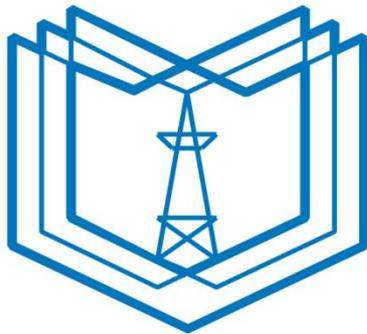


КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

50 лет движения вперед

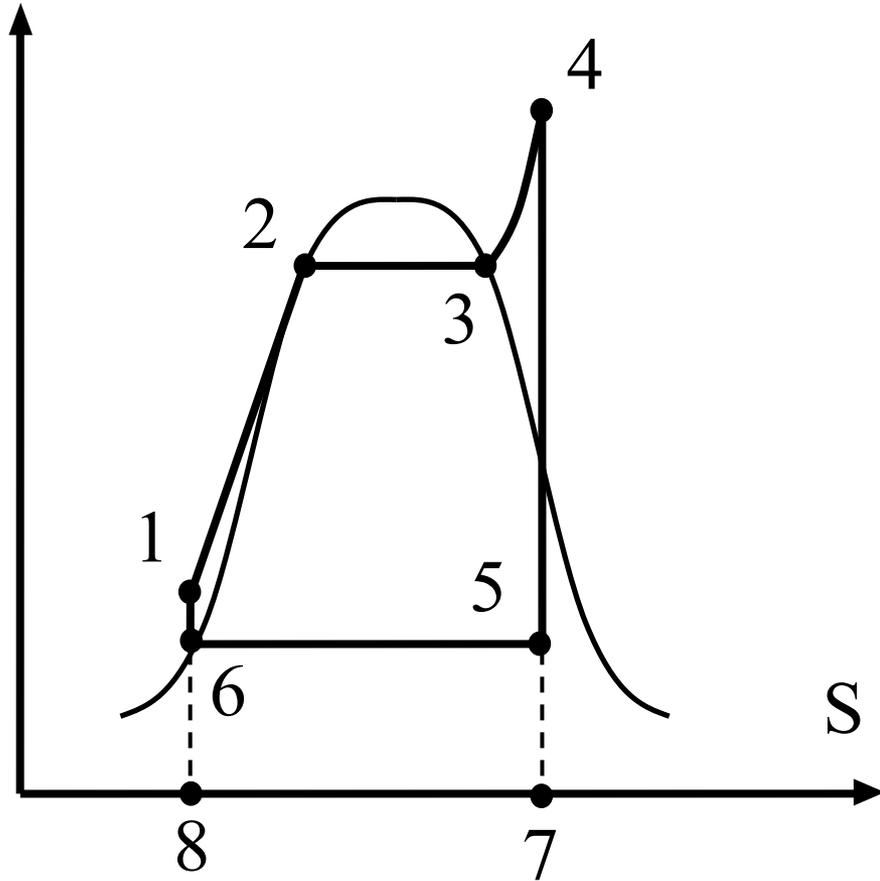
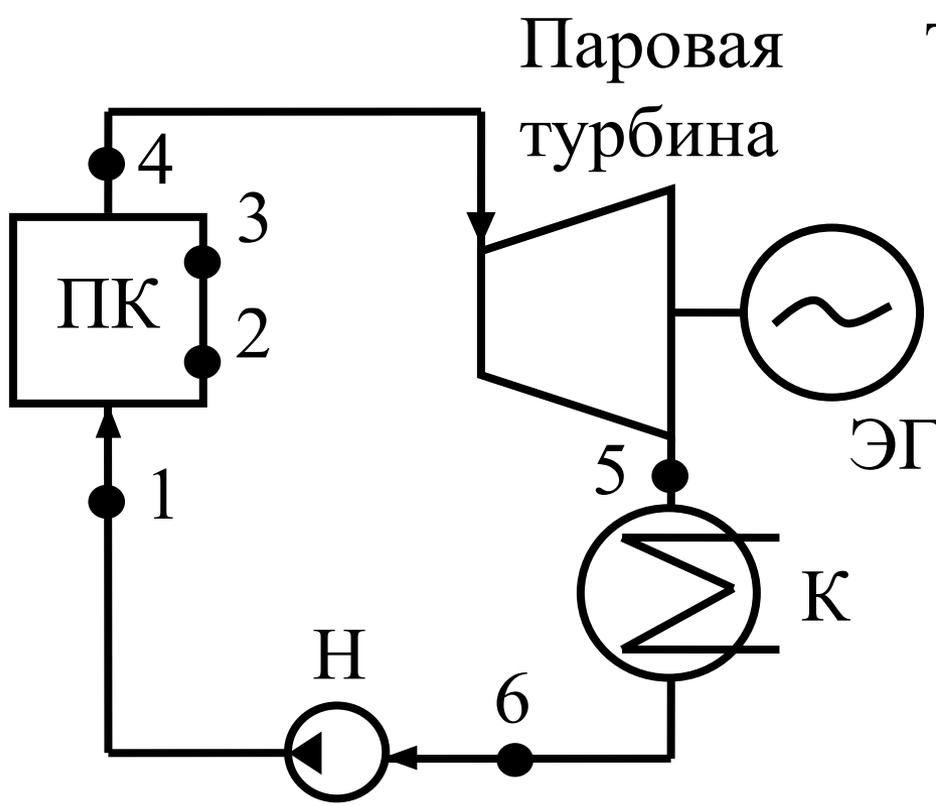


