




ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

- метод термодинамического анализа систем, рассматриваемых во взаимодействии с окружающей средой

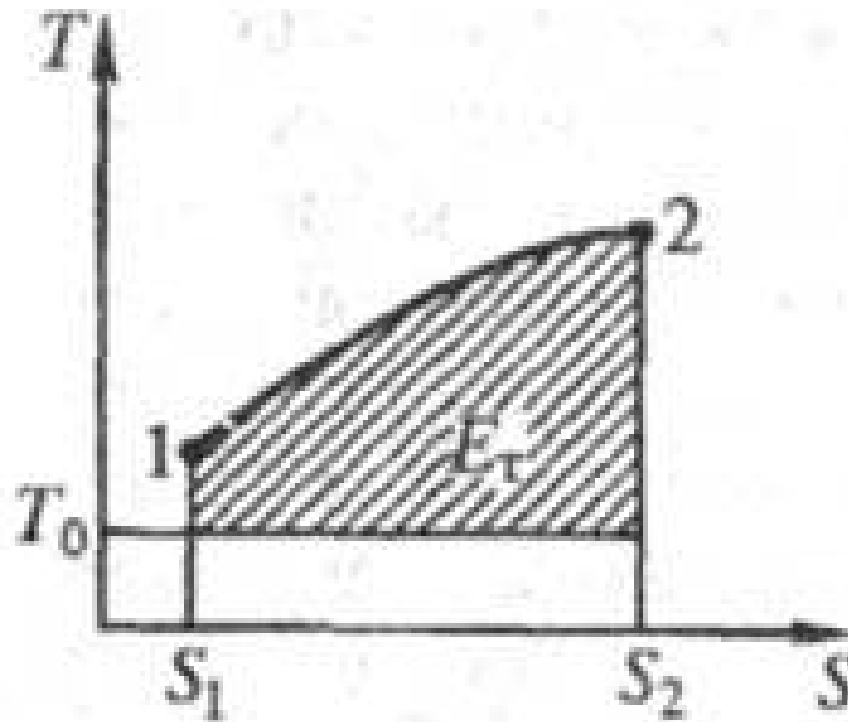


Для случаев, когда начальная температура тела выше температуры окружающей среды

Формулировка **эксергии** Ранга

$$\mathcal{E} = E + A$$

Графическое изображение эксергии и анергии



$$A = T_0(S_1 - S_2)$$

- 
-
- Из понятия "эксергия" следует, что эксергия окружающей среды равна нулю



Эксергетический баланс

$$\sum E' = \sum E'' + \sum E''',$$



Внутренние потери

- необратимость протекающих в системе процессов (гидравлические сопротивления, тепло- и массообмен и др.)



Внешние потери эксергий

- через тепловую изоляцию
- с выходящими из системы потоками (нагретая вода, отработавшие газы)



Расчет эксергетических потерь

- по формуле Гюи - Стодолы:

$$\Sigma \Delta E^{\text{II}} = T_0 \Sigma \Delta S$$

- ΔS - изменение энтропии системы



Эксергетический КПД системы



-
- Для идеального, полностью обратимого процесса (потери отсутствуют) $\eta_e = 1$
 - если подведенная эксергия полностью теряется в процессе $\eta_e = 0$
 - В реальных процессах всегда :

$$0 < \eta_e < 1$$




Оптимизация работы системы на основе эксергетического анализа

осуществляется с помощью целевых функций

критерии

- эксергетический КПД
- приведенные денежные затраты на единицу эксергии продукта
- сумма удельных затрат эксергии

На практике широко используют вторую из перечисленных функций



В общем виде критерий оптимальности параметров системы на основе данной целевой функции

$$\min_{\{m\}} C_{\text{пр}} = \min_{\{m\}} \left\{ \left(\sum C_{e,i} E_i + EK \right) / \sum E_{\text{пр}j} \right\}$$

- $C_{e,i}$ и $C_{\text{пр}}$ - стоимость единицы эксергии сырья и продукции
- E_i и $E_{\text{пр}j}$ – эксергии
- K - капитальные затраты
- m - совокупность параметров, по которым оптимизируется работа системы

