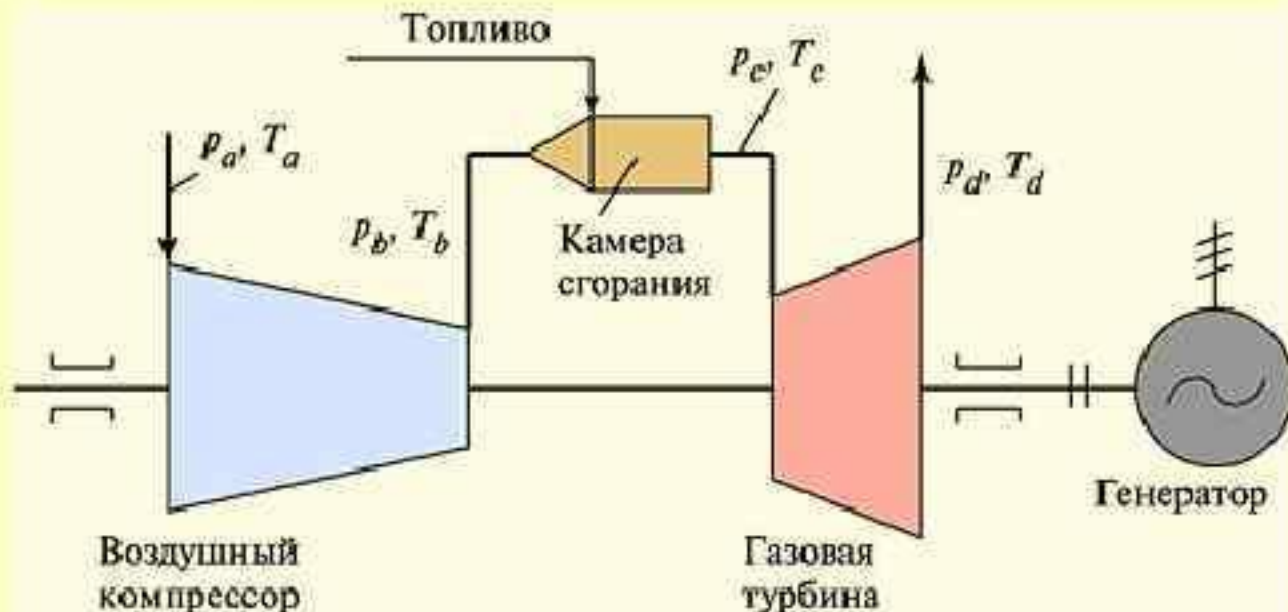


Циклы ГТУ



Циклы газотурбинных установок (ГТУ)

Превращение теплоты в работу осуществляется в нескольких агрегатах ГТУ.



Воздушный компрессор сжимает атмосферный воздух, повышая его давление, и непрерывно подает его в камеру сгорания. Туда же топливным насосом непрерывно подается жидкое или газообразное топливо

Циклы газотурбинных установок (ГТУ)

Циклы ГТУ делятся на две группы:

□ Простые:

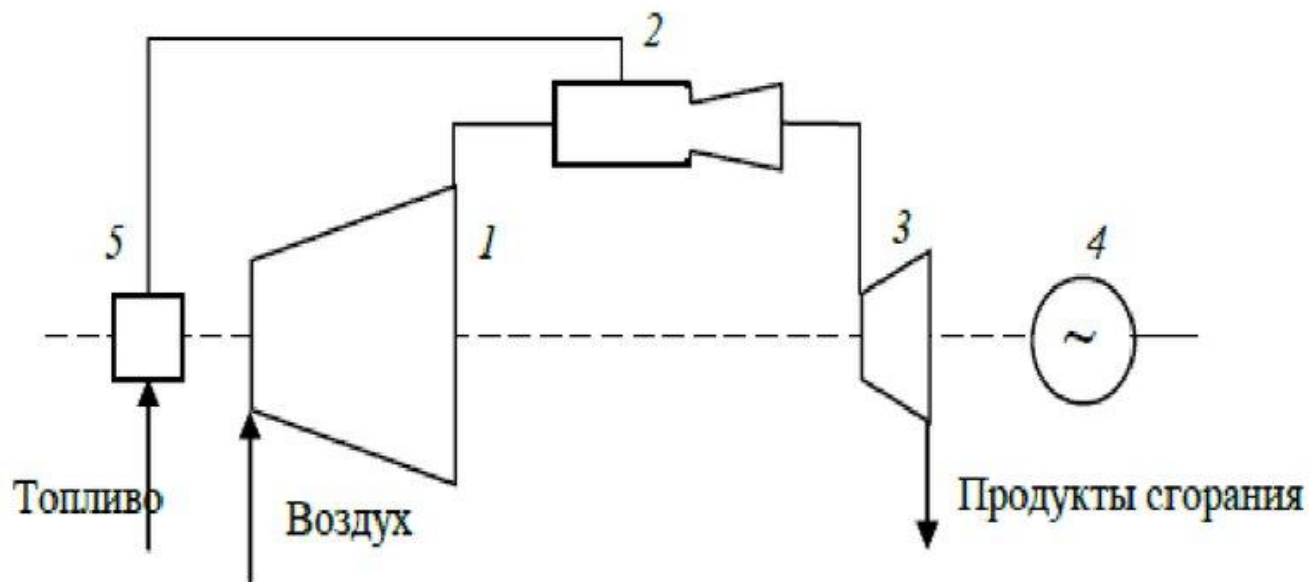
В соответствии со способом сгорания топлива ГТУ делятся на две группы:

- С подводом теплоты при **$P = \text{const}$**
- С подводом

Сложные:

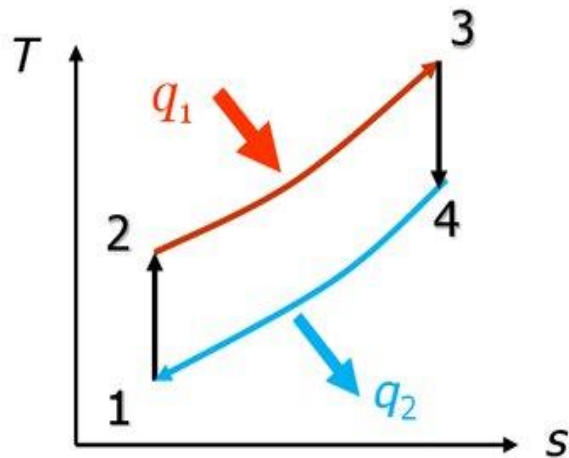
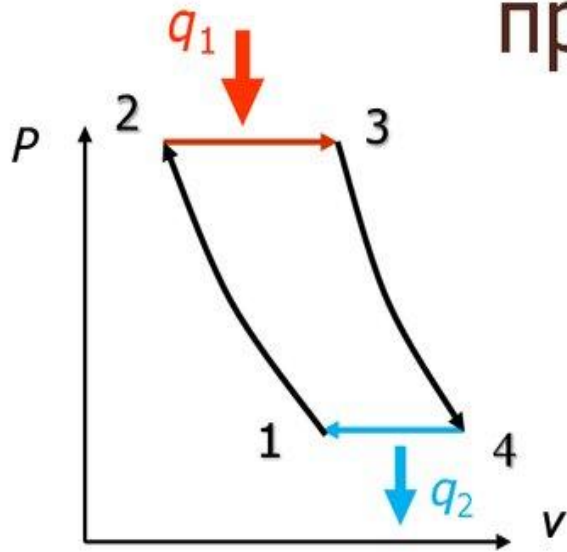
- С регенерацией тепла;
- С промежуточным охлаждением и подогревом;
- Комбинированные (ГТУ сложного цикла).

Цикл ГТУ с подводом теплоты в процессе $p = \text{const}$



- 1 – компрессор
- 2 – камера сгорания
- 3 – газовая турбина
- 4 – электрогенератор
- 5 – топливный насос

Цикл ГТУ с подводом теплоты в процессе $p=\text{const}$



1-2 адиабатное сжатие воздуха в компрессоре

2-3 изобарный подвод теплоты ($p=\text{const}$)