КГЭУ



ЛЕКЦИЯ 1. Введение.

Термодинамические циклы энергоустановок



Принципиальная
тепловая схема
паротурбинной установки



Количество теплоты q_1 , переданное одному килограмму

воды и пара: $q_1 = h_4 - h_1$

Количество теплоты q_2 , отданное охлаждающей воде т.е.

отведенной от цикла: $q_2 = h_5 - h_6$

Полезная теоретическая работа одного килограмма пара
равна разности между подведенной и отведенной теплотой

$$\begin{aligned} H_{\text{ПТУ}} &= q_1 - q_2 = (h_4 - h_1) - (h_5 - h_6) = \\ &= (h_4 - h_5) - (h_1 - h_6) \end{aligned}$$



Абсолютный термический КПД идеальной турбоустановки:

$$1) \eta_t = \frac{N_{\text{ПТУ}}}{q_1} = \frac{(h_4 - h_5) - (h_1 - h_6)}{(h_4 - h_1)}$$

$$2) \eta_t = \frac{(h_4 - h_5) - (h_1 - h_6)}{(h_4 - h_6) - (h_1 - h_6)}$$

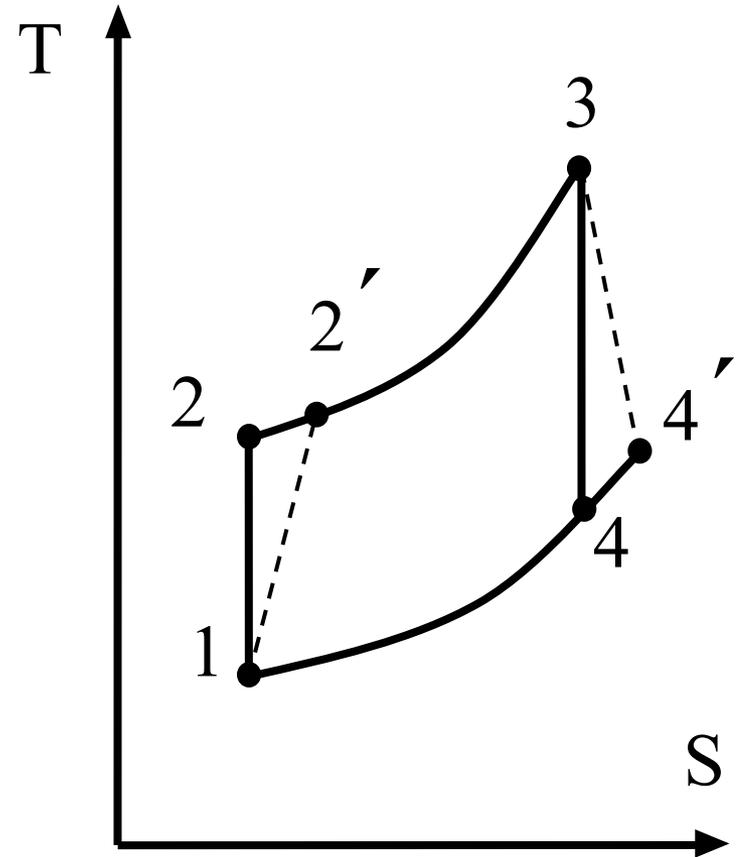
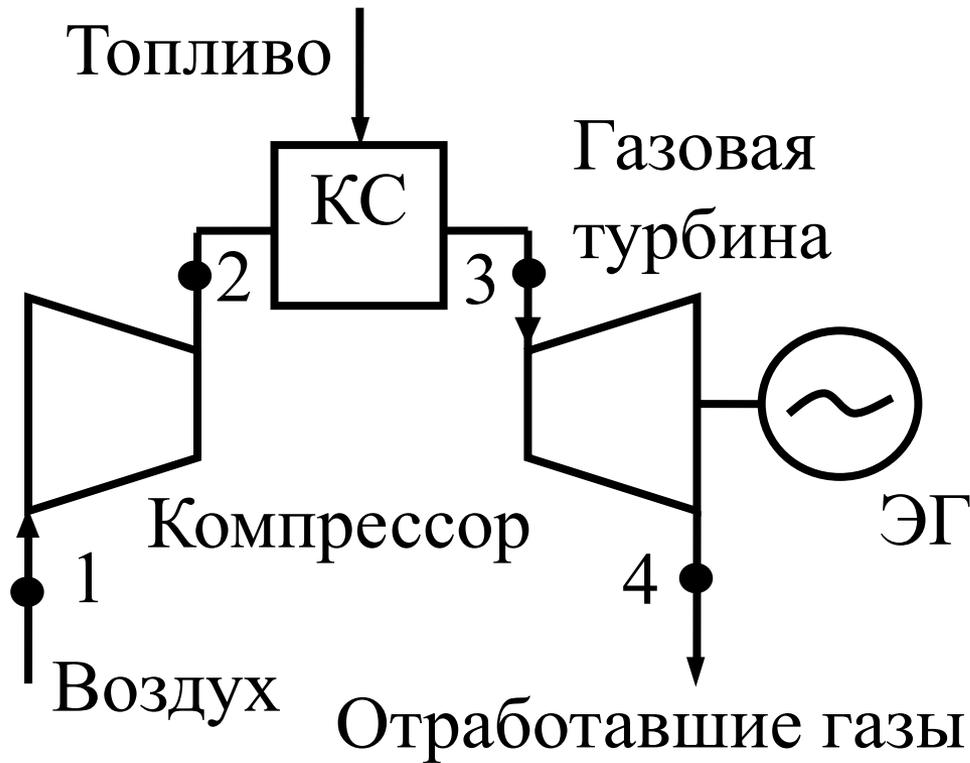
$$3) \eta_t = \frac{(h_4 - h_5)}{(h_4 - h_6)} = \frac{H_0}{(h_4 - h_6)}$$



Крупнейшие производители паровых турбин в мире, % (по данным 2015 г.):

- Shanghai Electric (Китай) – 16,6 %;
- Dongfang Electric (Китай) – 15,4 %;
- Harbin Turbine Co Ltd (Harbin Electric, Китай) – 14,6 %;
- General Electric-Alstom – 11,0 %;
- Siemens – 10,0 %;
- MHPs (Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd) – 8,6 %;
- Bharat Heavy Electricals Ltd (Индия) – 5,5 %;
- Toshiba (Япония) – 5,0 %;
- ОАО «Силловые машины» (Россия) – 2,0 %;
- Прочие – 11,2 %.





Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки



Крупнейшие производители газовых турбин в мире, %:

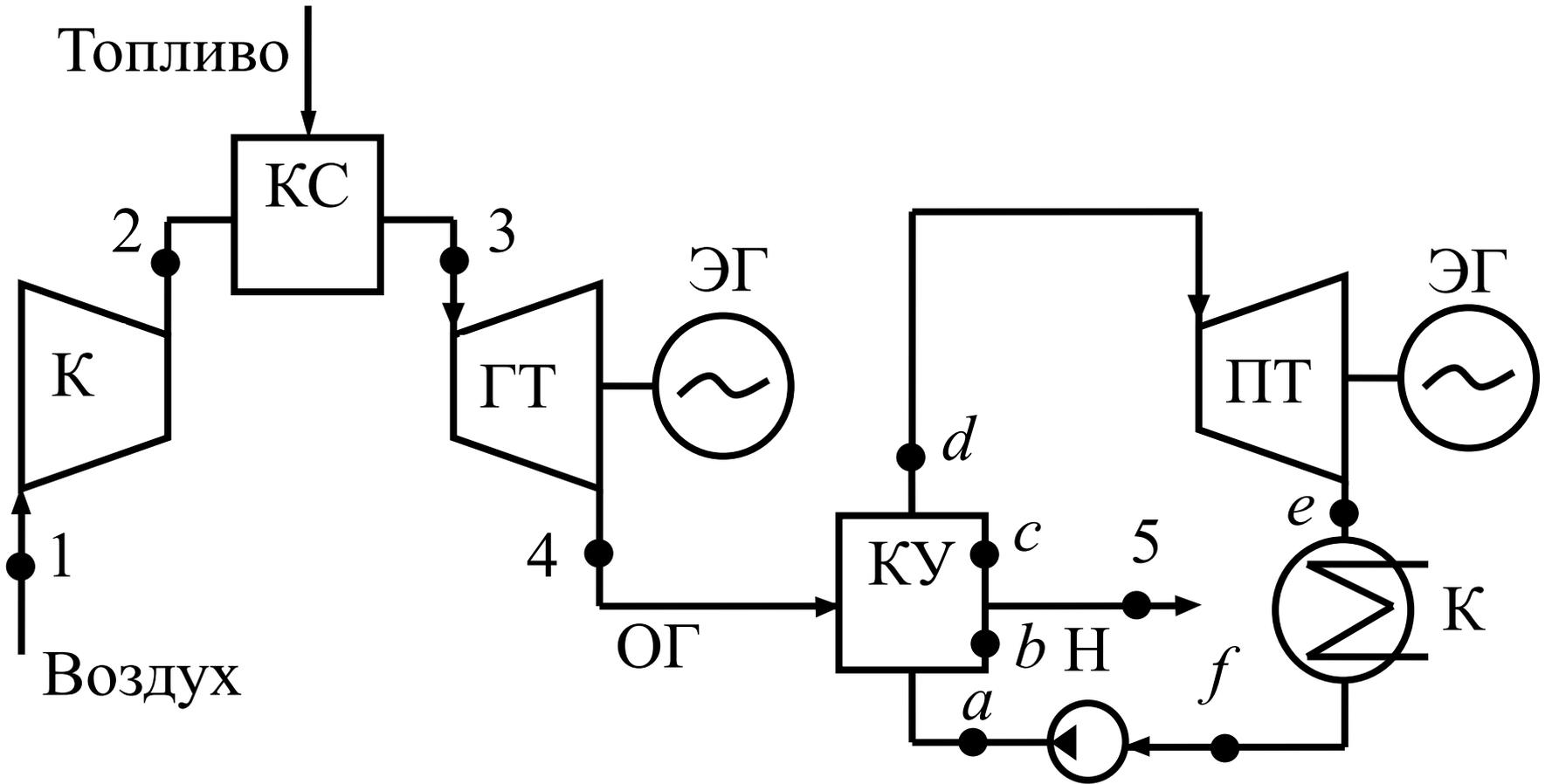
- General Electric-Alstom – 40;
- Siemens – 31,8;
- MHPS (Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd) – 17,8;
- Ansaldo – 2,2;
- Solar Turbines (США) – 2,0;
- Pratt & Whitney (США) – 1,0;
- Прочие – 5,2.



