

Лекция 13

Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме

Схема газотурбинной установки с организацией процесса подвода теплоты при постоянном объеме представлена на рисунке 33.

В состав газотурбинной установки с организацией процесса подвода теплоты при постоянном объеме входит многоступенчатый центробежный компрессор 1.

Сжатый воздух, для поддержки стабильного давления и запаса, собирается в ресивере 2 большого объема. Из ресивера, через воздушный клапан 3, воздух поступает в камеру сгорания 5.

Через топливный клапан 6, насосом 4 в камеру сгорания $\epsilon=10...12$ единиц подается жидкое топливо.

Топливо воздушная смесь, образовавшаяся в объеме камеры сгорания, зажигается от электрической искры высокого напряжения. Процесс сгорания происходит при закрытом воздушном клапане 3 и сопловом клапане 7.

В процессе сгорания и подвода теплоты в камере сгорания 5 происходит повышение температуры и давления. После выгорания топлива открывается сопловый клапан 7 и продукты сгорания поступают в комбинированное сопло 8, где происходит разгон потока истечения до высоких значений скорости истечения.

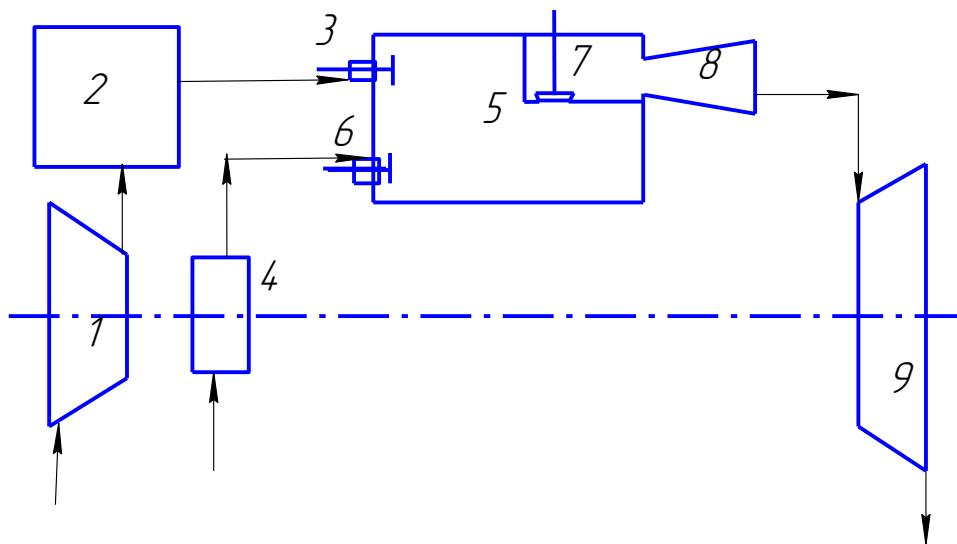


Рисунок 33 – Схема газотурбинной установки с подводом теплоты при $V = const$

Приобретая высокую кинетическую энергию, продукты сгорания поступают на лопатки газовой турбины, где совершается их адиабатное расширение и кинетическая энергия газового потока превращается в

механическую энергию вращательного движения колеса газовой турбины 9.

На рисунке 34 и рисунке 35 представлены диаграммы идеального цикла газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме в координатах $P-V$ и $T-S$.

Процесс 1-2 – представляет собой процесс адиабатного сжатия воздуха (рабочего тела) в условиях компрессора.

Процесс 2-3 – представляет процесс изохорного подвода теплоты в камере сгорания.

Процесс 3-4 – отражает адиабатное расширение рабочего тела на лопатках турбины до начального давления в точке 4.

С этого момента дальше происходит охлаждение рабочего тела в холодильном отсеке и возвращение его в первоначальное исходное состояние. Далее процессы и их последовательность повторяются. Газотурбинная установка находится в рабочем состоянии.

