

## Задача 2. Анализ циклов ГТУ и ПГУ

### 1. Показатели работы ГТУ

Газотурбинная установка работает по простому циклу Брайтона, для которого заданы следующие параметры:

- температура газов перед турбиной  $t_3$ ,
- температура воздуха  $t_1$ ,
- изоэнтروпийные КПД турбины и компрессора  $\eta_{oi}^T$  и  $\eta_{oi}^K$ .
- расход газа  $G_G$ .

Выполнить:

Рассчитать

- оптимальную степень сжатия воздуха в компрессоре  $\varepsilon'_{opt}$  ГТУ, работающей по реальному циклу, по максимуму удельной работы ГТУ  $l_{ГТУ}$  ;
  - оптимальную степень сжатия воздуха в компрессоре  $\varepsilon''_{opt}$  по максимуму действительного КПД цикла ГТУ  $\eta_{ГТУi}$  ;
  - показатели реального цикла ГТУ при оптимальном значении  $\varepsilon'_{opt}$  :  
внутреннюю мощность турбины  $N_T$  ;  
внутреннюю мощность компрессора  $N_K$  ;  
коэффициент полезной работы ГТУ  $\varphi$  ;  
абсолютный действительный КПД ГТУ  $\eta_{ГТУi}$  ,  
внутреннюю  $N_{ГТУi}$  и электрическую  $N_{ГТУЭ}$  мощности ГТУ
- Графически представить изменение от степени сжатия  $\varepsilon$  следующих показателей работы ГТУ:
    - 1) уд. работы турбины  $l_T$  ;
    - 2) уд. работы компрессора  $l_K$  ;
    - 3) уд. работы ГТУ  $l_{ГТУ}$  .
    - 4) КПД реального цикла ГТУ  $\eta_{ГТУi}$

$\varepsilon = P_2 / P_1$  - СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ

### 2. Выбор оптимального давления острого пара ПТУ

Утилизационная ПГУ имеет в своем составе:

- газотурбинную установку, для которой из предыдущей задачи известны: степень сжатия  $\varepsilon_{opt}$  и соответствующая ей температура отработавших газов  $t_G$  ( $t_4$ );
- одноконтурный котел-утилизатор;
- паротурбинную установку, работающую по циклу Ренкина с начальными параметрами  $P_0$ ,  $t_0$  и давлением в конденсаторе  $P_K$  .

Газы, отработавшие в газовой турбине, с температурой  $t_G$  и расходом  $G_G$  направляются в котел-утилизатор, где происходит генерация пара – рабочего тела ПТУ.

Определить оптимальное давление свежего пара  $P_0^{\text{опт}}$  по максимуму внутренней мощности паровой турбины.

Значения  $P_0$ ; принять в диапазоне **(0,1-10)** МПа (5-6 точек).

Потерями давления пара в тракте пренебречь.

Заданы - температурные напоры на «холодном» конце испарительной зоны  $\Delta t_{II}$  и на «горячем» конце КУ  $\Delta t_{BX}$  :

$\Delta t_{II} = t_{Г-II}^{\text{вых}} - t_{S0}$ , где  $t_{S0}$  - температура насыщения при давлении  $P_0$ ;

$t_{Г-II}^{\text{вых}}$  - температура газов на выходе из испарителя,  $\Delta t_{BX} = t_{Г} - t_0$ .

Выполнить:

1. Изобразить тепловую схему ПГУ.
2. Привести пример расчета действительную мощности ПТУ  $N_i^{\text{ПТУ}}$  для одного из значений  $P_0$ .
3. Построить Q, T- диаграмму для одного значения  $P_0$
4. Привести результаты расчета параметров и показателей работы КУ и ПТУ для всех значений  $P_0$  (в виде таблицы).
5. Графически проанализировать влияние начального давления  $P_0$  на показатели работы паровой турбины:
  - На расход пара на турбину  $D_0$ ;
  - На действительный теплоперепад паровой турбины  $H_i$ ;
  - На действительную мощность ПТУ  $N_i^{\text{ПТУ}}$
6. Рассчитать электрическую мощность ПГУ  $N_{Э}^{\text{ПГУ}}$  и эл. КПД ПГУ .

Принять:

$k=1,4$ ;

$m=(k-1)/k$ ;

коэффициент расхода топлива  $\mu=0$  (расход продуктов горения = расходу воздуха);

Средние теплоемкости:

ГТ -  $c_p^Г = 1,12$  кДж/(кг·К);

К-  $c_p^В = 1,03$  кДж/(кг·К);

КУ -  $c_p^КУ = 1,08$  кДж/(кг·К).

