

## Часть 1

# Техническая термодинамика

### Занятие 7

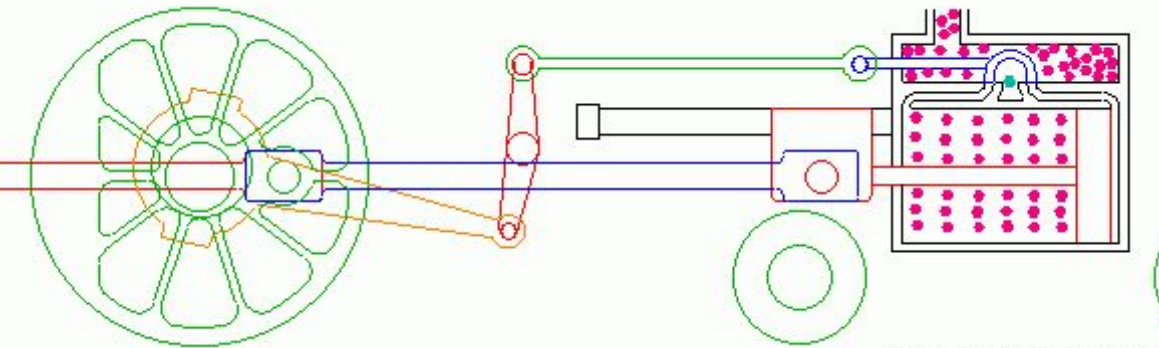
Циклы теплосиловых установок. Термодинамическая эффективность циклов теплосиловых установок. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Цикл газотурбинной установки. Цикл паротурбинной установки. Парогазовые циклы.

