и тепловой энергии**
- 4. Приведенными затратами**

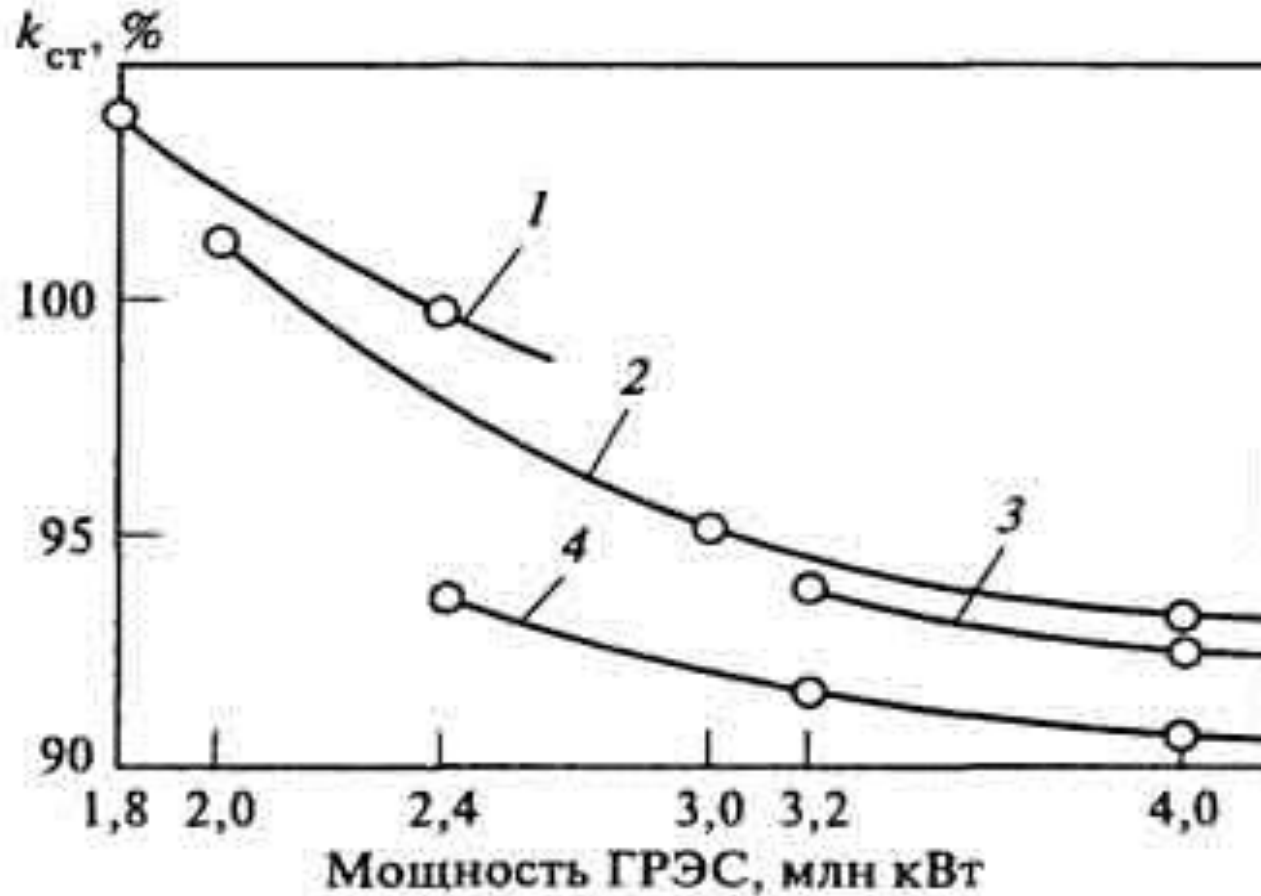
# 1. Капитальные вложения

Капитальные вложения ( К )– сумма средств (руб.), направленных на сооружение объекта

*Инвестиции - средства, вкладываемые с целью получения прибыли*

*Капитальные вложения = капитальные затраты*

# Зависимость удельных капитальных затрат от мощности электростанции



1 - блочные электростанции с турбинами К-300-240;