Механический КПД ГТУ и ПТУ  $\eta_M - 0,99$ , КПД эл. Генератора  $\eta_{Г} - 0,995$ .

КПД камеры сгорания  $\eta_{КС} = 0,98$ .

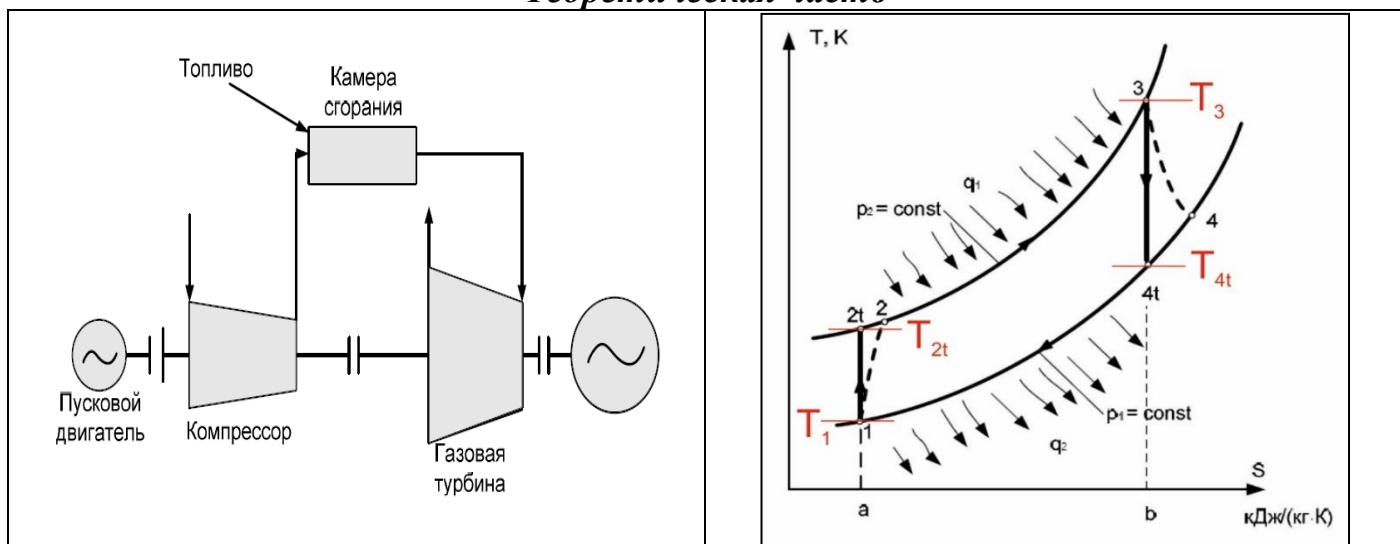
Потерями давления рабочего тела в газо-воздушном и паро-водяной трактах пренебречь.

Потерями теплоты в поверхностях нагрева КУ пренебречь.

## Исходные данные 5В7Б

№ Вар.	Параметры							
	$G_T$	$t_3$	$t_1$	$\eta_{oi}^T$	$\eta_{oi}^K$	$\Delta t_{II}$	$\Delta t_{BX}$	$P_K$
	кг/с	°C	°C	-		°C	°C	МПа
1	100	900	10	0,85	0,84	10	15	0,1
2	110	800	11	0,85	0,84	10	10	0,1
3	120	880	15	0,86	0,84	10	10	0,1
4	130	900	18	0,86	0,85	15	8	0,1
5	140	950	20	0,87	0,86	7	15	0,1
6	150	1000	23	0,87	0,86	8	10	0,07
7	160	1050	25	0,84	0,85	15	15	0,07
8	170	1100	28	0,87	0,84	10	12	0,07
9	180	1200	10	0,85	0,85	7	10	0,07
10	190	900	10	0,85	0,85	8	15	0,07
11	200	800	10	0,88	0,87	10	10	0,12
12	180	950	15	0,88	0,87	5	10	0,12