# Циклы теплосиловых установок

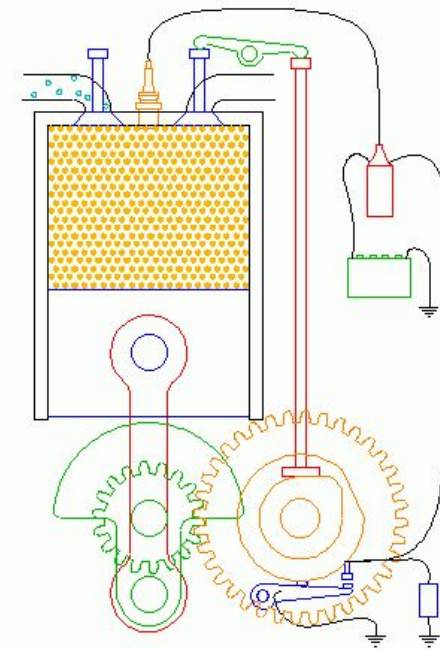
## Тепловые двигатели

с внешним  
подводом  
теплоты

с внутренним  
подводом  
теплоты



Copyright 2000, Kevoney.com

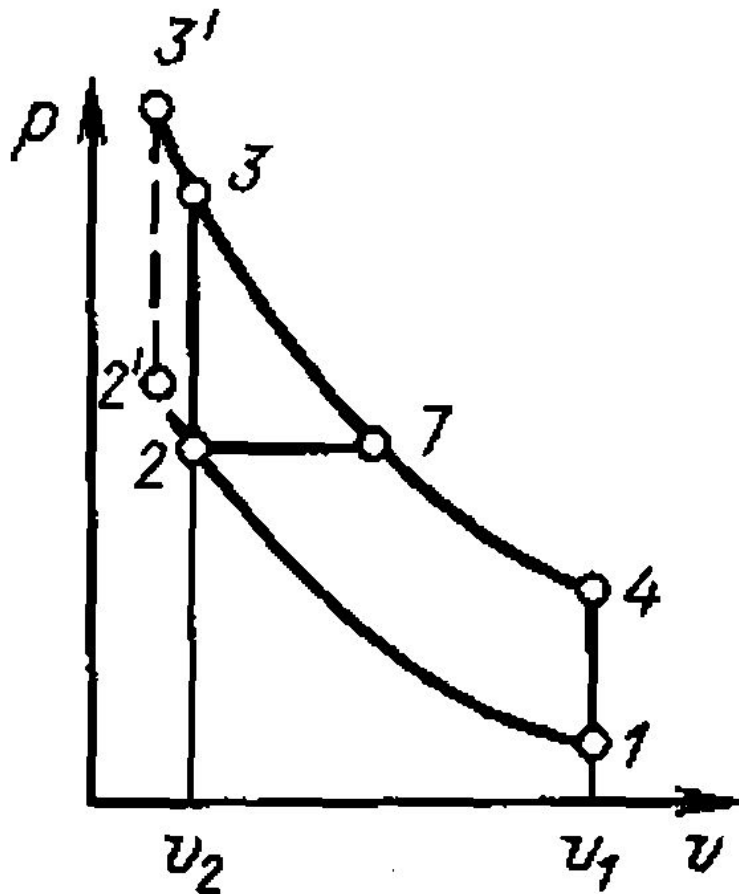


Copyright 2000, Kevoney.com

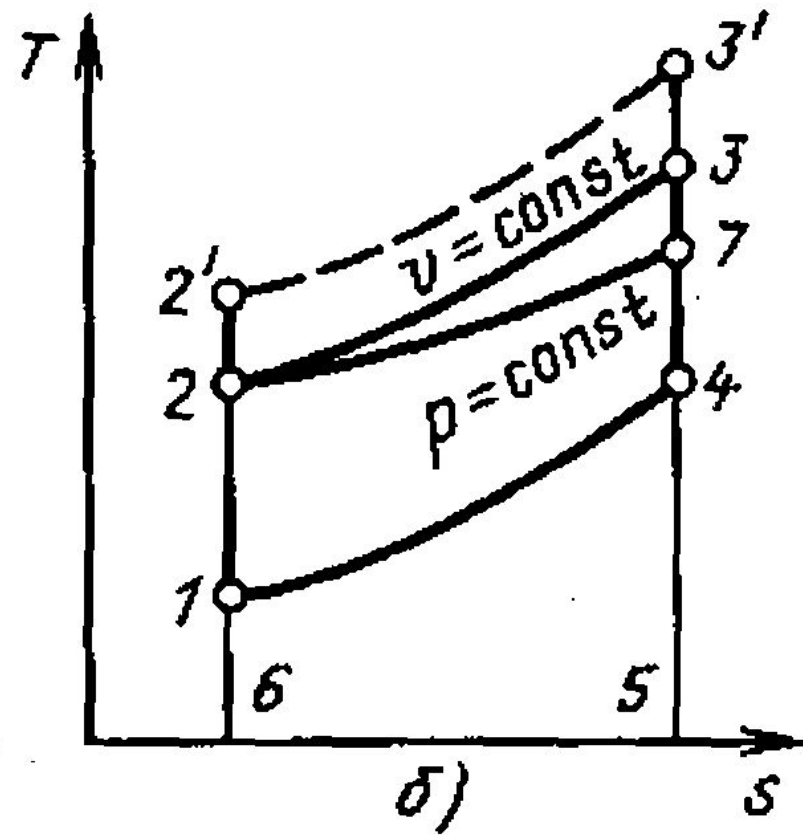
# Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

# Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Цикл в  $p$ - $v$  координатах



Цикл в  $T$ - $S$  координатах



# Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

## Показатели цикла

**Степень сжатия двигателя  $\varepsilon$**  - отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания.

$$\varepsilon = v_1/v_2.$$

**Термический к.п.д. двигателя** для изохорного процесса:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} =$$

# Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

$$\begin{aligned}\eta_t &= 1 - \frac{q_2}{q_1} = \\ &= 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)T_1}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)T_2}\end{aligned}$$

# Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Принимая одинаковые адиабаты процессов сжатия и расширения:

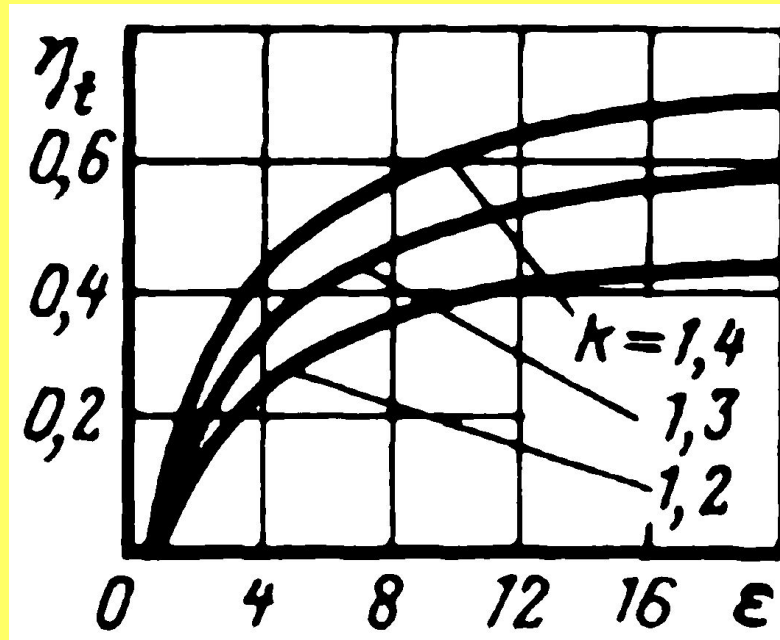
$$pv^k = \text{const}; \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}; \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{k-1} \quad \longrightarrow \quad \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1} = \varepsilon^{k-1}$$

# Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Для рассматриваемого цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