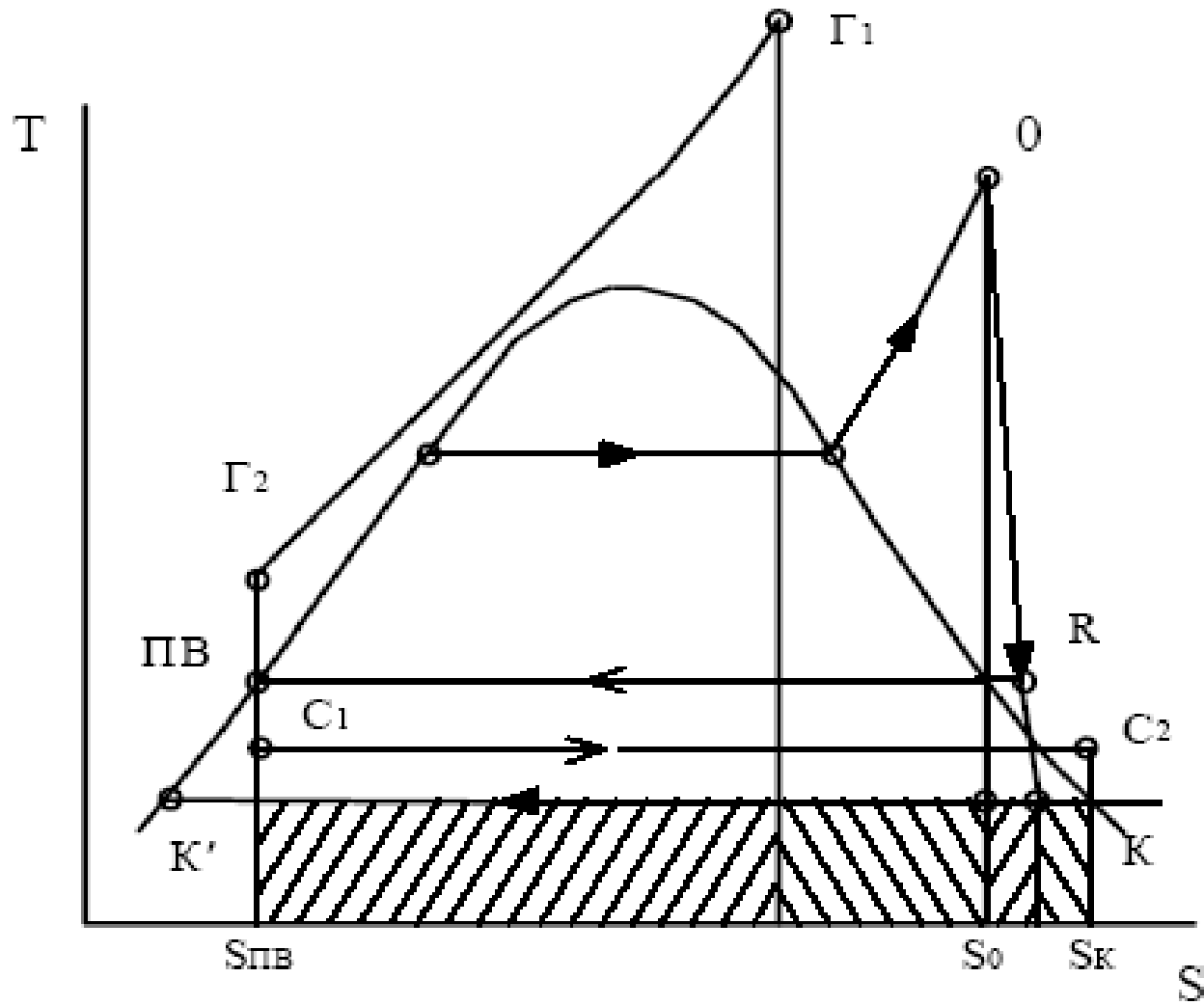


МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА



Конденсационный режим

Основные потери эксергии




- 
-
- Химическая эксергия топлива

$$ex_0 = BQ_p^H$$

- Эксергетическая потеря в котле

$$\Delta ex_k = \Delta ex_G + \Delta ex_{\Gamma T}$$

- 
-
- Неиспользованная в котле **химическая** эксергия топлива (потеря эксергии):

$$\Delta ex_G = (1 - \eta_k) ex_0$$

- Потери эксергии от неравновесных процессов **горения топлива** и **теплообмена** в котле:

$$\Delta ex_{ГТ} = T_k (S_0 - S_{ПВ}) G_0$$



Потеря эксергии от неравновесного расширения пара в турбине




Потеря эксергии от теплообмена в деаэраторе при конечной разности температур



Потеря эксергии от механического и электрического трения




Потеря эксергии в конденсаторе равна нулю



Эксергетический КПД энергоблока по отпуску электроэнергии

$$\square \eta_{\text{э}}^{\text{ex}} = (N_{\Gamma} - N_{\text{CH}}) / e x_0$$



Удельный расход условного топлива на
отпускаемую электроэнергию, кг.у.т./($\text{kBт} \cdot \text{ч}$)

$$b = 0,123 / \eta_{\text{э}}^{\text{ex}}$$




Теплофикационный режим

- Химическая эксергия топлива

$$ex_0 = BQ_p^H$$

- Эксергетическая потеря в котле

$$\Delta ex_k = \Delta ex_G + \Delta ex_{ГТ}$$

- 
-
- Неиспользованная в котле **химическая** эксергия топлива (потеря эксергии):

$$\Delta ex_G = (1 - \eta_k) ex_0$$

- Потери эксергии от неравновесных процессов **горения топлива** и **теплообмена** в котле:

$$\Delta ex_{\text{ГТ}} = T_k (S_0 - S_{\text{ПВ}}) G_0$$




Приращение эксергии пара в котле

$$E_э = \left(Q_э + \frac{Q_т}{\eta_{cy}} \right) \left(1 - T_* \frac{S_0 - S_{пв}}{h_0 - h_{пв}} \right).$$

где $\eta_{cy}=0,97...0,98$ - КПД сетевой установки

$Q_т$ - тепло, отпускаемое потребителям тепла



Потеря эксергии от неравновесного расширения пара в турбине


$$\Delta ex_T = T_K (S_0 - S_K) \varepsilon_R G_0$$

$$\varepsilon_R = 1 - (\alpha_R + \alpha_T)(S_R - S_K) / (S_0 - S_K)$$

$$\alpha_R = [(h_{пв} - h_K') - \alpha_T(h_D - h_K')] / (h_R - h_K')$$



Потеря эксергии в конденсаторе равна нулю



Эксергетический КПД энергоблока по отпуску электроэнергии

$$\eta_{\text{э}}^{\text{ex}} = [(N_{\Gamma} - N_{\text{CH}}) + \text{ex}_{\Gamma}] / \text{ex}_0$$

ex_{Γ} - эксергетическая производительность энергоблока по отпуску теплоты

η



Потеря эксергии в сетевой установке



Потеря эксергии от теплообмена в деаэраторе при конечной разности температур



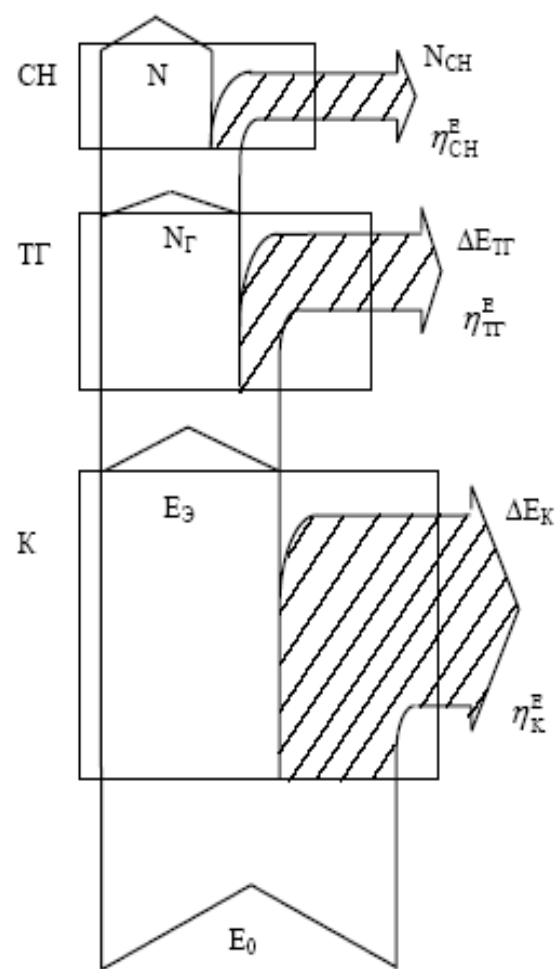
Потеря эксергии от механического и электрического трения



