

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Тема 2. **ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АЭС**

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ:

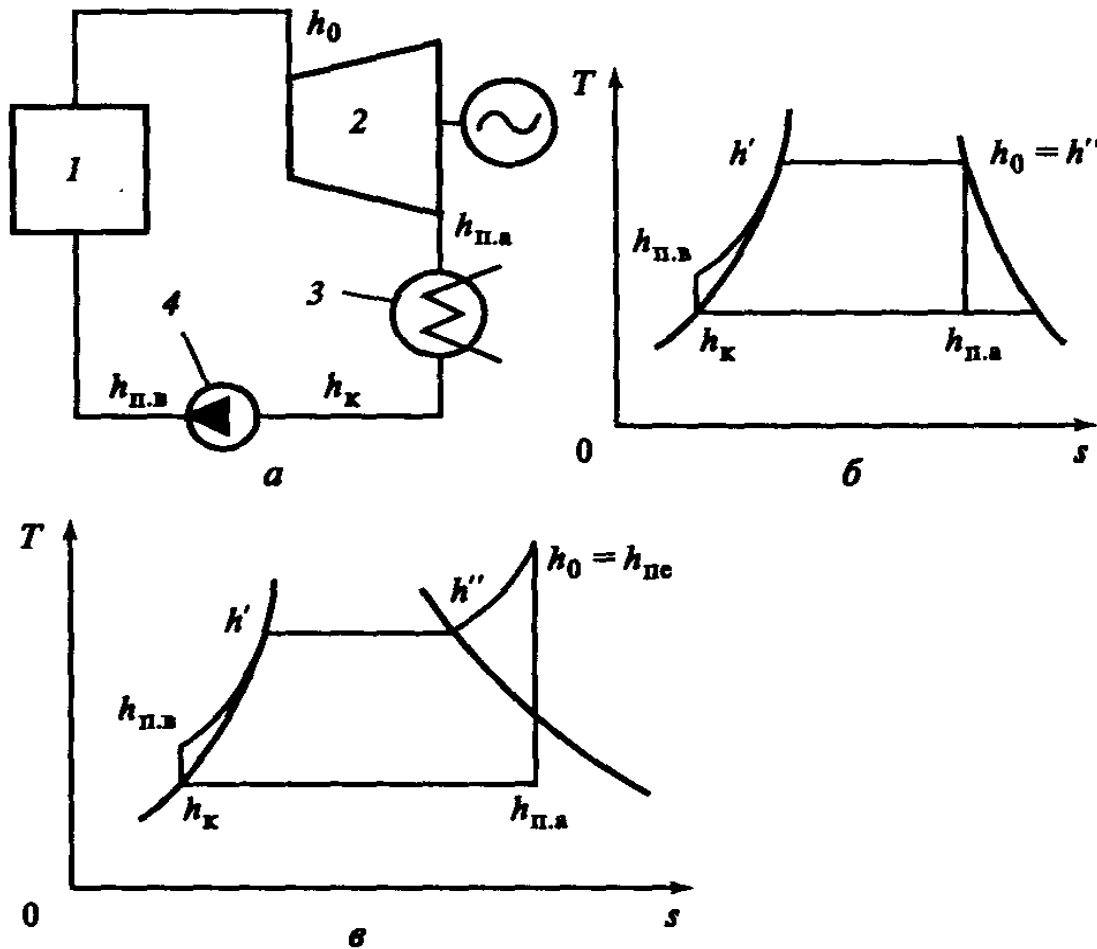
- Тепловая экономичность АКЭС
- Тепловая экономичность АТЭС

ТЕПЛОВАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ АКЭС

характеризуется:

- КПД
- удельным расходом теплоты
- удельным расходом ядерного горючего

Схема простейшей ПТУ, работающей по циклу Ренкина (а)



б — цикл на насыщенном паре;