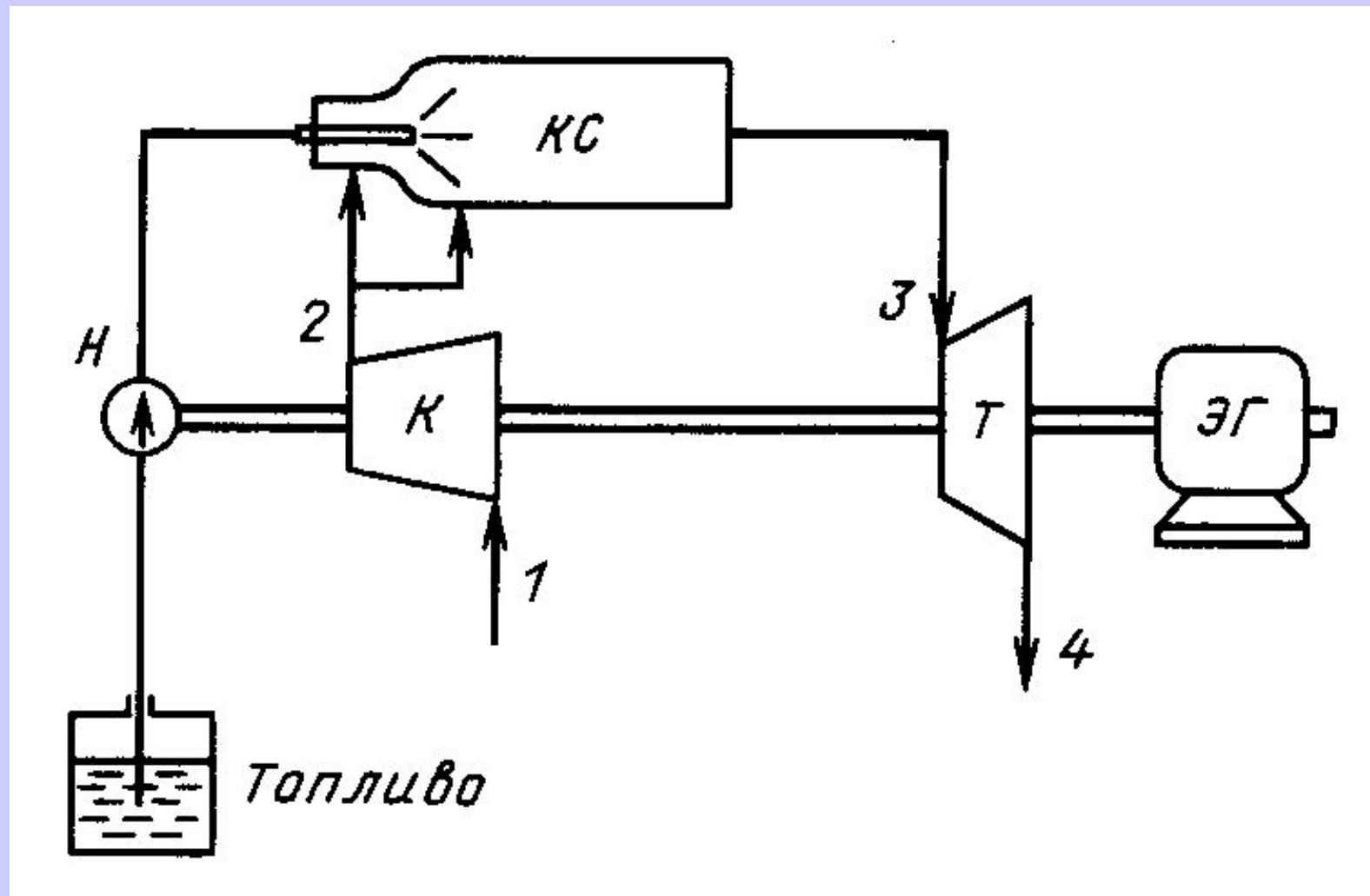




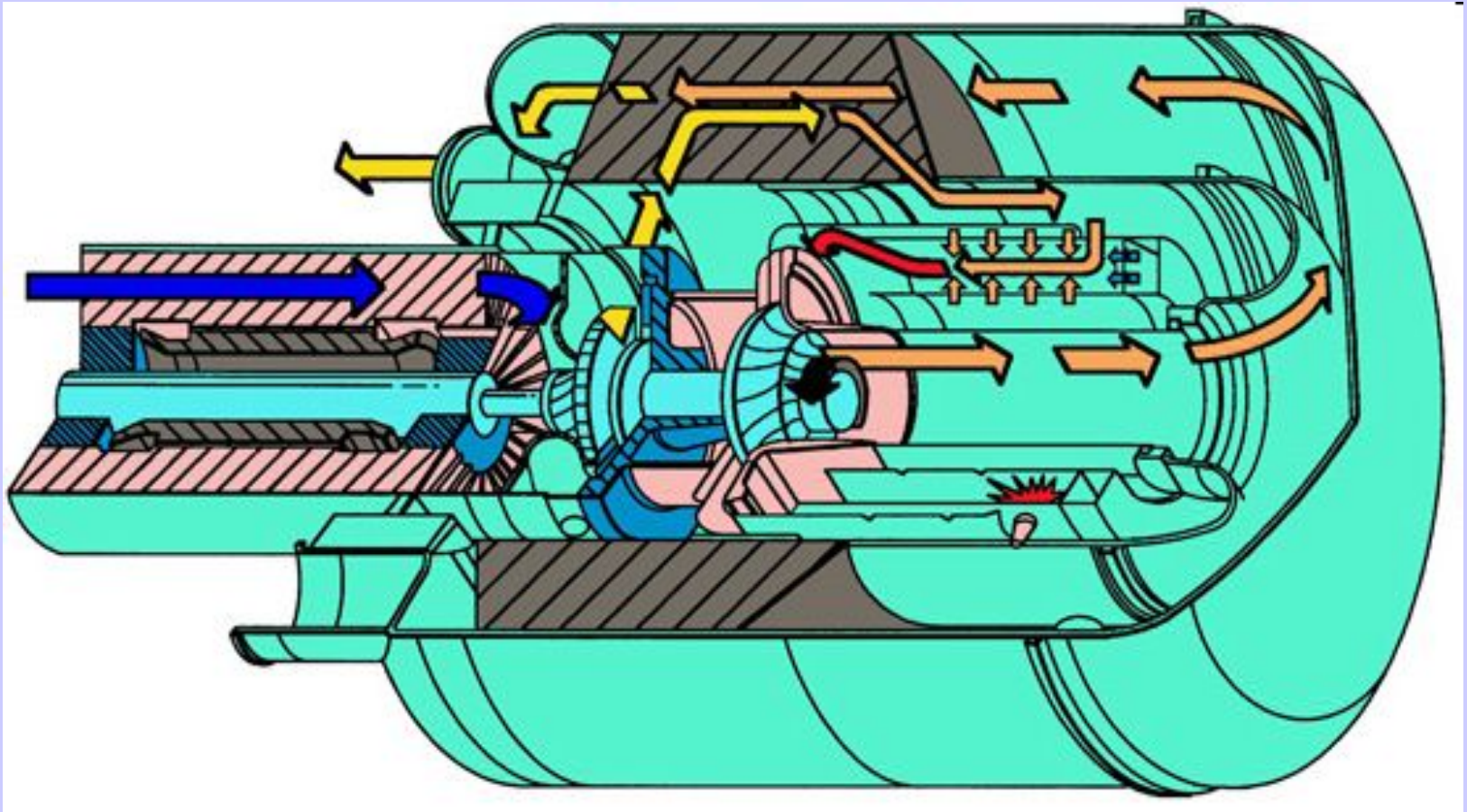
# **Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания**

- 1. ДВС имеют самый высокий из тепловых машин к.п.д.**
- 2. Невозможность создания ДВС большой мощности из-за наличия возвратно-поступательно движущихся частей**
- 3. Применение в качестве двигателей транспортных установок.**