### Теоретическая часть



**Рис. 1. Схема простой ГТУ**

**Рис.2. Цикл ГТУ**

#### Основные расчетные формулы цикла ГТУ

$$T_{2t} = T_1 \cdot \varepsilon^m$$

$$T_{4t} = T_3 \cdot \varepsilon^{-m}$$

$$\eta_{oi}^T = \frac{T_3 - T_{4t}}{T_3 - T_1}$$

$$\eta_{oi}^K = \frac{T_{2t} - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$\eta_{ГТУi} = \frac{l_{ГТУ}}{q_{KC}}$$

$$l_{Tt} = (T_3 - T_{4t}) \cdot c_p^2, \text{кДж/кг}$$

$$l_{Kt} = (T_{2t} - T_1) \cdot c_p^6, \text{кДж/кг}$$

$$l_T = l_{Tt} \cdot \eta_{oi}^T$$

$$l_K = l_{Kt} / \eta_{oi}^K$$

$$l_{ГТУ} = l_T - l_K$$

$$q_{KC} = (T_3 - T_2) / \eta_{KC}$$

$$N_{ГТУi} = l_{ГТУ} \cdot G_2, \text{кВт}$$

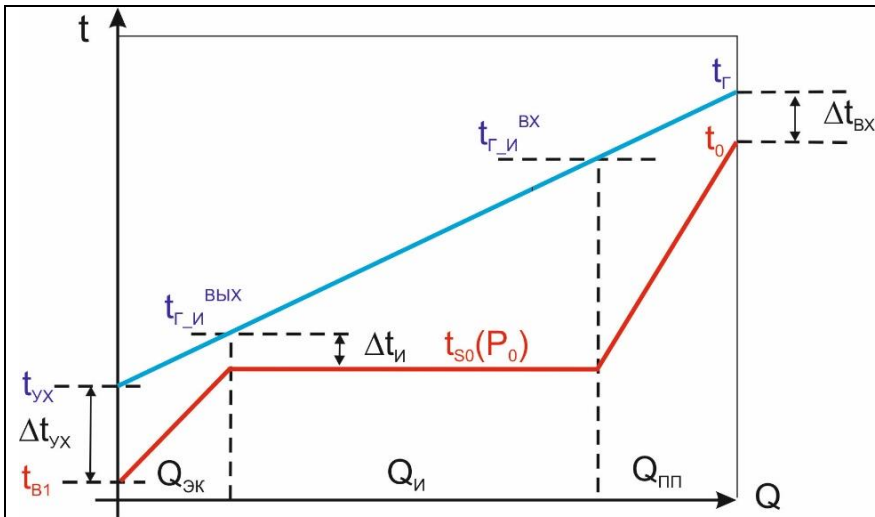


Рис.2.  $t, Q$ -диаграмма парогенератора ПГУ

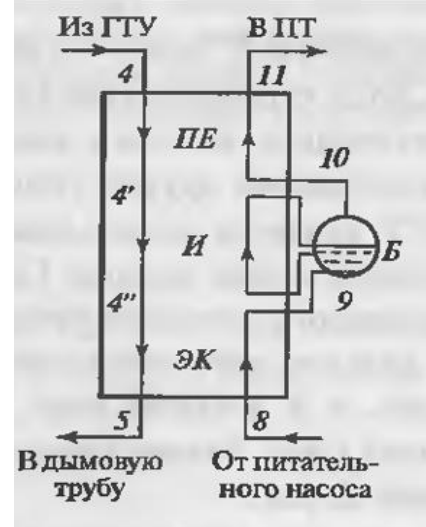


Рис. 3. Схема КУ

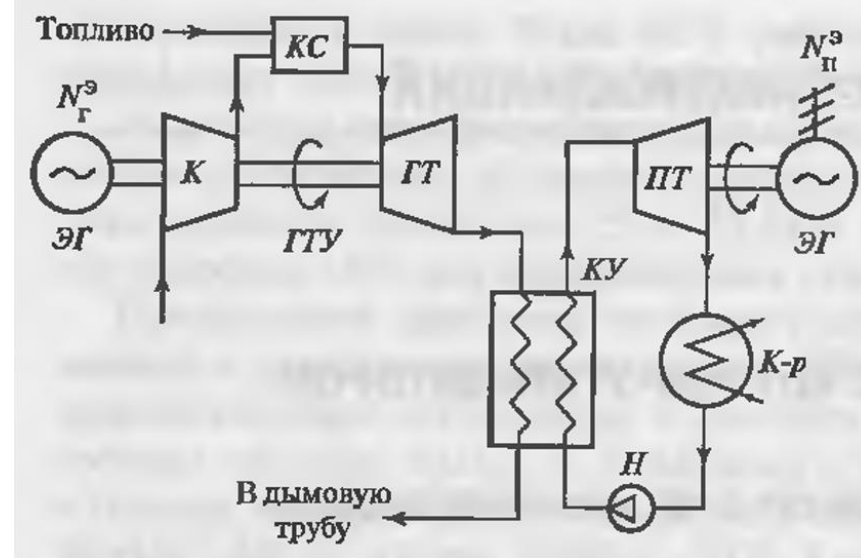


Рис.4. Схема ПГУ

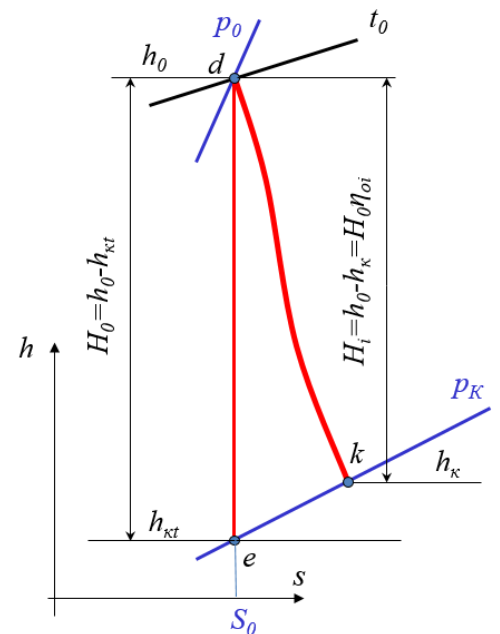


Рис. 5. Процесс расширения пара в паровой турбине

### Основные расчетные формулы параметров теплоносителей КУ

Задаваясь значением  $P_0$ , определяют:

$$t_{S0} = f(P_0);$$

$$t_{2\_И}^{в\text{ых}} = t_{S0} + \Delta t_{И}$$

$$t_0 = t_{Г} - \Delta t_{ВХ};$$

$$(P_0, t_0) \rightarrow h_0, S_0$$

$$P_0 \rightarrow t_{S0}, h'_0, h''_0.$$

$$\text{По давлению в конденсаторе: } P_K \rightarrow t_{SK}, h'_K$$