2 - то же с турбинами К-500-240;

3 - то же с турбинами К-800-240;

4 - то же с турбинами К-1200-240

# Удельные затраты на различные виды электрогенерирующего оборудования в мире 2000–2010 гг , долл. США/кВт

АЭС	1500–2500
ГТУ, дизельные электростанции	325
Комбинированный цикл (ПГУ)	535
ТЭС	1150–1470
Усовершенствованные ТЭС	1350–1600
Котлы с циркулирующим кипящим слоем под давлением	1340–1370
ГЭС большой мощности	1840–2760
ГЭС малой мощности	1150–3450
Приливные электростанции	1840–3680
Волновые установки берегового типа	4800
Геотермальные ТЭС обычного типа	1150–1720
Геотермальные ТЭС бинарного типа	1440–1720
Ветровые электростанции берегового типа	1200
Солнечные электростанции (СЭС)	3220
Установки на биомассе	1700–2760
Когенерационные установки	400–800

## 2. Издержки производства и реализации продукции

$$I = I_{т} + I_{о.тр.} + I_{ам.} + I_{проч.}$$

$I_{т}$  - топливные издержки

$I_{о.тр.}$  - затраты на оплату труда

$I_{ам.}$  - амортизационные отчисления

(на полное восстановление основных производственных средств)

$I_{проч.}$  - прочие издержки



## 1). *Топливные издержки*

$$I_m = B_m \cdot C_m, \text{ руб/год}$$

$B_m$  - годовой расход *условного* топлива, т у. т./год

$C_m$  - цена топлива, руб/ т у.т.

$$B_m = b_{\varepsilon} \cdot N_y \cdot h_y \cdot 10^{-3}, \text{ т у. т.}$$

$b_{\varepsilon}$  - удельный расход *условного* топлива на выработку э/э, кг у.т/кВтч

$N_y$  - установленная мощность ТЭС, кВт

$h_y$  - число часов использования установленной мощности, час

## 2). *Издержки на оплату труда*

**ТЭС**

$$I_{\text{о.тр.}} = n_{\text{шт}} \cdot N_{\text{у}} \cdot \Phi_{\text{год}}, \text{ руб/год}$$

$n_{\text{шт}}$  - штатный коэффициент, чел/МВт

$N_{\text{у}}$  - установленная мощность ТЭС, МВт

$\Phi_{\text{год}}$  - среднегодовой фонд зар. платы одного работника, руб/(челгод)

$$\text{КЭС} \begin{cases} 400 \text{ МВт} \rightarrow n_{\text{шт}} = 0,7 \text{ чел/МВт} \\ 1200 \text{ МВт} \rightarrow n_{\text{шт}} = 0,3 \text{ чел/МВт} \end{cases}$$

$$\text{ТЭЦ} \begin{cases} 200 \text{ МВт} \rightarrow n_{\text{шт}} = 0,9 \text{ чел/МВт} \\ 400 \text{ МВт} \rightarrow n_{\text{шт}} = 0,8 \text{ чел/МВт} \end{cases}$$

## Котельная

$$I_{\text{о.тр.}} = n_{\text{шт}} \cdot Q_y \cdot \Phi_{\text{год}}, \text{ руб/год}$$

$n_{\text{шт}}$  - штатный коэффициент, чел/(МДж/с)

$Q_y$  - установленная тепловая мощность, МДж/с

$\Phi_{\text{год}}$  - среднегодовой фонд зар. платы одного работника, руб/(челгод)

$$\text{Котельная} \begin{cases} 200 \text{ МДж/с} & \rightarrow n_{\text{шт}} = 0,26 \text{ чел/МВт} \\ 400 \text{ МДж/с} & \rightarrow n_{\text{шт}} = 0,09 \text{ чел/МВт} \end{cases}$$

## Теплосети

$$n_{\text{шт}} = 4,5 \cdot \sqrt{F} / Q_p$$

$F$  - площадь района теплоснабжения, м<sup>2</sup>

$Q_p$  - расчетная тепловая нагрузка, чел/(МДж/с)