Доля газовых турбин различных предприятий энергетического машиностроения, установленных на энергообъектах России:

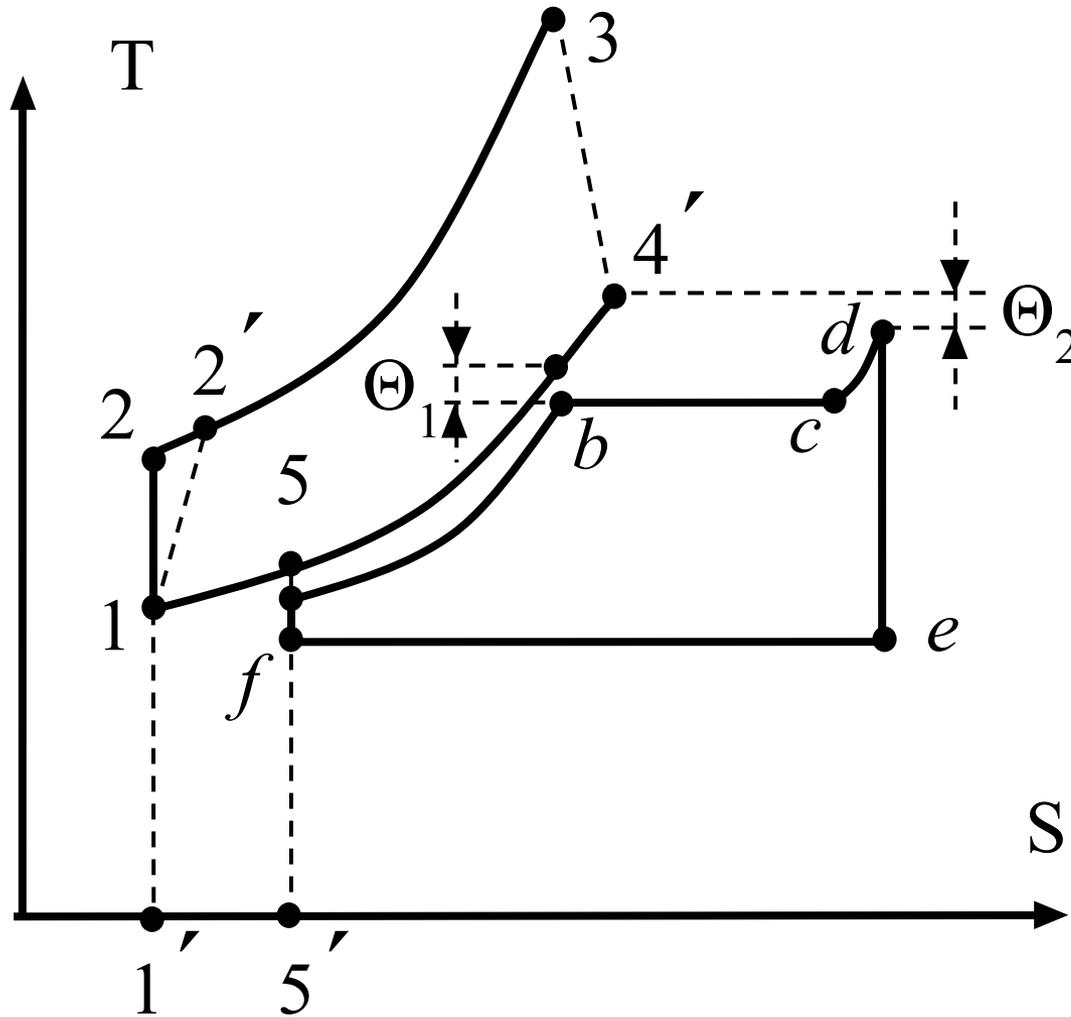
- Siemens (Германия) – 32,2 %;
- General Electric (сокращенно GE, США) – 31,4 %;
- ОАО «Силовые машины» (Россия) - 14,9 %;
- Ansaldo (Gio. Ansaldo & C., Италия) – 8,7 %;
- Alstom (Франция) – 7,3 %;
- ПАО «ОДК-Сатурн» (Объединенная двигателестроительная компания, Россия) – 2,7 %;
- Mitsubishi (Mitsubishi Heavy Industries, Япония) – 2,0.