**Уравнения тепловых балансов для поверхностей нагрева КУ (пароперегреватель, испаритель, экономайзер):**

$$\text{ПП: } Q_{\text{ПП}} = G_{\Gamma} \cdot c_P \cdot (t_{\Gamma} - t_{\Gamma\_И}^{\text{ex}}) = D_0 \cdot (h_0 - h_0'') \quad , \text{ кВт}$$

$$\text{И: } Q_{\text{И}} = G_{\Gamma} \cdot c_P \cdot (t_{\Gamma\_И}^{\text{ex}} - t_{\Gamma\_И}^{\text{вх}}) = D_0 \cdot (h_0'' - h_0') \quad , \text{ кВт}$$

$$\text{Э: } Q_{\text{Э}} = G_{\Gamma} \cdot c_P \cdot (t_{\Gamma\_И}^{\text{вх}} - t_{\text{УХ}}) = D_0 \cdot (h_0' - h_K') \quad , \text{ кВт}$$

**Расход пара на турбину (объединяя уравнения для ПП и И):**

$$G_{\Gamma} \cdot c_P \cdot (t_{\Gamma} - t_{\Gamma\_И}^{\text{вх}}) = D_0 \cdot (h_0 - h_0')$$

**Параметры пара в процессе расширения**

$$(P_k, S_0) \rightarrow h_{Kt};$$

$$h_K = h_0 - (h_0 - h_{Kt}) \cdot \eta_{oi}^T;$$

$$H_i = h_0 - h_K.$$

**Действительная мощность паровой турбины:**

$$N_i = D_0 \cdot N_i, \text{ кВт}$$

**Электрическая мощность ПГУ:**

$$N_{\text{Э}}^{\text{ПГУ}} = (N_i^{\text{ГТУ}} + N_i^{\text{ПТУ}}) \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Gamma}, \text{ кВт}$$

**Электрический КПД ПГУ:**

$$\eta_{\text{Э}}^{\text{ПГУ}} = \frac{N_{\text{Э}}^{\text{ПГУ}}}{G_{\Gamma} \cdot q_{\text{КС}}}$$