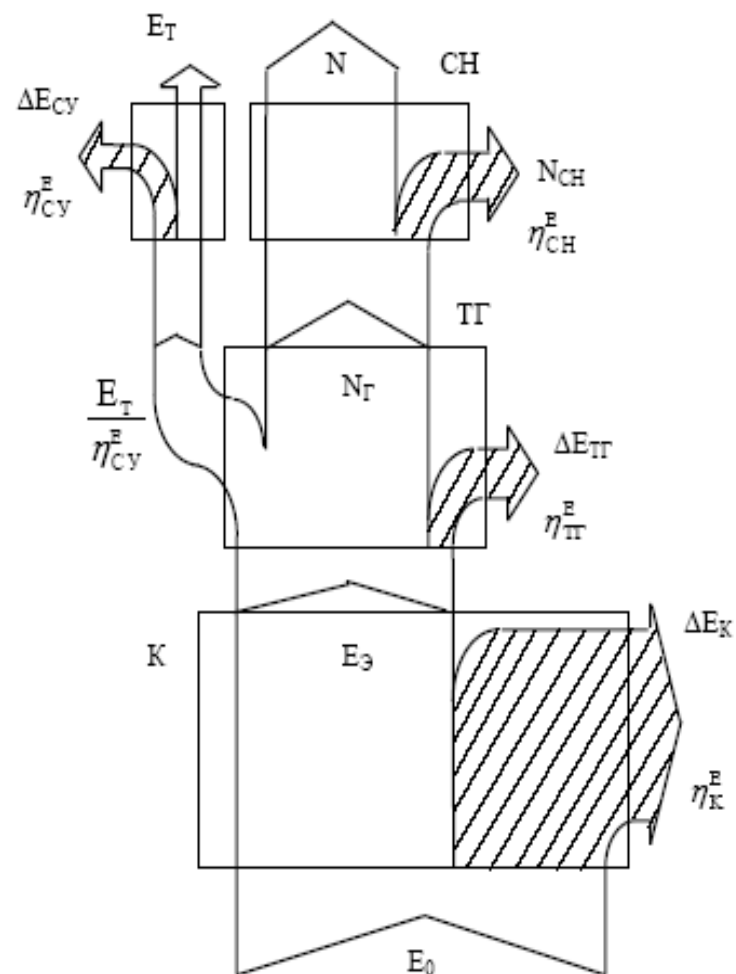
Удельный расход условного топлива на отпускаемую электроэнергию и эксергию тепла при комбинированном их производстве, кг.у.т./($\text{кВт} \cdot \text{ч}$)

$$b_{\text{э}} = b_{\text{т}} = 0,123 / \eta_{\text{э}}^{\text{ex}}$$

Схемы эксергетических балансов

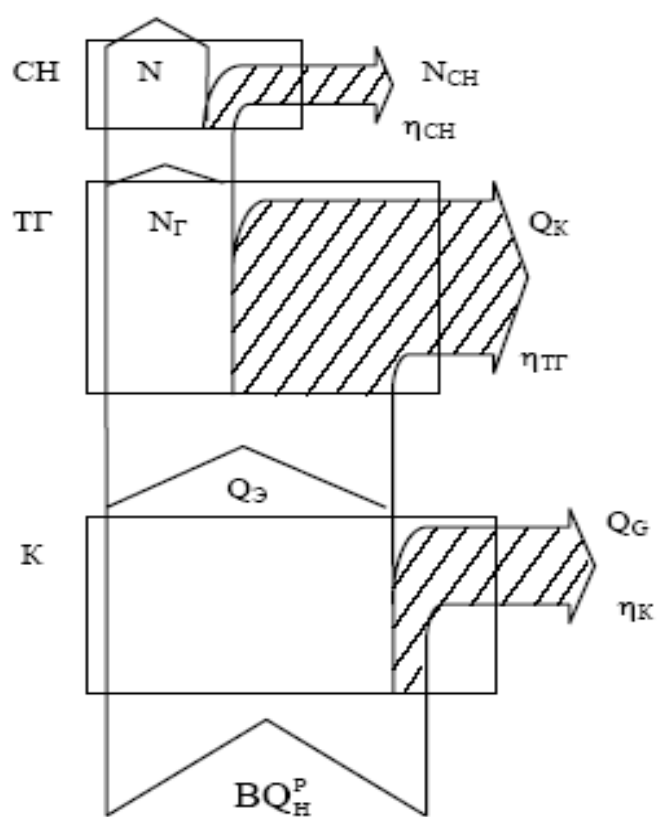


a)