3-4 адиабатное расширение рабочего тела в газовой турбине

4-1 изобарный отвод теплоты

Термический к.п.д. ГТУ при

$P = \text{const}$

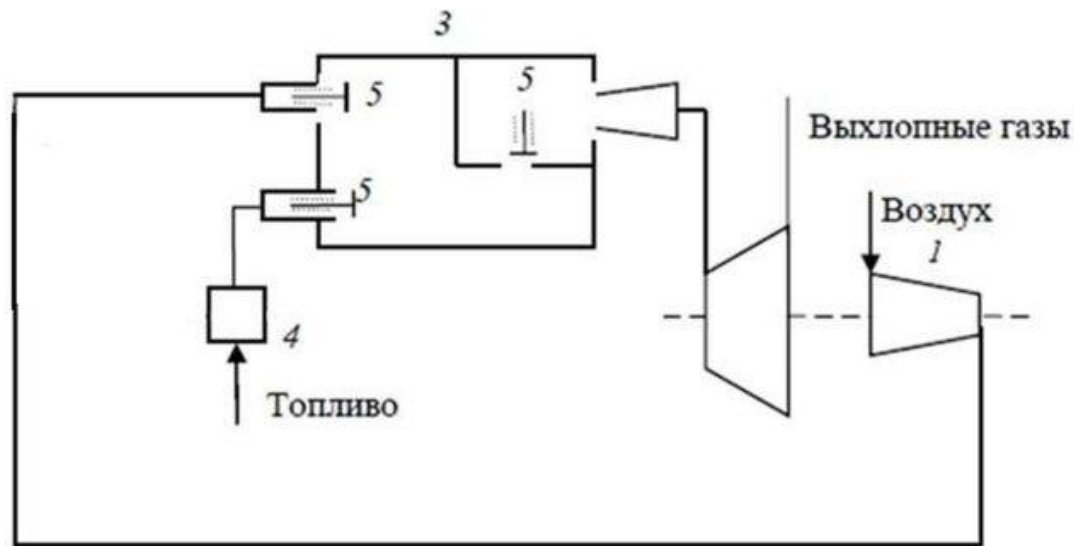
$$\eta_t = \frac{L_u}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$Q_1 = C_p(T_3 - T_2)$$

$$Q_2 = C_p(T_4 - T_1)$$

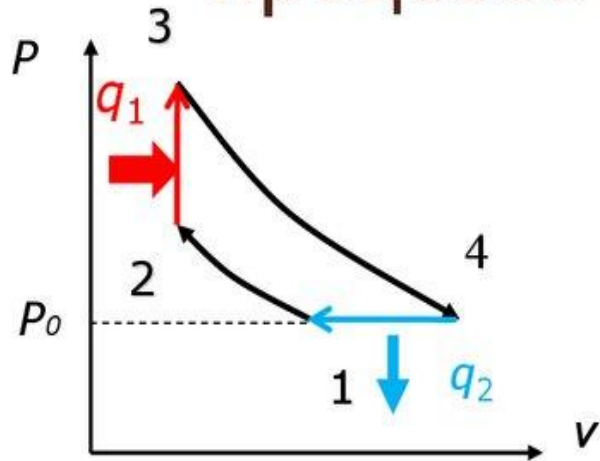
$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Цикл ГТУ с подводом теплоты в процессе $v = \text{const}$ (импульсная)



- 1 – компрессор
- 3 – камера сгорания
- 4 – топливный насос
- 5 – клапаны
- 6 – газовая турбина

Цикл ГТУ с подводом теплоты в процессе $v=\text{const}$ (импульсная)

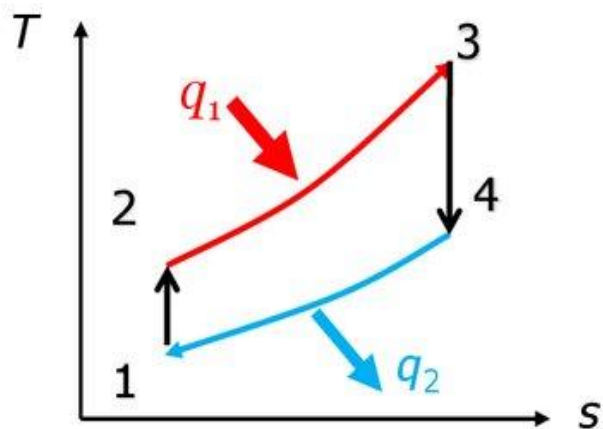


1-2 адиабатное сжатие воздуха в компрессоре

2-3 изохорный подвод теплоты ($v=\text{const}$)