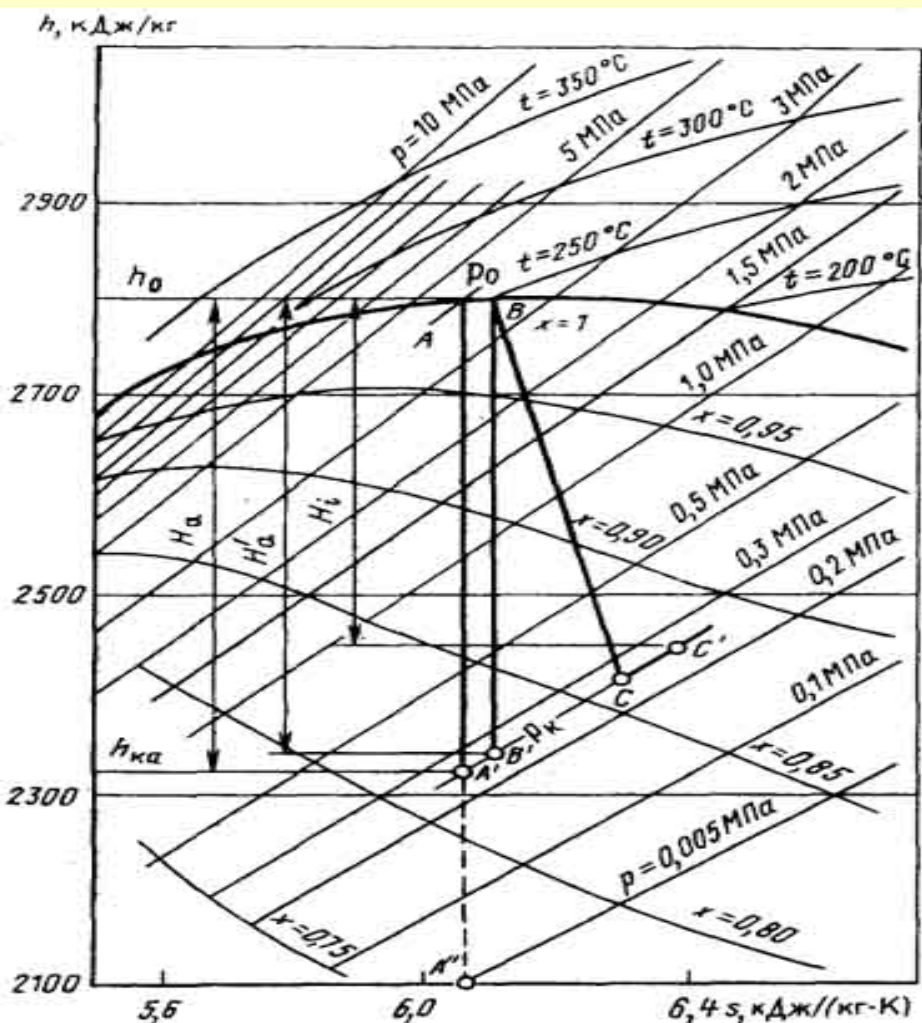
в — цикл на перегретом паре

ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД

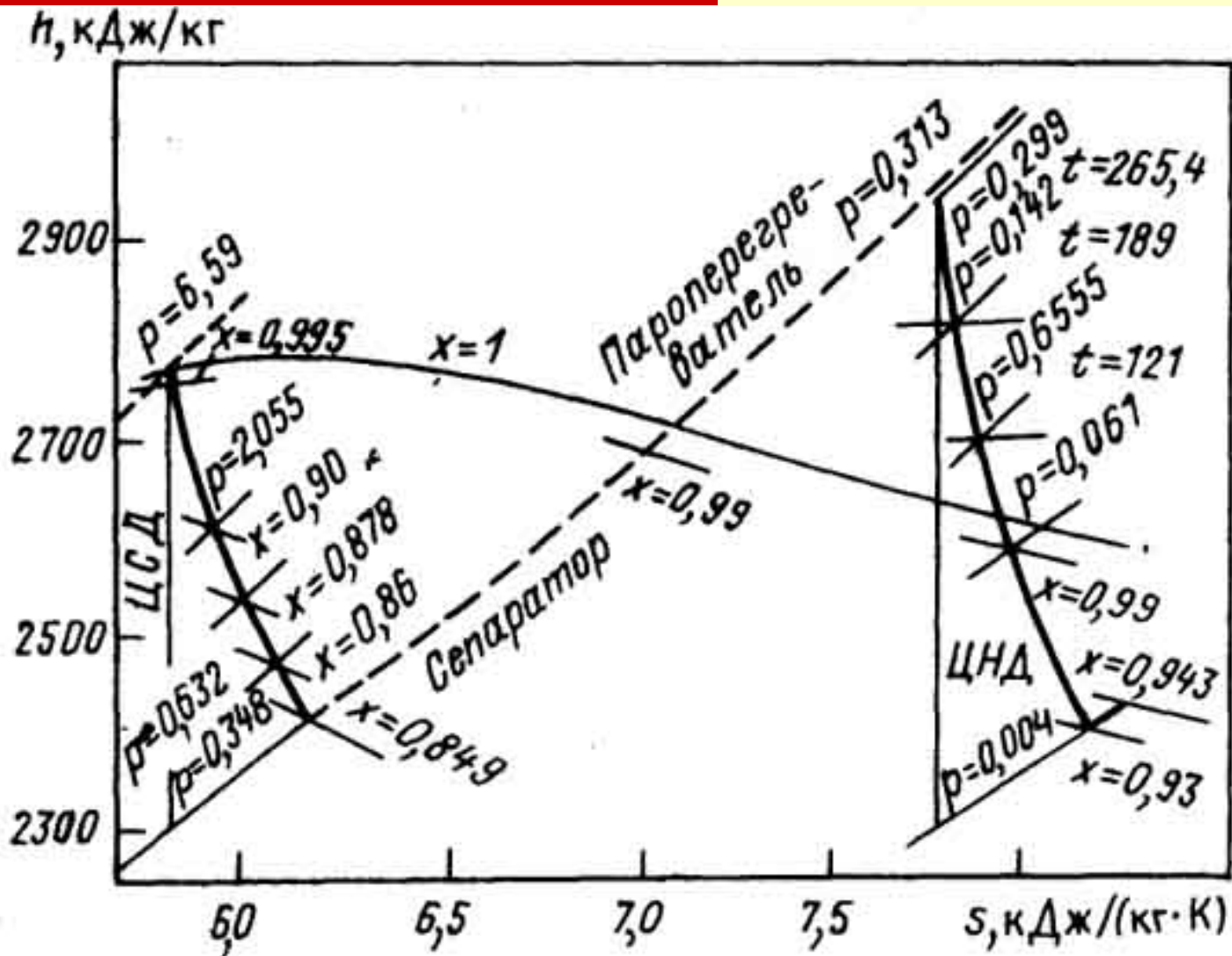
С помощью термического КПД оценивается эффективность идеального цикла

