



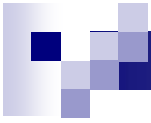
# Атомные электрические станции

## Тема 7. **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИКАЦИИ В ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ**




## Основные вопросы

- Преимущества теплофикационного цикла
- Противодавленческая схема ПТУ
- ПТУ с регулируемым отбором пара
- **Сравнение циклов**
- **Особенности и специфические требования к АТЭЦ**



Около **половины** подведенной теплоты конденсационные ПТУ передают холодному источнику

Использовать эту теплоту невозможно, так как она отводится при температуре, близкой к температуре окружающей среды



Вода после конденсатора турбины с температурой **10÷30 °С** не имеет энергетической ценности

- **Для целей отопления необходимо повысить температуру воды до 80÷180 °С**
  - давление пара, выходящего из турбины - до **0,077-1 МПа**



## Турбины с противодавлением

давление отработавшего пара, отпускаемого потребителю, выше атмосферного



## *Теплофикационный цикл*


теоретически можно полностью использовать подведенную от горячего источника теплоту для одновременного получения работы и теплоты



# ТЕПЛОФИКАЦИЯ

Комбинированная выработка электроэнергии и теплоты на ТЭС и АЭС

Отработавший в турбине (полностью или частично) пар отдает тепло потребителю тепловой энергии



Использование **теплофикационного цикла**  
является **кардинальным** способом повышения  
экономичности





## Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ, АТЭЦ)

Электростанция, реализующая теплофикационный цикл





## Преимущества цикла с *противодавлением*

- ↑ тепловой потенциал отработавшего пара
- ↑ количество теплоты, отдаваемое холодному источнику

Теплота  $q_{\Gamma}$  может быть использована

- для технологических нужд промышленности
- для отопления и других целей



## Недостаток цикла с **противодавлением**

Внутренняя мощность установки

$$N_i = G_{\text{п}} \cdot (h_0 - h_{\text{пт}}) \cdot \eta_{oi}$$

тепловая мощность установки

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{п}} \cdot (h_{\text{пт}} - h'_{\text{п}})$$

пропорциональны расходу пара на турбину, т.е.  
**ЖЕСТКО СВЯЗАНЫ**

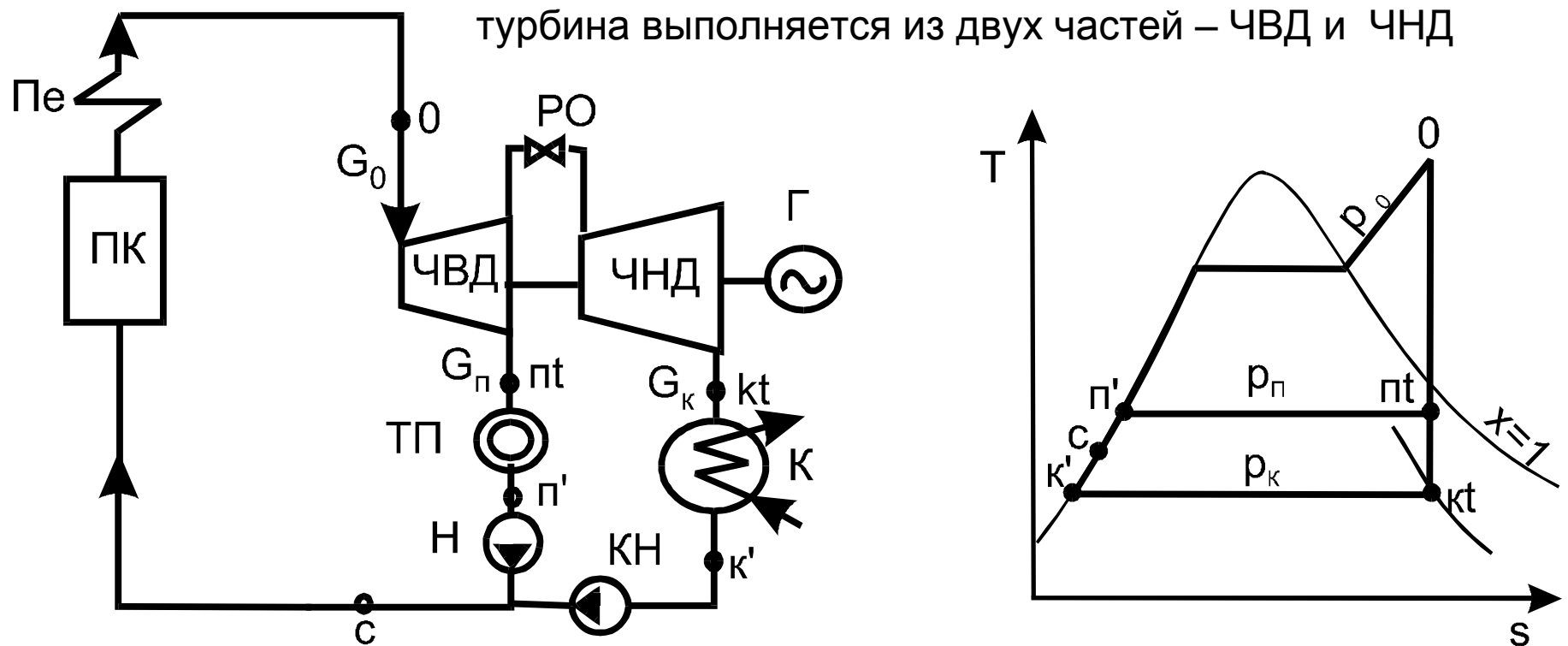
графики потребления электроэнергии и теплоты имеют  
разный характер