### 3). Амортизационные издержки

$$I_{ам} = p_a \cdot K, \text{ руб/год}$$

$p_a$  - нормативный коэффициент амортизационных отчислений  
(норма амортизации), % первоначальной стоимости

Котлоагрегаты -  $p_a = (8-9) \%$

Паровые турбоагрегаты -  $p_a = 7 \%$

Вспомогательное силовое  
тепломеханическое оборудование  $p_a = (13-14) \%$

Силовое электротехническое  
оборудование  $p_a = (6) \%$

## 4). Прочие издержки

$I_{\text{проч}}$ , руб/год

- социальные платежи;
- экологические платежи;
- налоги;
- на ремонт;
- плата за воду, сырье, материалы;
- командировочные расходы;
- представительские расходы, на рекламу;
- НИР и ОКР , ...

### *3. Себестоимость продукции*

*Себестоимость электроэнергии*

*Себестоимость тепловой энергии*

## *Себестоимость электроэнергии*

$$C_{\text{эз}} = \frac{I_{\text{год}}^3}{\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{отт}}}, \text{ руб/кВтч}$$

## *Себестоимость тепловой энергии*

$$C_{\text{тв}} = \frac{I_{\text{год}}^{\text{т}}}{Q_{\text{год}}^{\text{отт}}}, \text{ руб/Гкал}$$

$\mathcal{E}_{год}^{отп} = \mathcal{E}_{год} - \mathcal{E}_{сн}$  - годовой отпуск э/э, кВтч

$\mathcal{E}_{год} = N_y \cdot h_y$  - годовая выработка э/э, кВтч

$Q_{год}^{отп} = Q_{год} - Q_{сн}$  - годовой отпуск т/э, Гкал (МДж)

$Q_{год} = Q_y \cdot \tau_{max}$  - годовая выработка т/э, Гкал (МДж)

$\mathcal{E}_{сн}, Q_{сн}$  - расход э/э и теплоты соответственно на собств. нужды (СН)

$Q_y$  - установленная (максимальная) тепловая мощность ТЭС, Гкал/час (МВт)

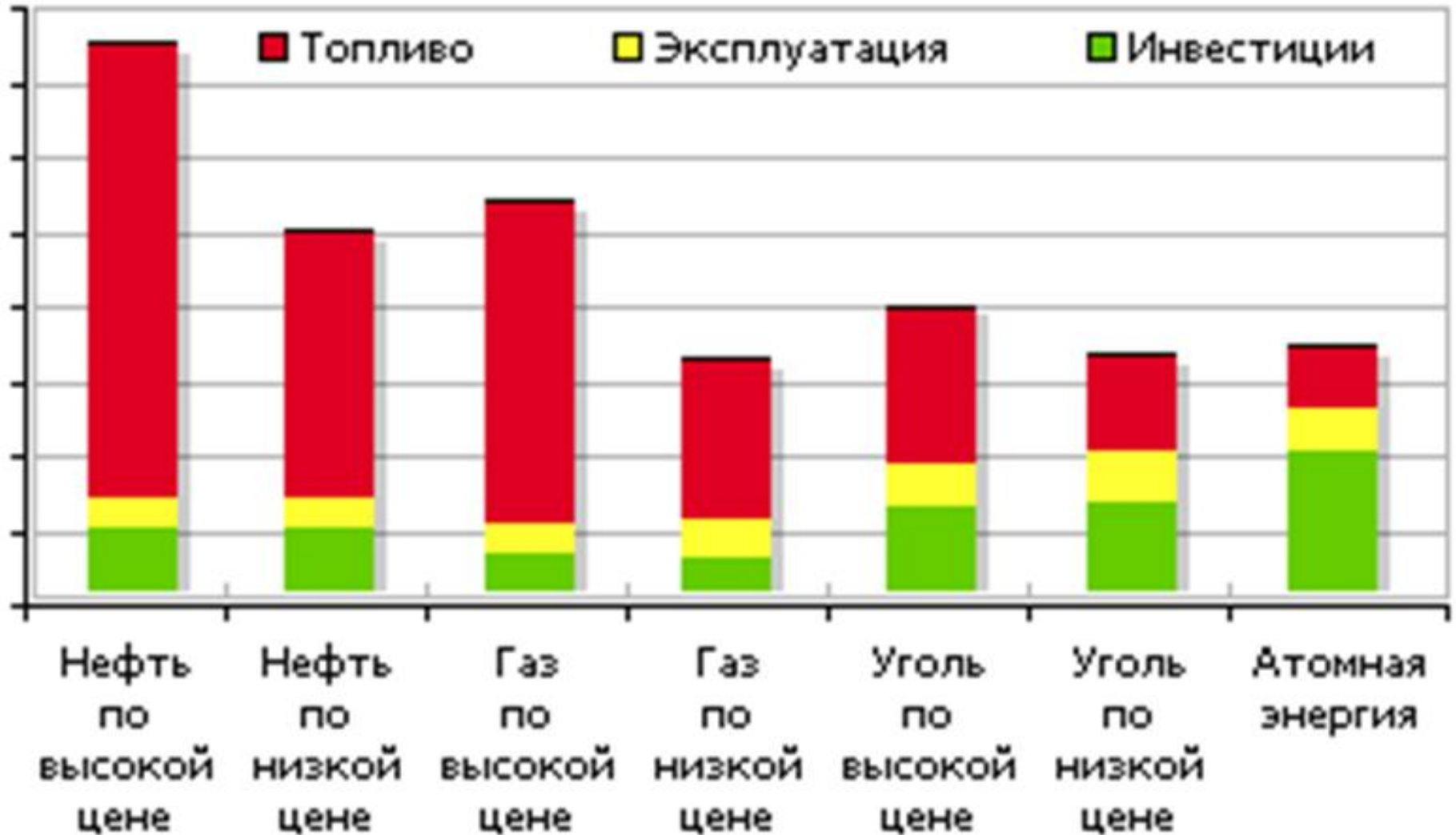
$\tau_{max}$  - число часов в использования максимальной тепловой мощности