Принципиальная тепловая схема парогазовой установки с котлом-утилизатором





Общая электрическая мощность ПГУ:

$$N_{\text{Э}}^{\text{ПГУ}} = N_{\text{Э}}^{\Gamma} + N_{\text{Э}}^{\Pi}$$

Электрический КПД ПГУ с котлом-утилизатором:

$$\eta_{\text{Э}}^{\text{ПГУ}} = \frac{N_{\text{Э}}^{\Gamma} + N_{\text{Э}}^{\Pi}}{Q_{\Gamma}^{\text{с}}}$$



$$\pi_{\text{К}} = \frac{P_{\text{КК}}}{P_{\text{НК}}}$$

$$\pi_{\text{ГТ}} = \frac{P_{\text{НТ}}}{P_{\text{КТ}}}$$

$$\pi_{\text{ГТ}} = \lambda \cdot \pi_{\text{К}}$$

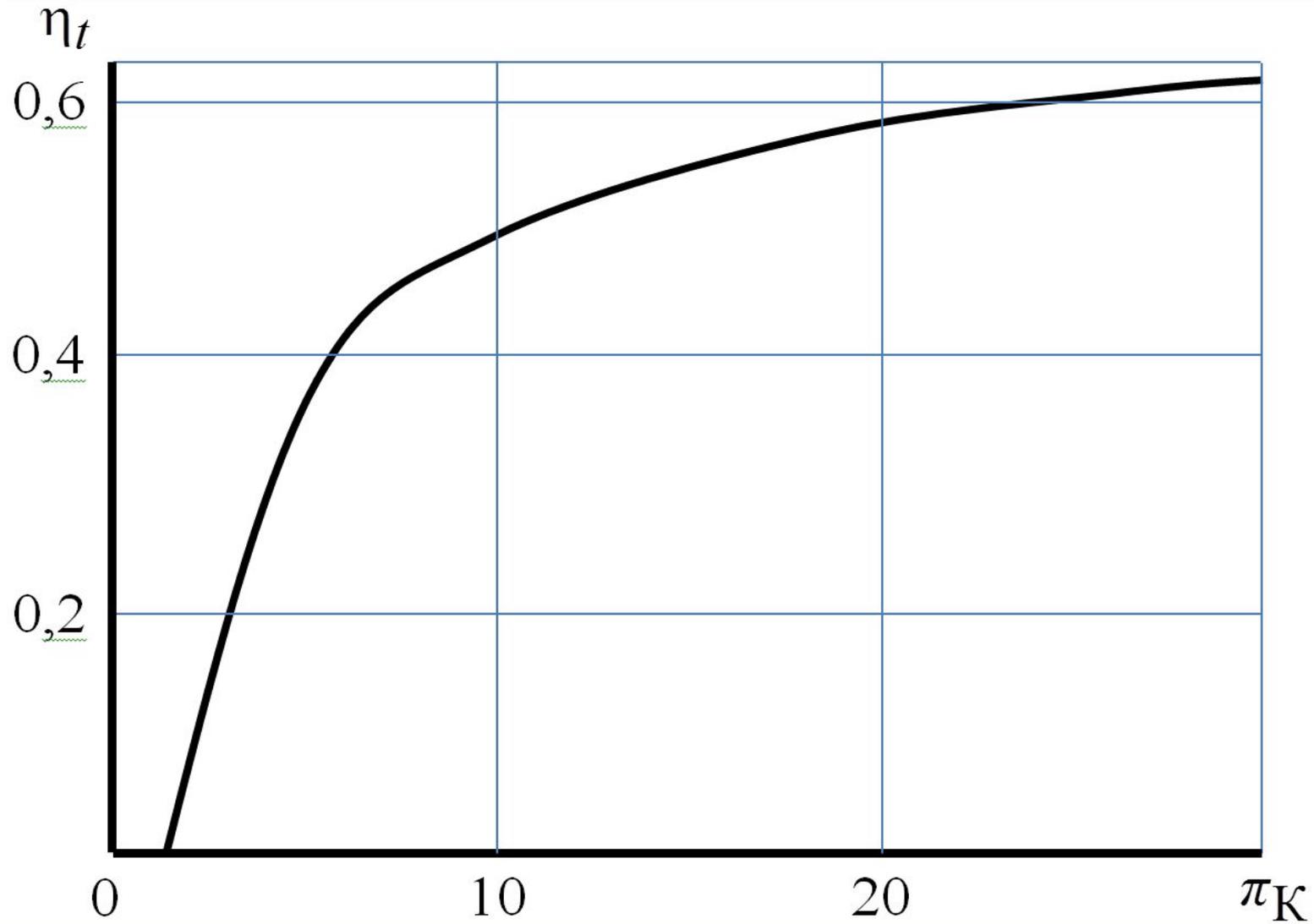


$$\eta_t = 1 - \frac{T_{\text{HK}}}{T_{\text{KK}}} = 1 - \frac{1}{(\pi_{\text{K}})^m}$$

$$m = \frac{k-1}{k}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{(\pi_{\text{K}})^m} \rightarrow \eta_t = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_{\text{KK}}}{P_{\text{HK}}}\right)^m}$$





$$\tau = \frac{T_{\text{HT}}}{T_{\text{НВ}}}$$

$$H_{\text{ГТ},0} = c_{p\text{Г}} \cdot (T_{\text{HT}} - T_{\text{КТ},t})$$

$$H_{\text{ГТ}} = c_{p\text{Г}} \cdot (T_{\text{HT}} - T_{\text{КТ}}) \cdot \eta_{\text{ГТ}}$$



$$H_{K,0} = c_{pB} \cdot (T_{KK,t} - T_{HK})$$

$$H_K = \frac{c_{pB} \cdot (T_{KK} - T_{HK})}{\eta_K}$$

$$\eta_K = \frac{H_{K,0}}{H_K}$$