3-4 адиабатное расширение рабочего тела в газовой турбине

4-1 изобарный отвод теплоты



Термический к.п.д. ГТУ при $V = \text{const}$

$$\eta_t = \frac{q_3}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \varepsilon - \text{степень сжатия}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda - \text{степень повышения давления}$$

$$T_2 = T_3 / \lambda$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1} = \varepsilon^{\kappa-1}$$

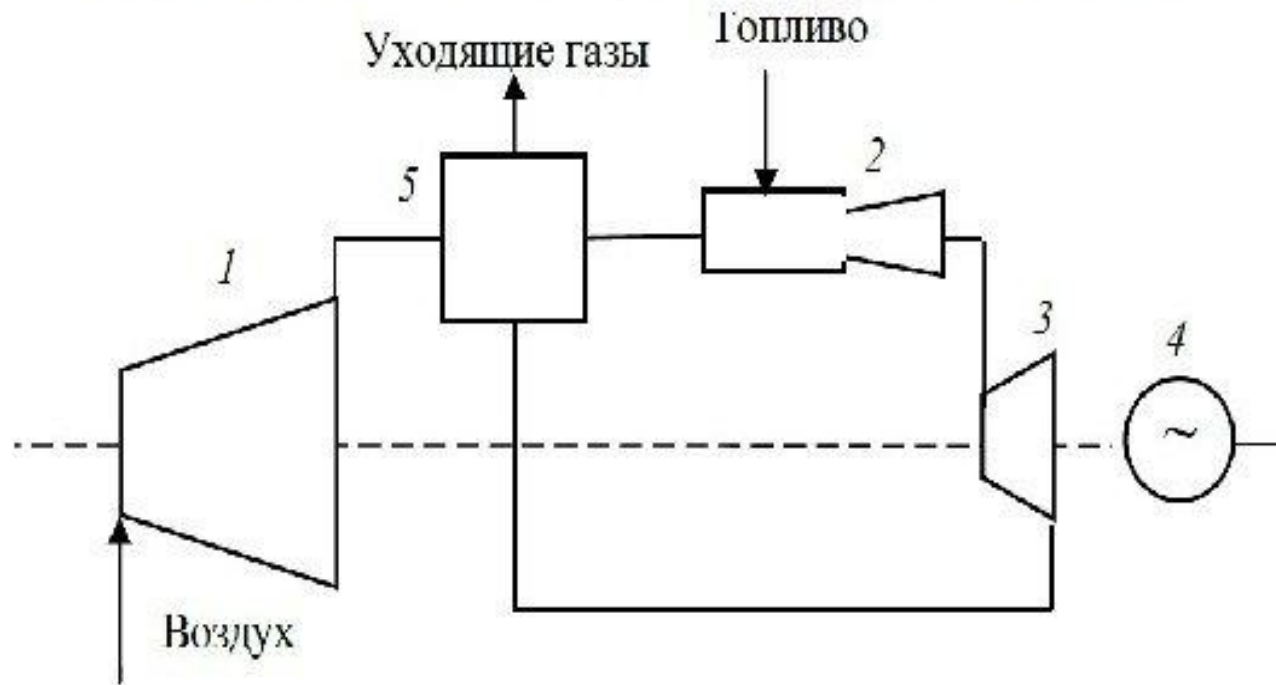
$$T_1 = \frac{T_2}{\varepsilon^{\kappa-1}} = \frac{T_3}{\lambda \cdot \varepsilon^{\kappa-1}}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{\lambda \cdot \varepsilon^{\kappa-1}}{\lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \varepsilon^{\kappa-1}} = \lambda^{\frac{1}{\kappa}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{\kappa}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\lambda^{\frac{1}{\kappa}} - 1}{\lambda - 1}$$