## Себестоимость отпуска электроэнергии в мире, цент/(кВт·ч)

<b>Угольная ТЭС</b>	<b>2,4–3,3</b>
<b>Парогазовая установка (ПГУ) на природном газе</b>	<b>1,6–2,55</b>
<b>АЭС с реакторами ВВЭР-1000</b>	<b>1,8–3,24</b>
<b>Когенерационные установки</b>	<b>1,2–2,8</b>

## Составляющие себестоимости отпуска электроэнергии



#### 4. Годовой доход от реализации продукции

$$D = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{отп}} \cdot C_{\text{э}} + Q_{\text{год}}^{\text{отп}} \cdot C_{\text{т}}, \text{ руб}$$

$C_{\text{э}}$  - цена электрической энергии, руб/кВтч

$C_{\text{т}}$  - цена тепловой энергии, руб/Гкал

### ***5. Прибыль балансовая***

$$П_б = D - И, \text{ руб/год}$$

### ***6. Чистая прибыль***

$$П_ч = П_б - Н, \text{ руб/год}$$

***Н*** - налоги

## *7. Срок окупаемости* $T_{OK}$

*- период времени, в течение которого окупаются  
капитальные вложения*

$$T_{OK} = \frac{K}{\Pi_{ч} + И_{ам}}$$

***8. Годовое число часов использования  
установленной мощности электростанции***

$$h_y = \frac{\mathcal{E}_{год}}{N_y}$$

## **9. Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ)**

*КИУМ является показателем интенсивности работы  
электростанции*

$$КИУМ = \frac{\mathcal{E}_{год}}{N_y \cdot h_{год}} \cdot 100, \%$$

$$КИУМ = \frac{\mathcal{E}_{год}}{N_y \cdot h_{год}} = \frac{N_{cp} \cdot h_{год}}{N_y \cdot h_{год}} = \frac{N_{cp}}{N_y}$$