# Схема газотурбинной установки

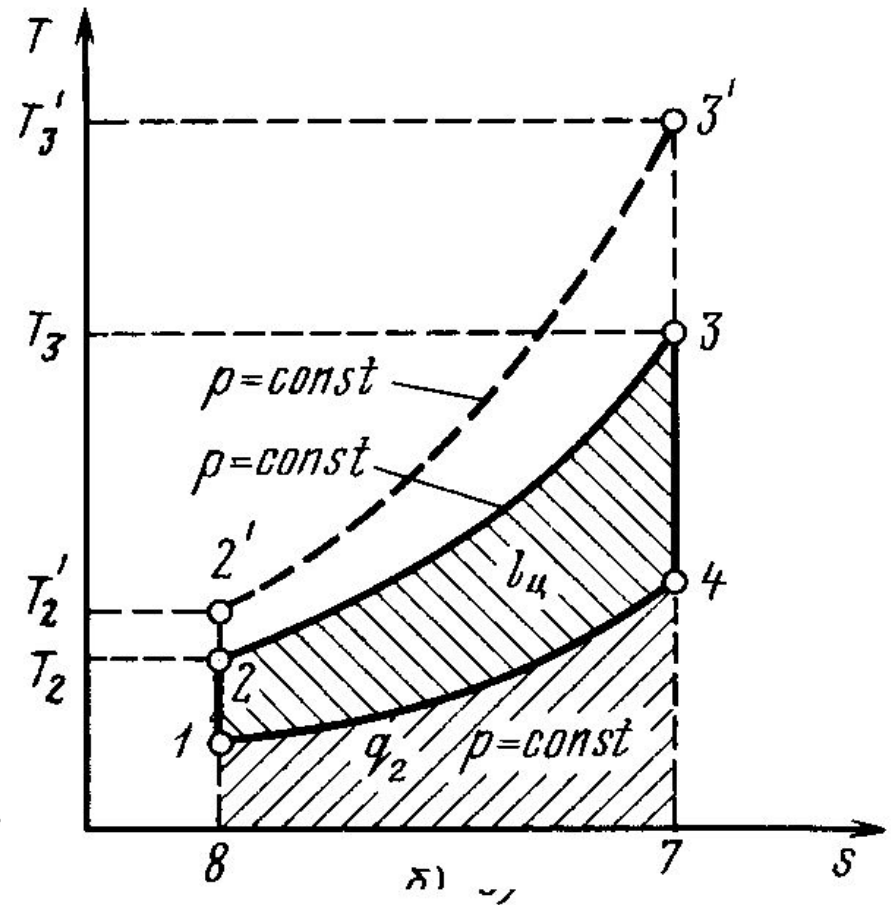
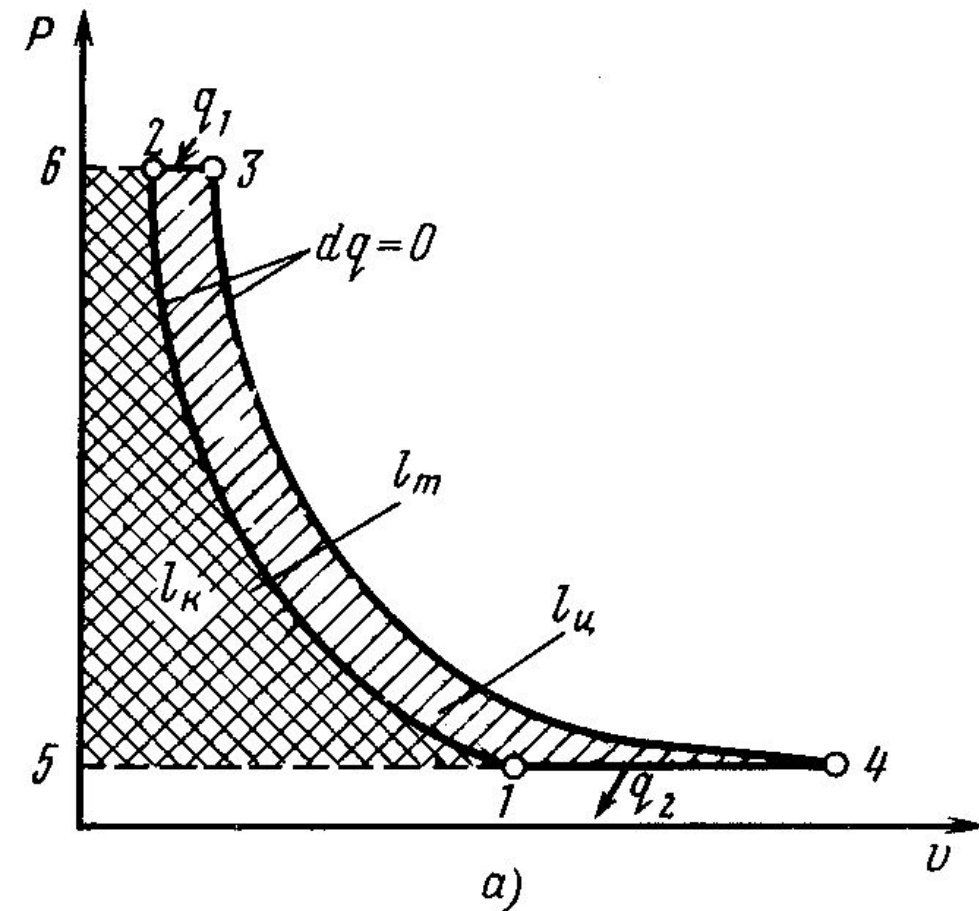


# Устройство газотурбинной генераторной установки



# Цикл Брайтона:

1. адиабатическое сжатие воздуха
2. сжигание при постоянном давлении
3. адиабатическое расширение обратно до начального давления