$$\eta_t = \frac{(H_0 - H_H)}{q_0}$$

Реальный процесс расширения пара в турбине



Реальный процесс расширения пара в турбине с промежуточными сепарацией и перегревом пара



ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВНУТРЕННИЙ КПД

С помощью относительного внутреннего КПД оценивается эффективность реальной турбины с учетом внутренних потерь в ней

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

АБСОЛЮТНЫЙ ВНУТРЕННИЙ КПД

С помощью абсолютного внутреннего КПД оценивается эффективность реальной установки с учетом внутренних потерь в турбине

$$\eta_i = \frac{H_i}{q_0} = \eta_{0i} \cdot \eta_t$$

АБСОЛЮТНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КПД (КПД ТУРБОУСТАНОВКИ)

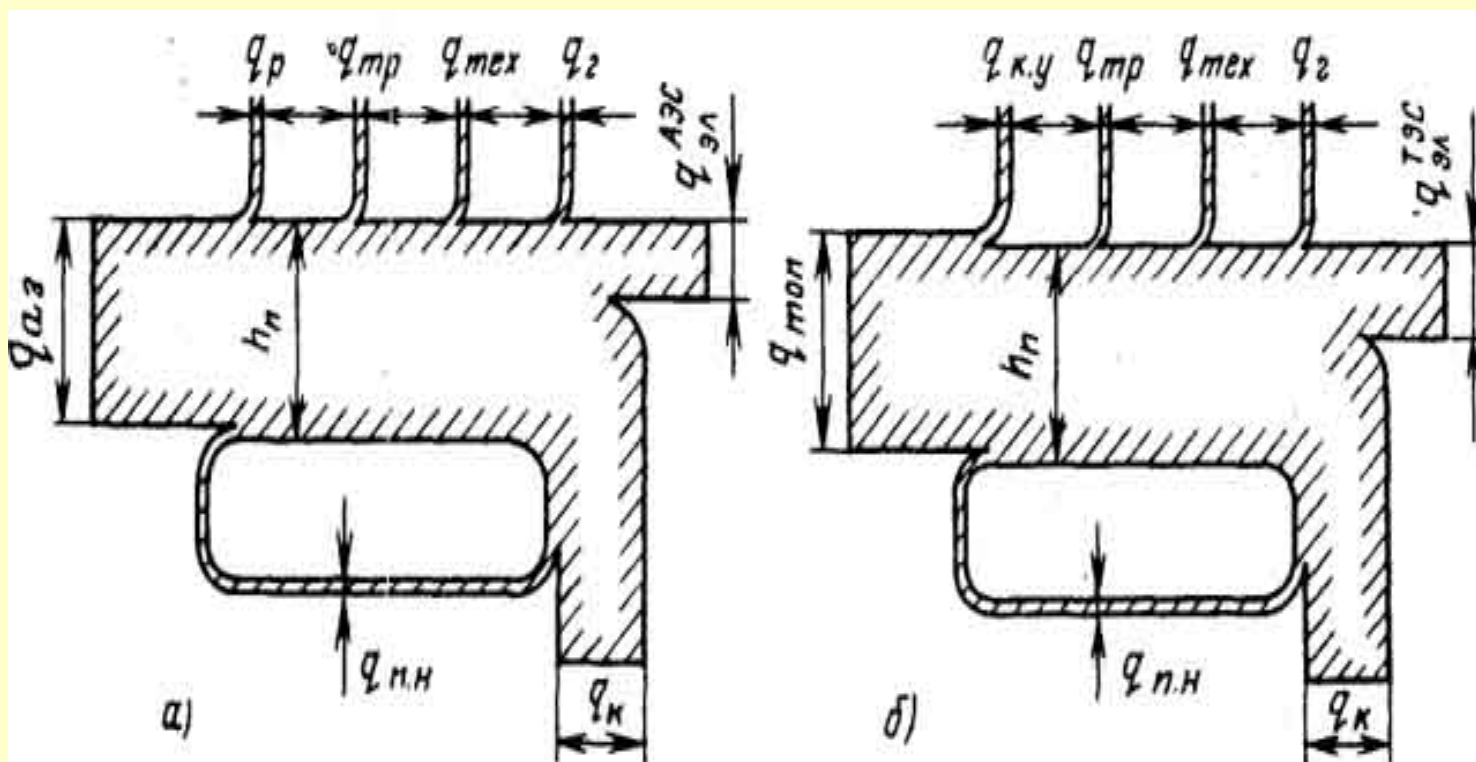
С помощью абсолютного электрического КПД оценивается эффективность турбоустановки с учетом потерь в турбине и генераторе электрического тока