## Циклы с **регулируемым отбором пара** для отпуска теплоты потребителю

Отсутствует жесткая связь электрической и тепловой мощностей

## Теплофикационная ПТУ с регулируемым отбором пара



Регулируя соотношение между  $G_p$  и  $G_k$ , можно **независимо** менять как  $Q_p$ , так и  $N_э$



## Регулирование тепловой мощности на АТЭЦ

Плавное за счет регулирования давления пара в отборе



## Коэффициент использования теплоты

Оценивает эффективность теплофикационного цикла

$$\eta_{\text{И}} = \frac{l_{\text{П}} + q_{\text{П}}}{q_1}$$

величина термического КПД теряет свой смысл





В теоретическом цикле  $\eta_{И} = 1$

В действительности  $\eta_{И} = 0,7 \div 0,8$  из-за

1. потерь:

- в котле
- механических
- в электрогенераторе

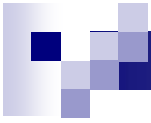
2. расхода энергии на собственные нужды установки



***Удельная выработка электроэнергии на  
тепловом потреблении***

$$\mathfrak{E} = \frac{l_{\text{П}}}{q_{\text{П}}}$$

***самый объективный показатель  
эффективности теплофикации***

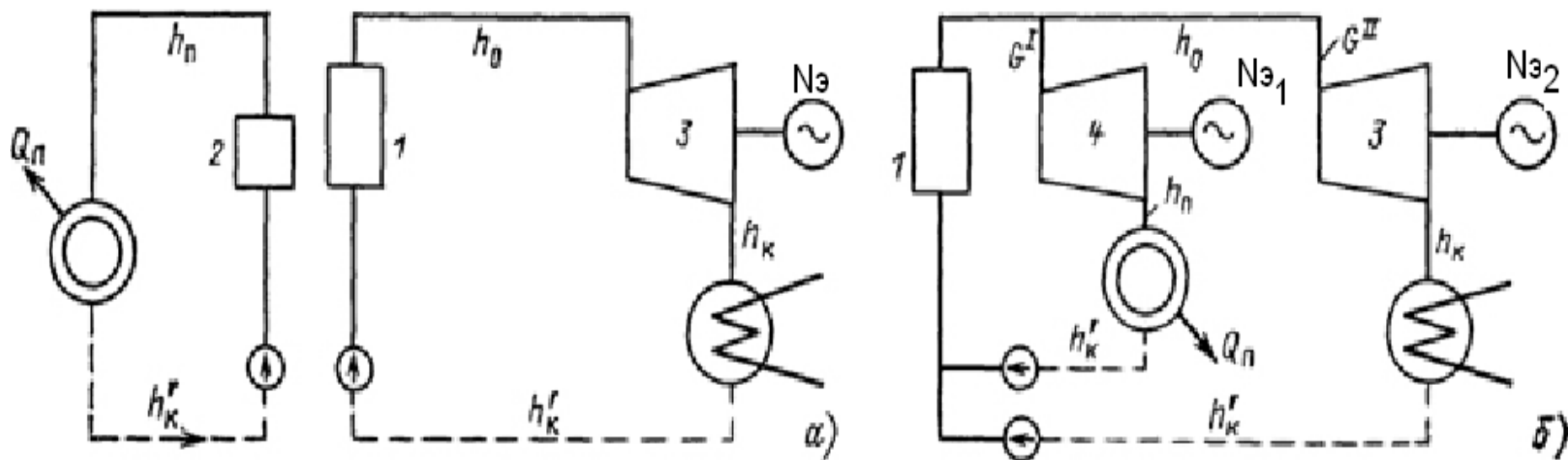


Увеличение  $\varepsilon$  имеет место при

- **повышении начальных параметров цикла**

# Сравнение циклов насыщенного пара для конденсационной турбины и турбины с противодавлением

Критерий - затраты теплоты




**а** - раздельная выработка

**б** - комбинированная выработка

## Расход теплоты при раздельной выработке

$$\begin{aligned} Q^{РАЗД} &= G^{РАЗД} \cdot (h_0 - h'_K) + Q_{II} = \\ &= \frac{N_i}{H_i^{II}} \cdot (h_0 - h'_K) + Q_{II} = \frac{N_i}{\eta_i} + Q_{II} \end{aligned}$$

$G^{РАЗД}$  - расход пара на конденсационной электростанции



**При комбинированной выработке энергии для турбин с противодавлением и конденсационной потребуются расходы пара  $G^I$  и  $G^{II}$  соответственно**

Мощность этих турбин будет

$$N_i = N_i^I + N_i^{II} = G^I \cdot H_i^I + G^{II} \cdot H_i^{II}$$

откуда расход пара через конденсационную турбину

$$G^{II} = \frac{N_i}{H_i^{II}} - G^I \cdot \frac{H_i^I}{H_i^{II}}$$

## Расход теплоты при комбинированной выработке энергии

$$Q^{КОМБ} = (G^I + G^{II}) \cdot (h_0 - h'_K) =$$