$$H_{\text{ПГУ}} = \frac{G_{\text{T}} \cdot H_{\text{ГТ}} - G_{\text{В}} \cdot H_{\text{К}}}{G_{\text{В}}} = (1 + g_{\text{T}})H_{\text{ГТ}} - H_{\text{К}}$$

$$g_{\text{T}} = \frac{B_{\text{ГТ}}}{G_{\text{В}}}$$

$$H_{\text{ПГУ}} = c_{p\text{T}} \cdot T_{\text{HT}} \cdot \eta_{\text{ГТ}} \left(1 - \pi_{\text{ГТ}}^{-m_{\text{T}}} \right) - c_{p\text{В}} \cdot T_{\text{HK}} \left(\pi_{\text{К}}^{m_{\text{В}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{К}}}$$

$$H_{\text{ПГУ}}^{\text{Макс}} = 2m \sqrt{\tau \cdot \eta_{\text{ГТ}} \cdot \eta_{\text{К}}} \quad \pi_{\text{К}} \approx m \sqrt{\tau \cdot \eta_{\text{ГТ}} \cdot \eta_{\text{К}}} = 0$$



$$\eta_i = \frac{(1 + q_T) \cdot H_{\Gamma T,0} \cdot \eta_{\Gamma T} - \frac{1}{\eta_K} \cdot H_{K,0}}{(1 + q_1) \cdot \frac{1}{\eta_{KC}}}$$

$$\eta_i = \frac{c_{p\Gamma} \cdot \tau \cdot \eta_{\Gamma T} \left(1 - \pi_{\Gamma T}^{-m_{\Gamma}}\right) - c_{pB} \left(\pi_K^{m_B} - 1\right) \cdot \frac{1}{\eta_K}}{\tau - 1 - \left(\pi_K^{m_B} - 1\right) \cdot \frac{1}{\eta_K}} \cdot \eta_{KC}$$



$$\varphi \approx \frac{H_{\text{ГТУ}}}{H_{\text{ГТ}}} = 1 - \frac{\pi^m}{\tau \cdot \eta_{\text{ГТ}} \cdot \eta_{\text{К}}}$$

$$N_{i,\text{К}} = G_{\text{В}} \cdot H_{\text{К}}$$

$$N_{i,\text{ГТ}} = G_{\text{Г}} \cdot H_{\text{ГТ}}$$

$$N_{i,\text{ГТУ}} = N_{i,\text{ГТ}} - N_{i,\text{К}}$$

