

## 8.5. ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК.

- Газотурбинные установки (ГТУ) имеют многие важные преимущества по сравнению с поршневыми двигателями. Газовые турбины имеют относительно небольшие габариты и малую массу, в них нет деталей с возвратно-поступательным движением, они могут выполняться с достаточно большими единичными мощностями.
- В газовых турбинах отсутствует основной недостаток поршневых двигателей – невозможность расширения рабочего тела в цилиндре двигателя до атмосферного давления.
- Практическое применение нашли ГТУ со сгоранием топлива при постоянном давлении и постоянном объеме. Им соответствуют идеальные циклы с подводом теплоты в процессе при постоянном давлении и постоянном объеме.

## 8.6. ЦИКЛЫ ГТУ С ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ

- Принципиальная схема ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении приведена на рис. 9.1. Рассмотрим принцип действия установки.
- В камеру сгорания (КС) через форсунки поступают воздух из осевого компрессора (ОК) и топливо из топливного насоса (ТН). Из камеры сгорания горячие газы через комбинированные сопла направляются на лопатки газовой турбины (ГТ), а затем выбрасываются в атмосферу. ЭГ – электрогенератор.
- Идеальный цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме в  $p$ - $v$ - и  $T$ - $s$ -диаграммах представлен на рис. 9.2 и 9.3.
- В адиабатном процессе 1–2 происходит сжатие рабочего тела от параметров точки 1 до параметров точки 2. В изобарном процессе 2–3 к рабочему телу подводится некоторое количество теплоты  $q_1$  от верхнего источника теплоты. По адиабате 3–4 рабочее тело расширяется до первоначального давления  $p_4 = p_1$  и по изобаре 4–1 приводится к параметрам точки 1 с отводом теплоты  $q_2$  к нижнему источнику теплоты.

- **Характеристики цикла:**

- степень повышения давления в компрессоре  $\beta = \frac{p_2}{p_1}$  ;

- степень изобарного расширения  $\rho = \frac{v_3}{v_2}$  .

- **Количества подводимой и отводимой теплоты определяются по формулам**

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2);$$

$$q_2 = c_p (T_4 - T_1).$$

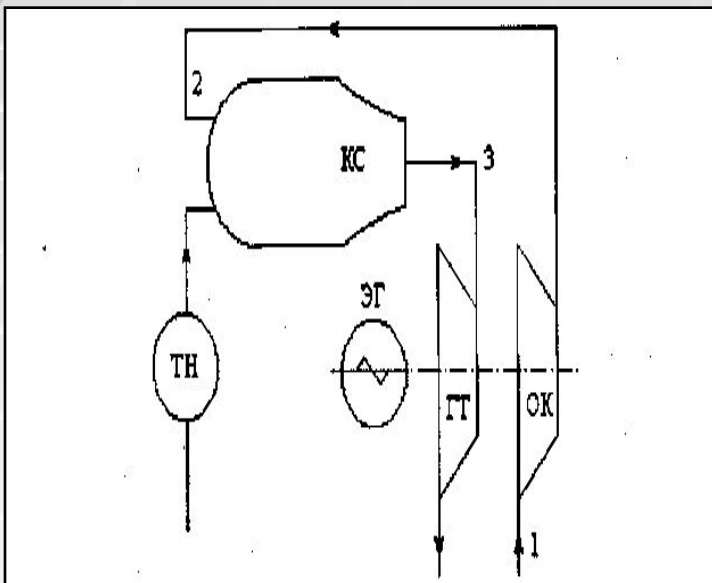


Рис. 9.1.

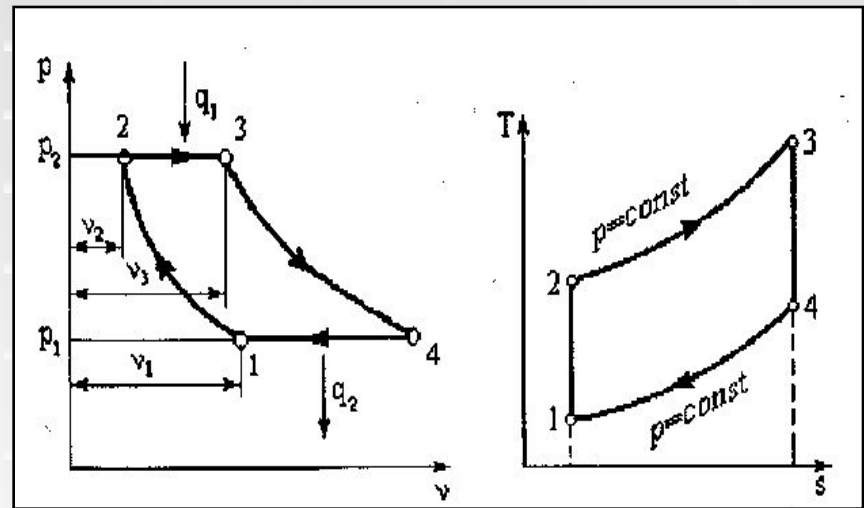


Рис. 9.2.

Рис. 9.3.