К.п.д. идеального цикла ГТУ:

$$\begin{aligned}\eta_t &= 1 - \frac{q_2}{q_1} = \\ &= 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)T_1}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)T_2}\end{aligned}$$

Степень повышения давления в компрессоре  $\pi$

$$\pi = \frac{p_2}{p_1}$$

Тогда:


$$pv^k = \text{const}; \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}; \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}$$

# Показатели цикла ГТУ

Запишем:

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_4}{T_3} \frac{T_3}{T_2} \frac{T_2}{T_1} \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Поскольку:  $p_4 = p_1, p_3 = p_2$    $\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$

Получаем:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}$$

## Показатели цикла ГТУ

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}$$

При  $k=1,33$  имеем:

|              |    |    |    |    |
|--------------|----|----|----|----|
| $\pi$        | 2  | 3  | 4  | 5  |
| $\eta_t, \%$ | 16 | 24 | 29 | 33 |

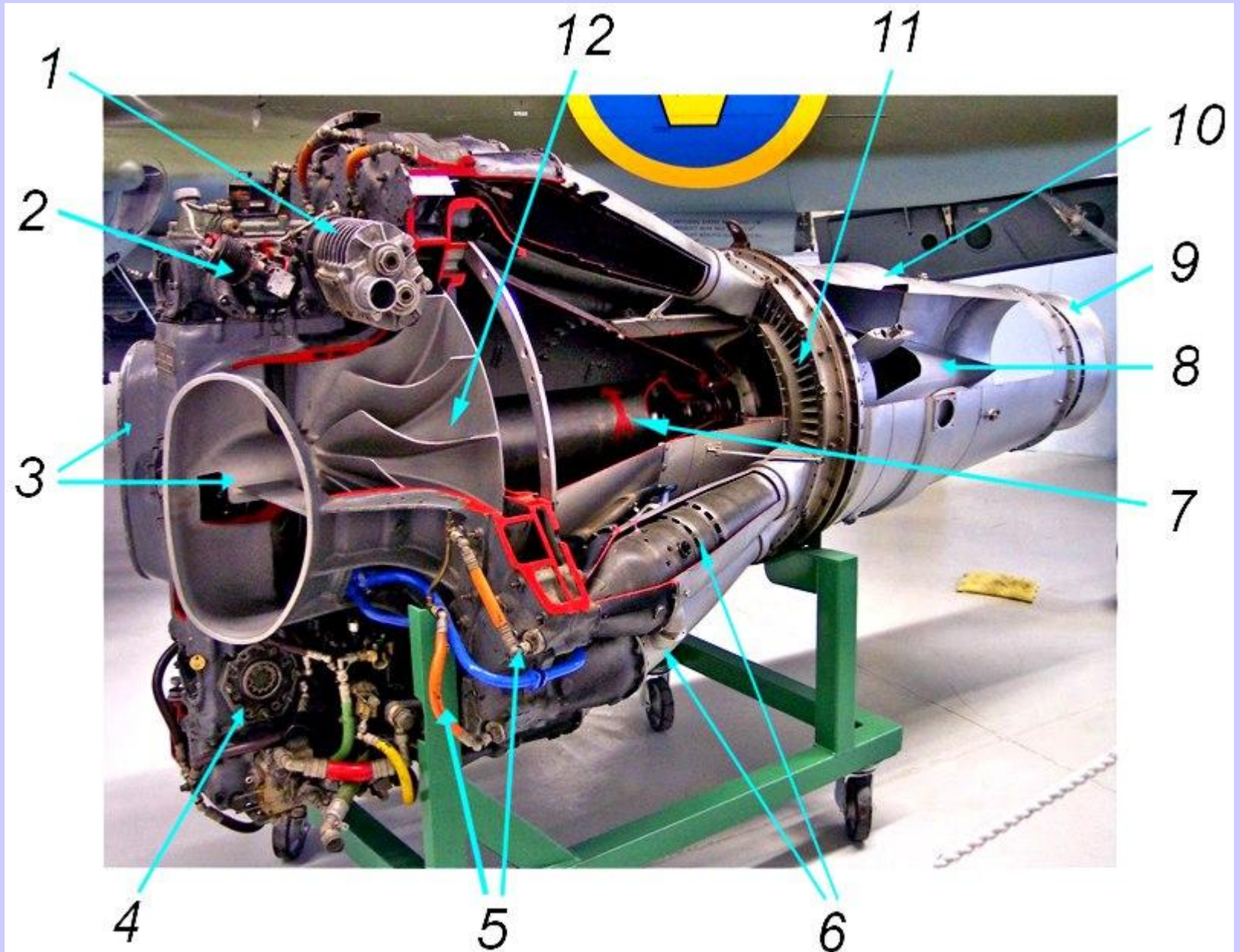
|              |    |      |      |      |
|--------------|----|------|------|------|
| $\pi$        | 6  | 7    | 8    | 10   |
| $\eta_t, \%$ | 36 | 38,5 | 40,5 | 43,5 |