$$\eta_{\text{Э}} = \frac{\ell_{\text{Э}}}{q_0} = \eta_{0i} \cdot \eta_t \cdot \eta_M \cdot \eta_G$$

Характерные значения КПД современных турбоагрегатов

- относит.внутренний 85 – 90 %
- механический 98 – 99 %
- генератора
97 – 98 % (при воздуш. охлаждении)
98 – 99 % (при водор. охлаждении)

Баланс энергии на АЭС



КПД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Оценка эффективности всего процесса преобразования энергии топлива в электрическую энергию

$$\eta_{\text{АЭС}} = \frac{N_{\text{э}}}{Q_{\text{ст}}}$$

РАСЧЕТ КПД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

При определении КПД АЭС учитываются следующие потери теплоты и энергии:

- в реакторе
- в парогенераторе
- в трубопроводах
- в турбоустановке

КПД одноконтурной атомной электростанции:

$$\eta_{\text{аэсI}} = \eta_{\text{э}} \eta_{\text{трI}} \eta_{\text{ру}}$$

КПД двухконтурной АЭС

$$\eta_{\text{аэс2}} = \eta_{\text{э}} \eta_{\text{тр2}} \eta_{\text{пг}} \eta_{\text{трI}} \eta_{\text{ру}}$$

КПД трехконтурной АЭС

$$\eta_{\text{аэс2}} = \eta_{\text{э}} \eta_{\text{тр3}} \eta_{\text{пг}} \eta_{\text{тр2}} \eta_{\text{т}} \eta_{\text{трI}} \eta_{\text{ру}}$$

КПД реакторной установки учитывает

- потери теплоты в окружающую среду,
- с водой продувки реактора,
- от охлаждения биологической защиты, в некоторых случаях замедлителя и некоторых других элементов установки

КПД трубопроводов

учитывает потери теплоты в трубопроводах первого, второго, третьего контуров

$\geq 0,99$, так как имеются только потери теплоты в окружающую среду, утечки среды с большой активностью исключаются.

На двух- и трехконтурных АЭС рабочая среда последних контуров нерадиоактивна

КПД трубопроводов этих контуров принимают равными $0,97 \div 0,98$

КПД парогенератора

учитывает

- потери теплоты в окружающую среду (не выше 1 %)
- потери с водой продувки парогенератора

$$Q_{\text{пр}} = G_{\text{дпр}} (h_{\text{д1}} - h_{\text{д2}})$$

КПД теплообменника между первым и вторым контурами АЭС

учитывает потери теплоты в окружающую среду

КПД АЭС



не учитывают расхода электроэнергии на *собственные* нужды электростанции и поэтому рассматриваются как ***КПД брутто***