Цикл ГТУ с регенерацией тепла

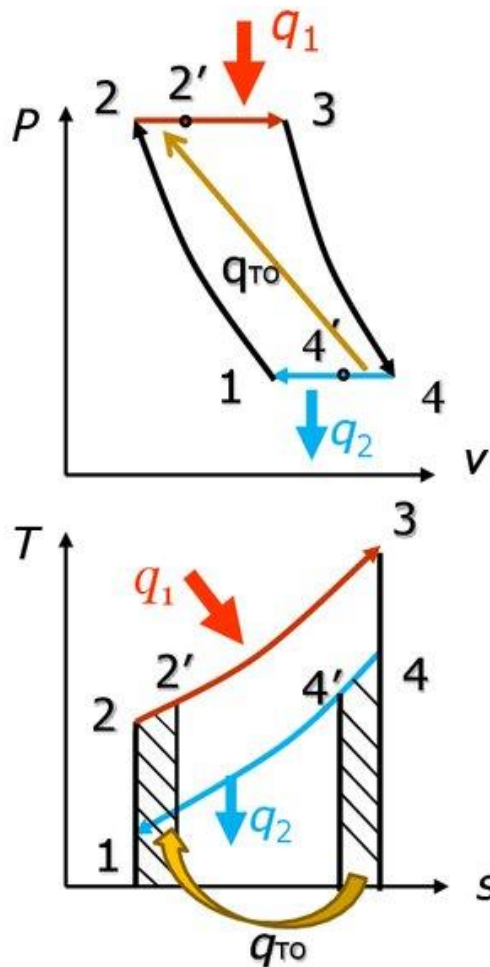


- 1 - воздушный компрессор
- 2 - камера сгорания
- 3 - газовая турбина
- 4 - электрогенератор
- 5 - регенератор

Регенерация тепла

- Невысокие значения КПД простых ГТУ в значительной степени объясняются чересчур высокими температурами газа, покидающего газовую турбину и выбрасываемого в окружающую среду. Эта температура в современных ГТУ может составлять $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более.
- Возможно организовать подвод теплоты таким образом, чтобы сначала воздух нагревался за счет теплоты уходящих газов, а затем в камере сгорания за счет сжигания топлива. Подобное использование теплоты уходящих газов в ГТУ **называется регенерацией теплоты или просто регенерацией.**

Цикл ГТУ с регенерацией тепла



1-2 адиабатное сжатие воздуха в компрессоре

2-2' нагрев воздуха в регенераторе за счет теплоты уходящих газов

2'-3 нагрев рабочего тела в камере сгорания при $p = \text{const}$ в процессе подвода тепла при сжигании топлива

3-4 адиабатное расширение рабочего тела в турбине

4-4' – отвод теплоты от уходящих газов в регенераторе

4-1 – охлаждение газов в атмосфере

Регенерация теплоты

- Регенерация теплоты осуществляется в теплообменном аппарате, установленном перед камерой сгорания.
- Эффективность теплообменного аппарата оценивается **степенью регенерации** – это отношение действительного подогрева к предельному.
- Степень регенерации характеризует площадь поверхности, размеры и гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата.
- Большое значение степени регенерации приводит к увеличению размеров теплообменника и всего двигателя в целом.
- Регенерация всегда приводит к увеличению термического к.п.д., также при регенерации возрастает экономичность действительного цикла.

Характеристики цикла ГТУ с регенерацией тепла

$$\sigma_r = \frac{T_2' - T_2}{T_4 - T_2} - \text{степень регенерации}$$

$$\sigma_r \approx 0,6 \dots 0,8$$

Термический к.п.д. цикла с регенерацией:

$$\eta_{t(r)} = 1 - \frac{q_{2p}}{q_{1p}}$$

$$q_{2p} = C_p(T_4 - T_1) - \text{теплота, отведенная в окруж. среду}$$

$$q_{1p} = C_p(T_3 - T_2') - \text{подведенная в цикле теплота}$$

* В реальных схемах $T_4 > T_4'$ и $T_2' > T_2$, т.е. имеет место разность температур:

- при нагревании воздуха $\Delta T_6 = T_4 - T_2'$
- при охлаждении газов $\Delta T_7 = T_4' - T_2$

□ Вопросы для составления конспекта:

1. Назовите циклы ГТУ.
2. Изобразите принципиальные схемы простых циклов ГТУ, опишите их работу и назовите их основные характеристики (формулы).
3. Изобразите принципиальную схему цикла ГТУ с регенерацией, опишите ее работу и назовите ее основные характеристики (формулы).
4. Что такое регенерация и где она осуществляется?
5. Что характеризует степень регенерации и как она определяется?
6. К чему приводит регенерация теплоты в ГТУ?

Тема лекции: Циклы ГТУ