- С учетом последних соотношений формула для термического КПД будет 
$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} .$$

- Найдем выражения температур  $T_2, T_3, T_4$  через начальную температуру  $T_1$  рабочего тела. Для адиабатного процесса 1–2

справедливо следующее соотношение 
$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} .$$

- В изобарном процессе 2–3

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \rightarrow T_3 = T_2 \rho = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho .$$

- В адиабатном процессе 3–4

$$\frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} = T_1 \rho .$$

- Подставляя найденные значения температур в формулу для КПД,

получим 
$$\eta_t = 1 - \frac{T_1 \rho - T_1}{T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} \rho - T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{\rho - 1}{(\rho - 1) \beta^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}} .$$

- Отсюда следует, что с увеличением степени повышения давления  $\nu$  и показателя адиабаты  $k$ , кпд ГТУ с подводом теплоты в процессе при постоянном давлении возрастает.

- Однако термический кпд еще не может служить мерой экономичности установки. Эту роль выполняет эффективный кпд ГТУ

$$\eta_e = \frac{l_e}{q_1},$$

- где  $l_e$  – эффективная работа (полезная работа на валу двигателя с учетом внутренних и механических потерь в установке).

- Эффективная работа определяется как разность действительных работ расширения и сжатия  $l_e = (i_3 - i_4)\eta_T\eta_M - (i_2 - i_1)/\eta_{ад}^k$ ,

где  $\eta_T = 0,8-0,9$  – внутренний относительный кпд газовой турбины;  
 $\eta_M = 0,8-0,85$  – адиабатный кпд турбокомпрессора;  $\eta_M$  – механический кпд.

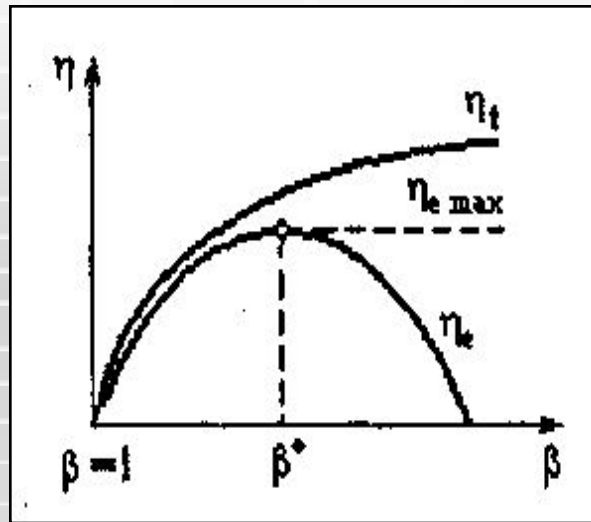


Рис. 9.4.

- Кривые зависимости  $\eta_t$  и  $\eta_e$  от  $\beta = p_2 / p_1$  имеют следующий вид (рис. 9.4). Как видно, по мере увеличения  $b$   $\eta_e$  сначала растет, а потом уменьшается и может упасть до нуля. Поэтому стараются так выбирать  $b$ , чтобы  $b \leq b^*$ .

## 8.7. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО КПД ГТУ

- Для повышения кпд ГТУ применяют следующие методы:
- Регенерация теплоты.
- Многоступенчатое сжатие воздуха с промежуточным охлаждением.
- Многоступенчатое сгорание топлива.
- Все эти мероприятия приближают цикл ГТУ к обобщенному термодинамическому циклу Карно, состоящему из двух изотерм и двух эквидистант, который имеет наивысший кпд в заданном интервале температур, равный кпд обычного цикла Карно. В частности, применение многоступенчатого сжатия и многоступенчатого сгорания позволяет приблизить эти процессы к изотермическим (вместо адиабатных). Причем, степень приближения процессов сжатия и сгорания к изотермическим будет тем выше, чем большее число ступеней будет применено (см. рис. 9.5, 9.6).

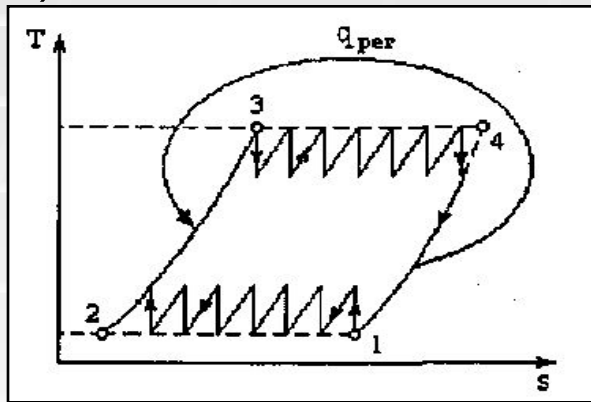


Рис. 9.5.

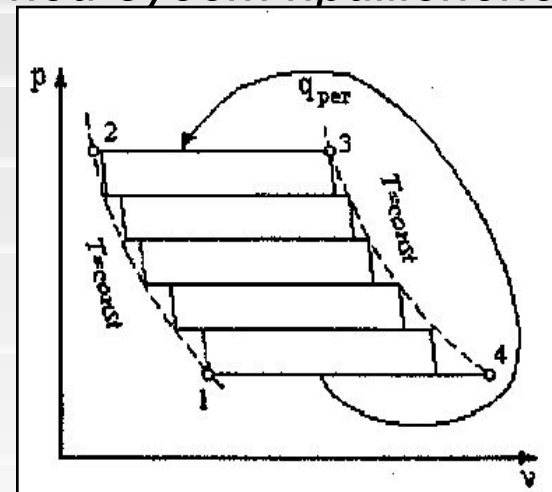


Рис. 9.6.