# Применение газотурбинных установок

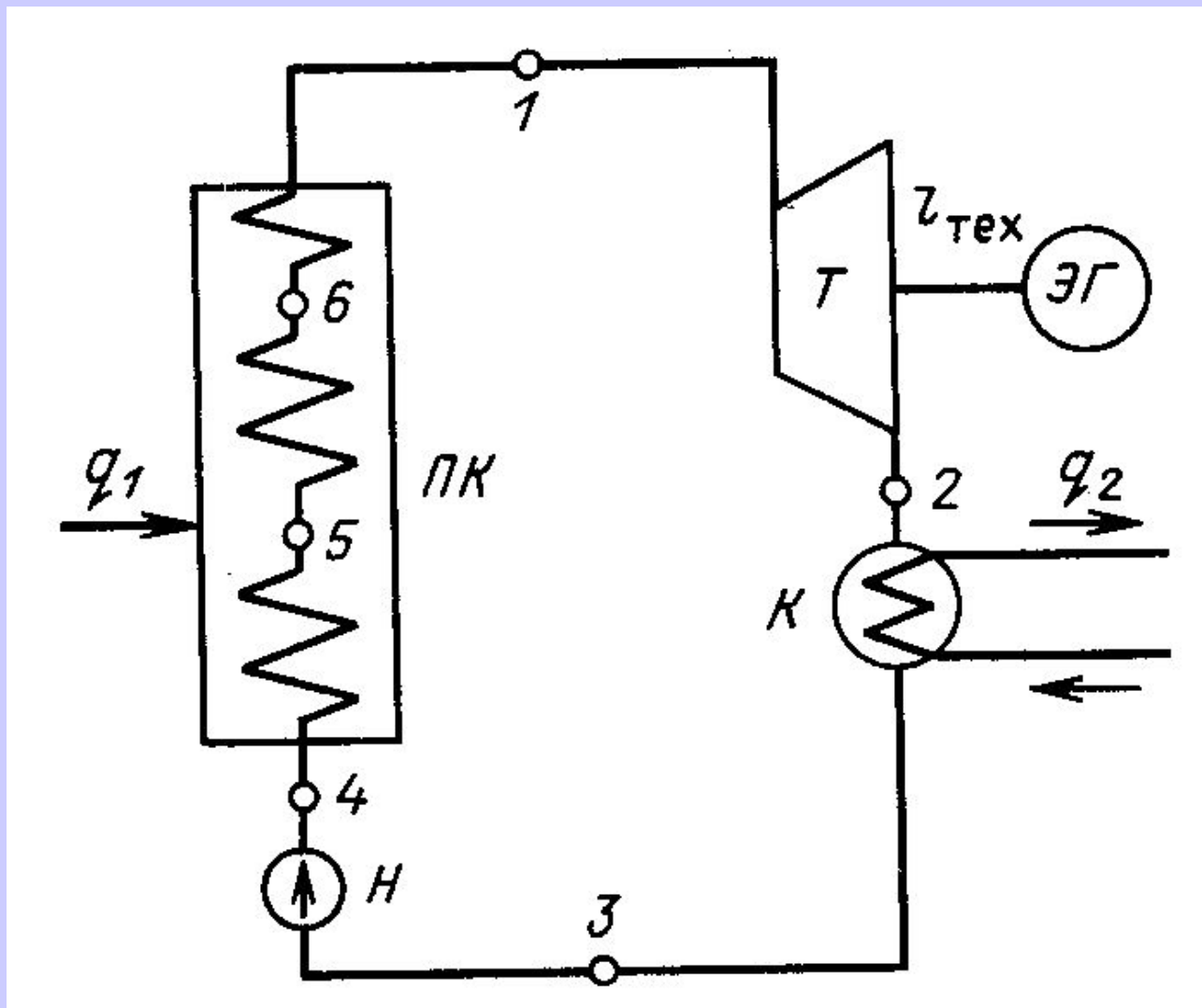
- 1. Мощность ГТУ 100-200 МВт.**
- 2. Применение в качестве двигателей крупных транспортных установок и маневренных энергетических установок.**
- 3. В авиации используют реактивные ГТД.**