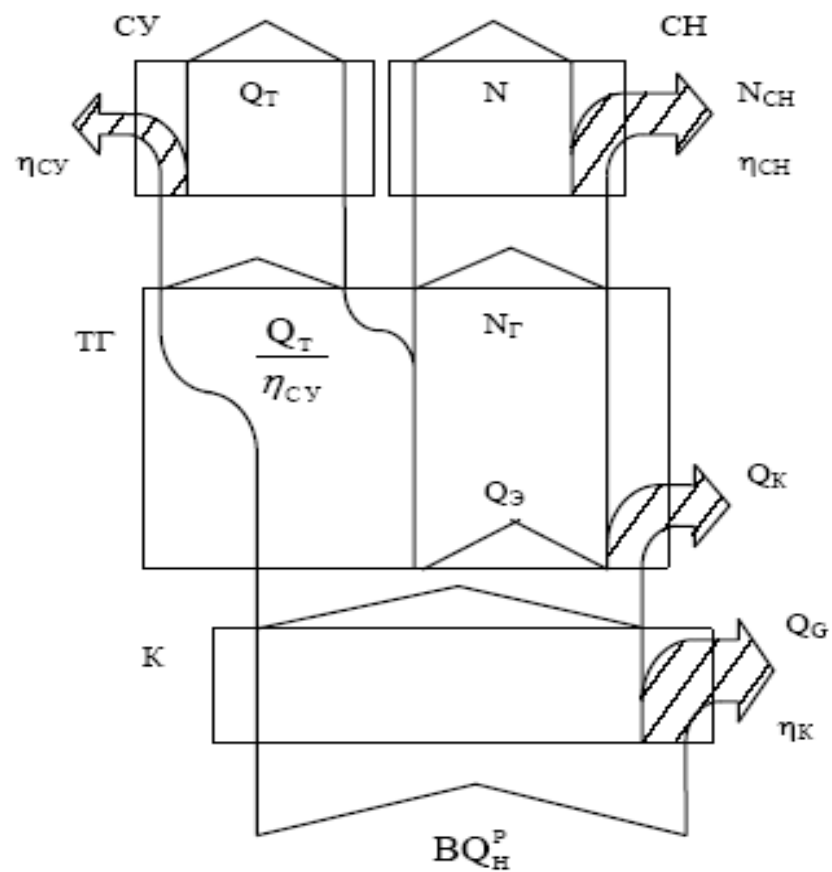


б)

Схемы энергобалансов



a)



б)



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксергетический метод анализа - это

- единая
- логически последовательная термодинамическая методика, опирающаяся на I и II законы термодинамики



Достоинство эксергетического метода

- отражает **качественную** сторону процессов преобразования энергии



Уровни эксергетического анализа технических систем

Первый уровень

- определение потерь от необратимости во всех элементах систем
- определение причин, вызывающих потери



Второй уровень

- определение эксергетических коэффициентов отдельных элементов

Такая информация позволяет оценить достоинства и недостатки отдельных узлов установки



Третий уровень

- выявление связей взаимовлияния элементов системы
- термодинамическая оптимизация технической системы

Оптимизация для достижения максимального эксергетического КПД основана на варьировании исходных параметров или изменениях структуры системы



Практические приложения эксергетического метода в энергетике

- **Расчет тарифов на водяной пар**


В настоящее время тарифы на водяной пар высокого и низкого давления сведены в таблицу тарифов для разных давлений

Если платить **за эксергию**, то таблиц не потребуется, так как по мере снижения температуры и давления пара эксергия его снижается



Надо беречь топливо и электроэнергию, как основные источники эксергии

Введение оплаты за эксергию будет способствовать ее сохранению, т.к. в отличие от энергии эксергия уменьшается и может исчезнуть бесследно



- **Проекты и планы модернизации производства**

Некоторые ведущие фирмы за рубежом ввели энергетический анализ в качестве обязательной составной части разрабатываемых проектов, а также планов модернизации производства



- **Оценка природных ресурсов**

Геологический комитет США учитывает геотермальные ресурсы по их эксергии