КПД АЭС



КПД АЭС с водным теплоносителем находится на уровне
~33%

Расход электроэнергии на *собственные нужды* электростанции

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

КПД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ нетто

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

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

доля электрической мощности, расходуемая на собственные нужды станции

$$\beta_{\text{CH}} = \frac{\Delta N_{\text{CH}}}{N_{\text{э}}}$$

Удельный расход теплоты на АЭС

В системе СИ удельный расход теплоты измеряется в единицах:

кВт теплоты сгоревшего топлива/
(кВт·электрической мощности)

$$q_{\text{ст}}^{\text{бр}} = \frac{1}{\eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}}$$

Удельный расход выгоревшего ядерного топлива

$$b_{\text{я.т}}^{\text{бр}} = \frac{V_{\text{я.т}}}{N_{\text{э}}} = \frac{V_{\text{я.т}}}{Q_{\text{с}} \cdot \eta_{\text{АЭС}}} = \frac{V_{\text{я.т}}}{Q_{\text{я.т}} V_{\text{я.т}} \eta_{\text{АЭС}}} = \frac{1}{Q_{\text{я.т}} \eta_{\text{АЭС}}}, \text{ кг / кДж}$$

$Q_{\text{я.т}}$

- количество теплоты, выделяемое
выгоревшим ядерным топливом,

Удельный расход выгоревшего ядерного топлива

В расчете на 1 кВт·ч

$$b_{\text{я.т}}^{\text{бр}} = \frac{3600}{Q_{\text{я.т}} \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

количество теплоты, выделяемое выгоревшим ядерным топливом

□ При делении всех ядер 1 кг урана выделяется $7,9 \cdot 10^{10}$ кДж теплоты.

□ 10–20 % топлива в результате захвата нейтронов превращается в неделящиеся изотопы. С учетом этого, количество теплоты, выделяемое выгоревшим ядерным топливом, может быть

принято $= 6,7 \cdot 10^{10}$
кДж/кг.

$$Q_{\text{я.т}}$$

Удельный расход выгоревшего ядерного топлива

$$b_{\text{я.т}}^{\text{бр}} = \frac{3600}{Q_{\text{я.т}} \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}} = \frac{3600}{6,7 \cdot 10^{10} \eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}} = \frac{0,0537 \cdot 10^{-6}}{\eta_{\text{ст}}^{\text{бр}}}$$

кг/(кВт·ч)

ТЕПЛОВАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ АТЭС

характеризуется:

- показателями по производству электроэнергии
- показателями по производству теплоты, отпускаемой тепловым потребителям

КПД ТУРБОУСТАНОВКИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

$$\eta_{\text{ту}}^{\text{э}} = \frac{N_{\text{э}}}{Q_o - Q_{\text{тп}} / \eta_{\text{тп}}}$$

КПД АТЭЦ по производству электроэнергии

$$\eta_{\text{АТЭЦ}}^{\text{эбр}} = \frac{N_{\text{э}}}{Q_{\text{ст}} - Q_{\text{тп}} / (\eta_{\text{тп}} \cdot \eta_{\text{пот}})}$$

Удельный расход теплоты на ТЭЦ на производство электроэнергии

$$q_{\text{АТЭЦ}}^{\text{эбр}} = \frac{3600 Q_{\text{СТ}}^{\text{э}}}{N_{\text{э}}}$$

ТЕПЛОТА ТОПЛИВА, ИДУЩАЯ НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

$$Q_{\text{СТ}}^{\text{Э}} = Q_{\text{СТ}} - \frac{Q_{\text{ТП}}}{\eta_{\text{ТП}} \cdot \eta_{\text{ПОТ}}}$$

$$Q_{\text{СТ}} = Q_{\text{Я.Т}}$$

Удельный расход ядерного топлива на выработку электроэнергии

$$b_{\text{я.т}}^{\text{эбр}} = \frac{0,0537 \cdot 10^{-6}}{\eta_{\text{АТЭЦ}}^{\text{эбр}}}$$

кг/(кВт·ч)

КПД АТЭЦ по производству теплоты

$$\eta_{\text{СТ}}^{\text{T}} = \eta_{\text{ТН}} \cdot \eta_{\text{ПОТ}}$$

Удельный расход ядерного топлива на выработку теплоты

$$b_{\text{я.т}}^{\text{т.бр}} = \frac{1}{6,7 \cdot 10^{10} \eta_{\text{АТЭЦ}}^{\text{т.бр}}} = \frac{0,01}{\eta_{\text{АТЭЦ}}^{\text{т.бр}}}, \quad \text{г/ГДж}$$