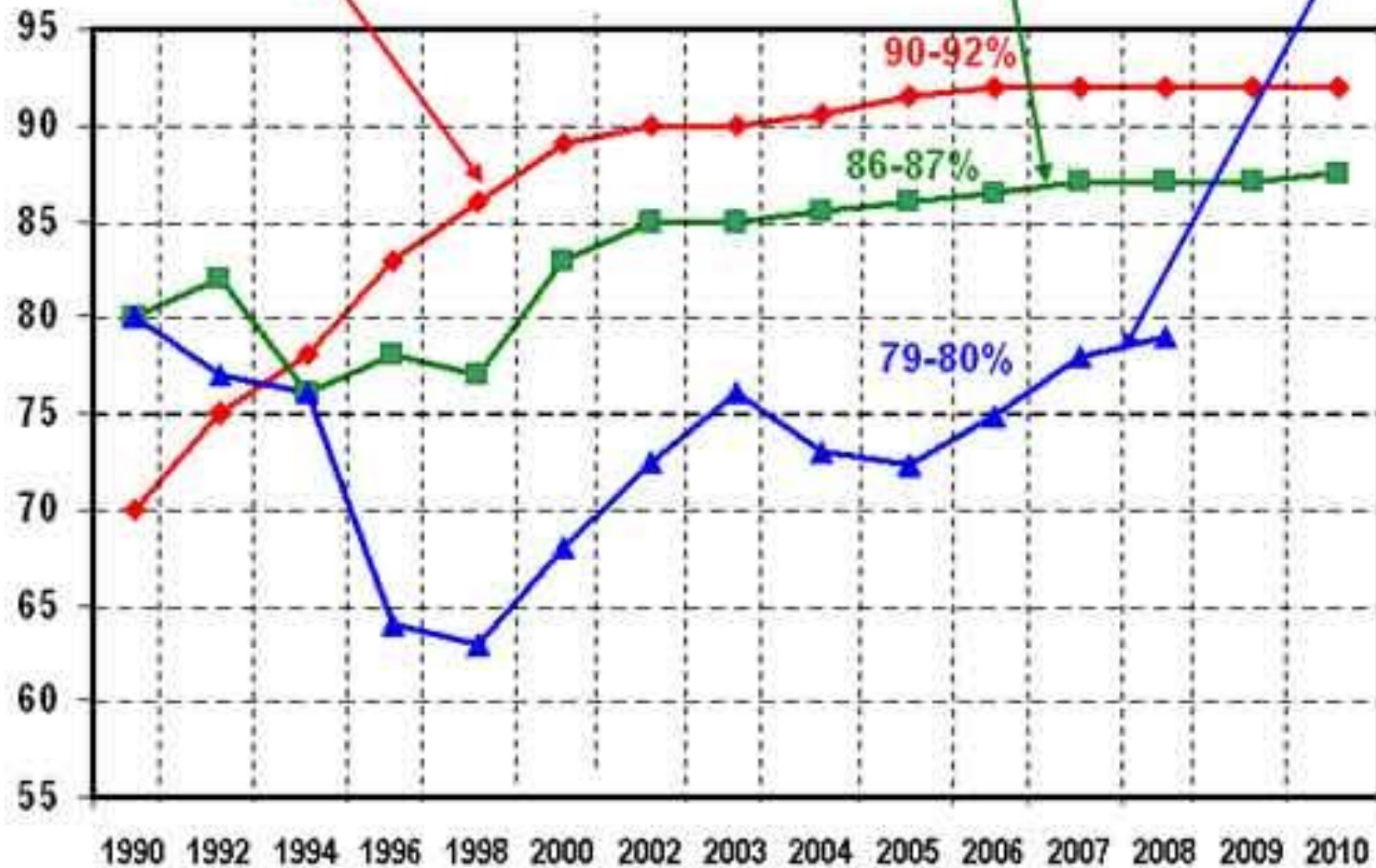
$$h_y = КИУМ \cdot h_{год}$$

США, Германия, Япония, Финляндия, Чешская респ., Южная  
Корея и др. страны

Среднемировой

Россия

КИУМ  
%



КИУМ атомных электростанций



## *Классификация электростанций*

**по продолжительности использования установленной мощности в течение года**

- 1)  $h_y < 1500$  ч – *пиковый режим работы*
- 2)  $3000 \text{ ч} < h_y < 4000$  ч – *полупиковый режим работы*
- 3)  $h_y > 5000$  ч работы – *базовый режим работы*