# Реактивный газотурбинный двигатель



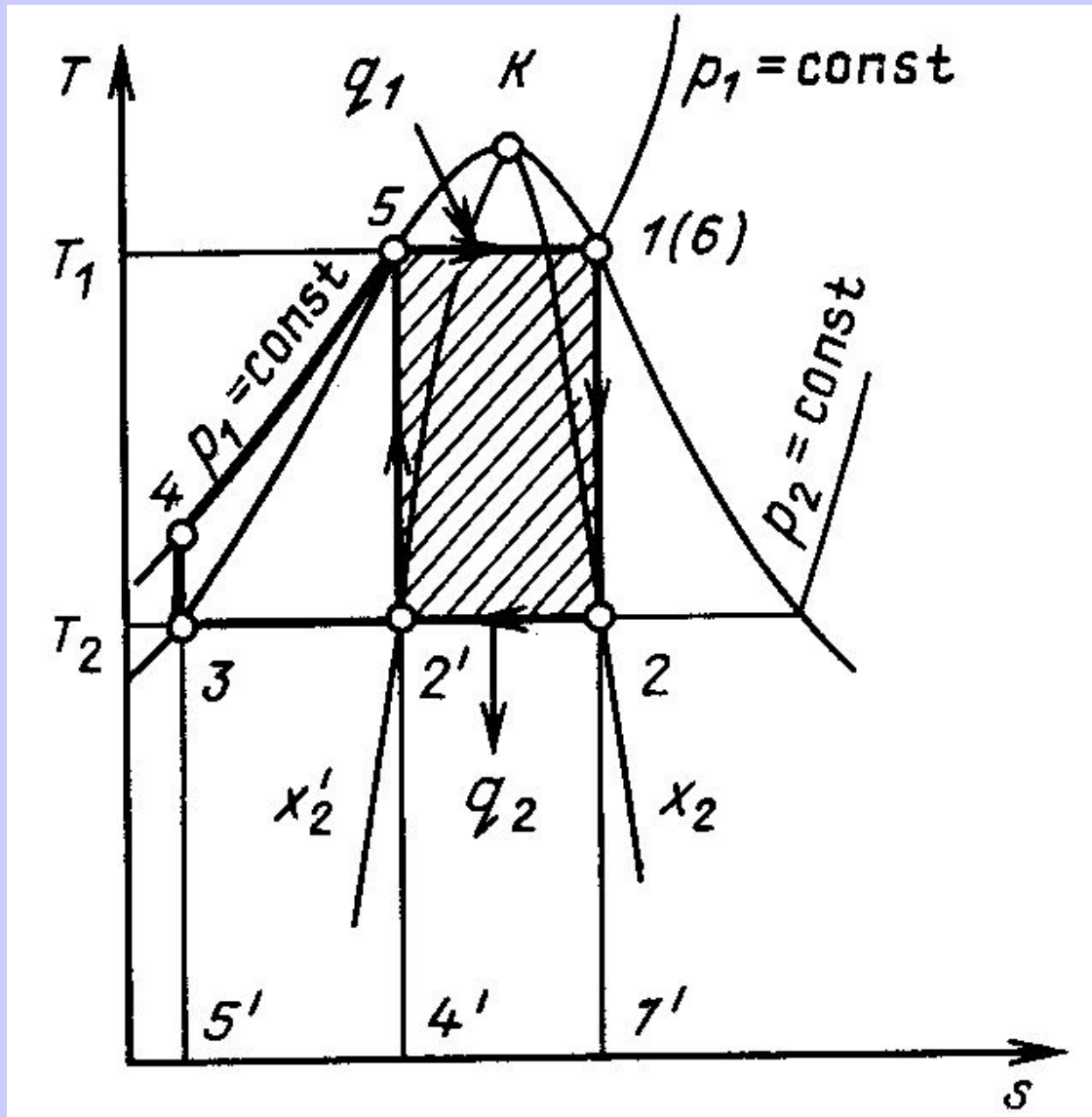
# Цикл паротурбинных установок

## Технологическая схема паротурбинной установки



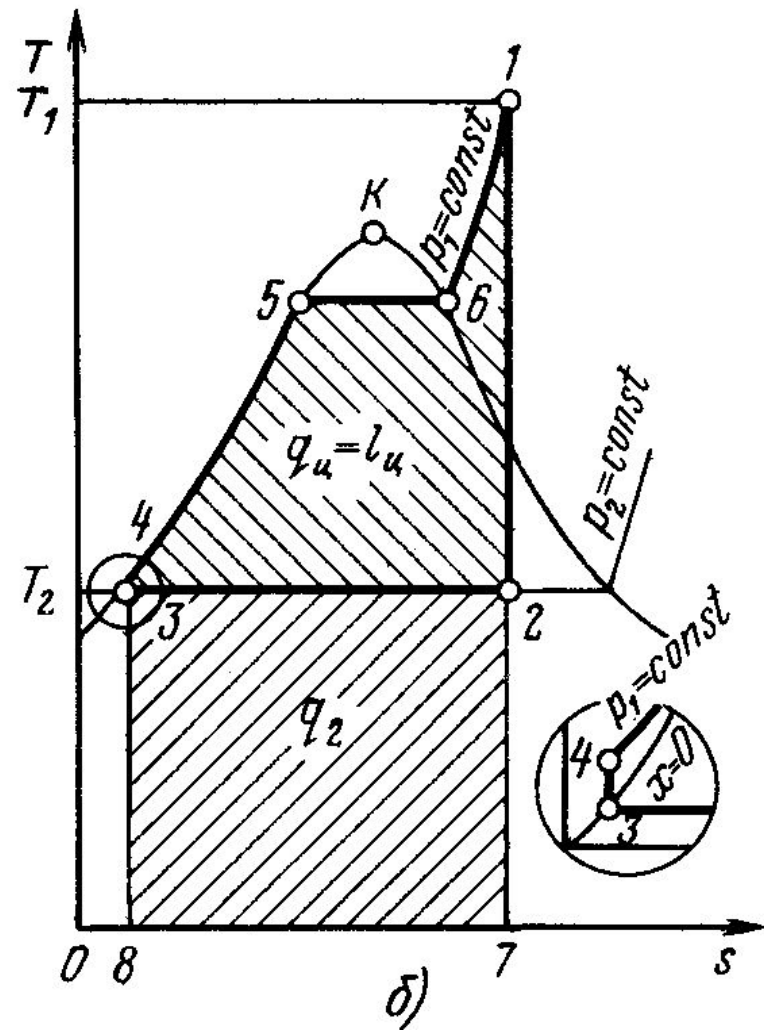
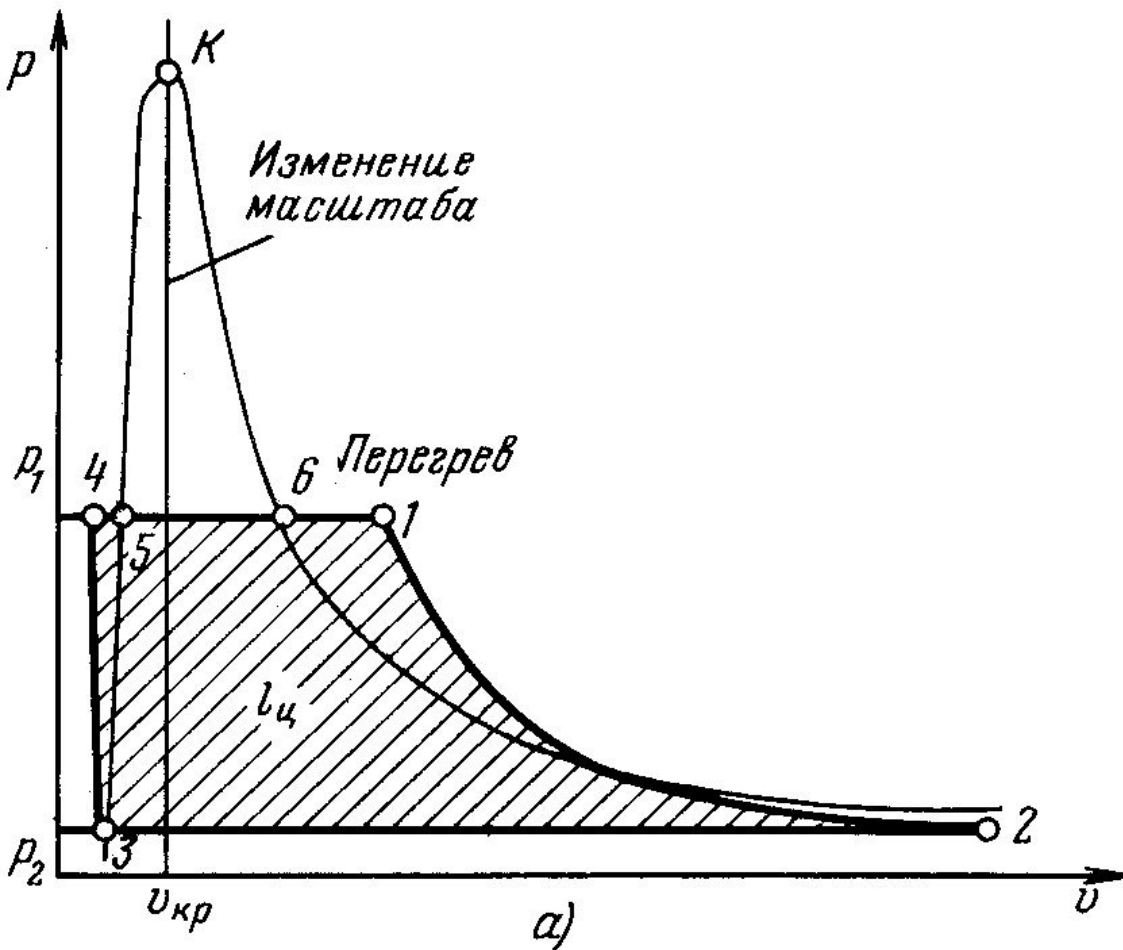
# Цикл паротурбинных установок