$$= \left[ \frac{N_i}{H_i^{II}} + G^I \cdot \left( 1 - \frac{H_i^I}{H_i^{II}} \right) \right] \cdot (h_0 - h'_K)$$

величина  $G^I$  определяется количеством теплоты  $Q_{\Pi}$ , требуемой потребителем

$$G^I = \frac{Q_{\Pi}}{h_{\Pi} - h'_K}$$

$$Q^{КОМБ} = \frac{N_i}{\eta_i} + Q_{\Pi} \cdot \frac{h_0 - h'_K}{h_{\Pi} - h'_K} \cdot \left( 1 - \frac{H_i^I}{H_i^{II}} \right)$$

## Экономия теплоты при комбинированной выработке энергии

$$\Delta Q = Q_{\text{разд}} - Q_{\text{комб}} = Q_{\text{л}} \frac{H_{\text{л}}}{h_{\text{п}} - h_{\text{к}}} \left( \frac{1}{\eta_{\text{л}}} - 1 \right)$$

Комбинированная выработка энергии всегда термодинамически выгодна

Это относится к электростанциям на органическом (ТЭЦ) и ядерном топливе (АТЭЦ)





## Особенности и специфические требования к АТЭЦ


1. Пар и вода не должны содержать радиоактивных примесей
2. Обеспечение допустимого по санитарным нормам расстояния от АТЭЦ до потребителей
3. При перегрузке топлива в реакторе недопустимо прекращение теплоснабжения потребителя

АТЭЦ предпочтительнее ТЭЦ при расчетном отпуске теплоты более 5000-7000 ГДж/ч



## Целесообразен специфический режим работы турбин АТЭЦ

- примерно постоянный наибольший расход свежего пара
- переменная электрическая мощность, зависящая от тепловой нагрузки



Для АТЭЦ может использоваться любой тип реактора

**Одноконтурные** АТЭЦ необходим промежуточный контур по сетевой воде

Предпочтительнее **двухконтурные схемы**

Особенно легко обеспечивается защита на АТЭЦ с **газоохлаждаемыми реакторами**



## Пути повышения эффективности АТЭЦ

- **снижение диаметра труб** за счет
  - уменьшения расхода сетевой воды
  - повышения температуры воды**
  - повышенного давления отбираемого пара



## Комбинированная выработка на **АКЭС**

В конденсационных турбинах - **нерегулируемые отборы** пара для теплового потребителя

Регулирование тепловой мощности - **ступенчатое**



## Пример использования АКЭС для теплофикации

при

- $N_{э} = 1000 \text{ МВт}$
- $Q_{п} = 1500 - 4500 \text{ ГДж/ч}$