## Цикл Ренкина насыщенного пара



# Цикл паротурбинных установок

## Цикл Ренкина на перегретом паре



# Цикл паротурбинных установок

## Показатели паротурбинных установок

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

Для изобарного процесса:

$$q_1 = i_1 - i_4 \qquad q_2 = i_2 - i_3$$

$$\eta_t = 1 - \frac{i_2 - i_3}{i_4 - i_1}$$

**При  $p_1=9,8$  МПа и  $p_2=3,9$  кПа :**

|                               |      |     |      |      |
|-------------------------------|------|-----|------|------|
| $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$ | 350  | 400 | 500  | 600  |
| $\eta_t, \%$                  | 40,5 | 41  | 42,5 | 44,5 |



# Парогазовые циклы

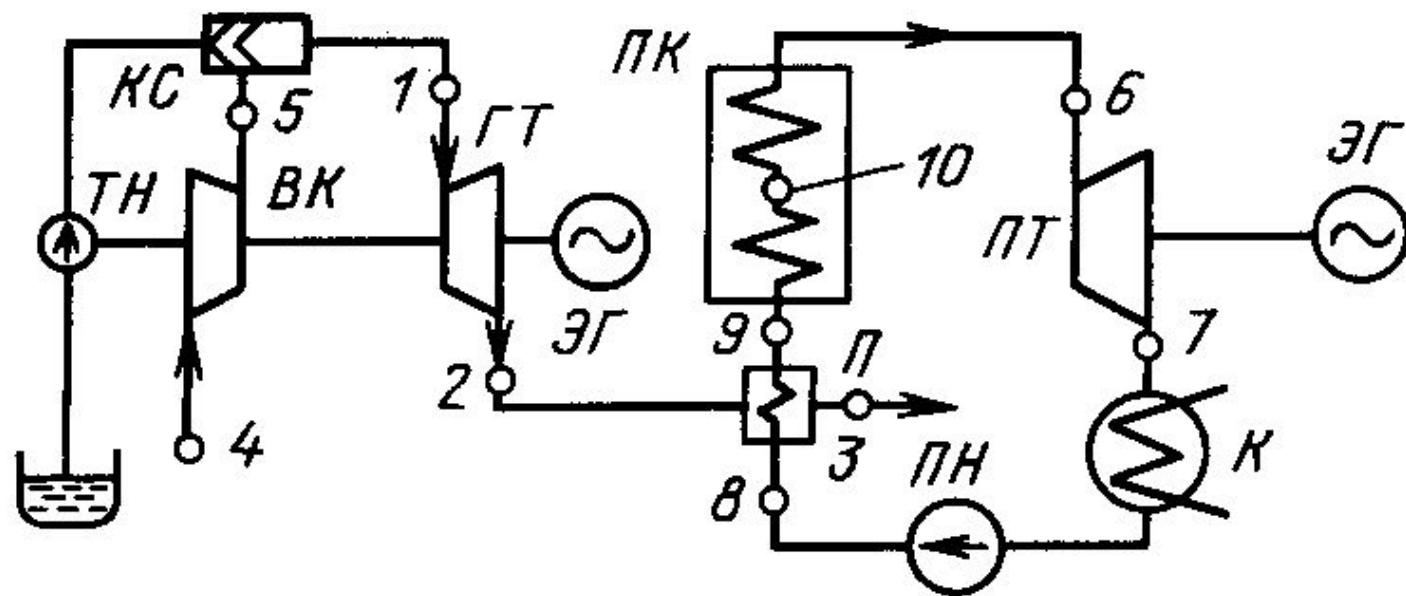


Схема простейшей парогазовой установки:

*ГТ* — газовая турбина; *ЭГ* — электрогенератор;  
*ПК* — паровой котел; *ПН* — питательный насос;  
*К* — конденсатор; *ПТ* — паровая турбина; *ВК* —  
воздушный компрессор; *КС* — камера сгорания;  
*ТН* — топливный насос; *П* — подогреватель

# Парогазовые циклы