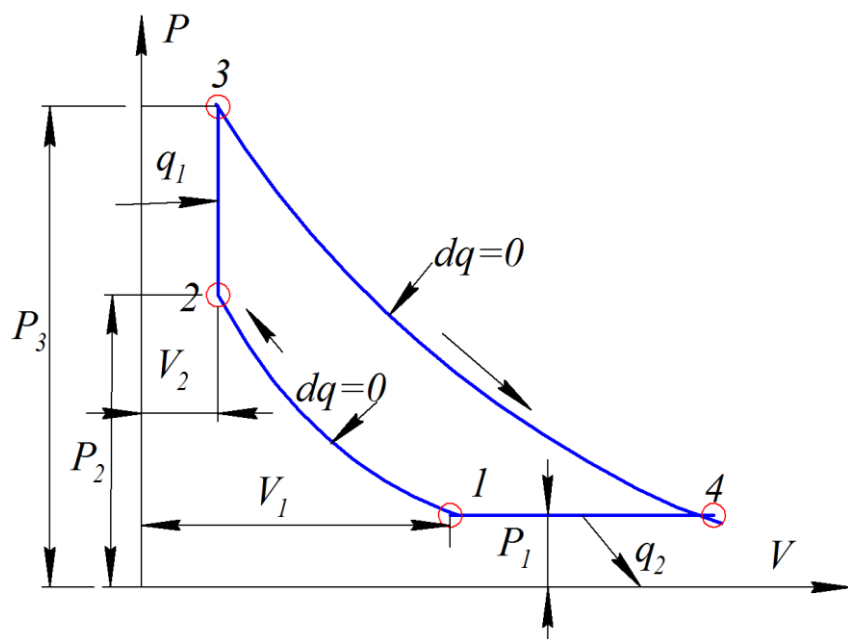


Рисунок 34 – Индикаторная диаграмма идеального цикла газотурбинной установки с подводом теплоты при $V = const$ в координатах $P-V$

Количество подведенной теплоты на участке 2-3 составит

$$q_1 = c_v \cdot (T_3 - T_2) ,$$

количество отведенной теплоты на участке 4-1 составит

$$q_2 = c_p \cdot (T_4 - T_1)$$

К. п. д. цикла определится из общей зависимости

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

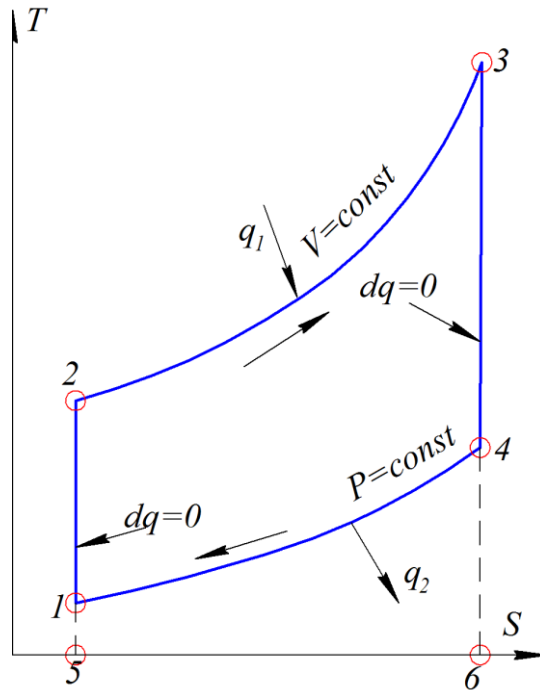


Рисунок 35 – Индикаторная диаграмма идеального цикла газотурбинной установки с подводом теплоты при $V = const$ в координатах $T - S$

Подставляем значения q_1 и q_2 в уравнение для определения к. п. д. цикла и получаем

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_p}{c_v} \cdot \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - k \cdot \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} .$$

Значения температур в характерных точках определяем исходя из зависимостей взаимосвязи изменения параметров состояния для соответствующих процессов.

Из адиабатного процесса сжатия 1-2 и соотношения

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

где отношение $\frac{P_2}{P_1}$ выражает степень повышения давления на участке адиабатного сжатия, определяем

$$T_2 = T_1 \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}}.$$

На основании анализа, взаимосвязей параметров состояния рабочего тела для адиабатного процесса 3-4

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}},$$

для цикла с подводом теплоты при постоянном объеме $P_3 = P_1 \cdot \beta \cdot \lambda$, $P_4 = P_1$ и, соответственно,

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_1}{P_1 \cdot \lambda \cdot \beta} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{1}{(\lambda \cdot \beta)^{\frac{k-1}{k}}}.$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{1}{\lambda \beta} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

и

$$T_4 = T_1 \cdot \lambda \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot \frac{1}{\lambda^{\frac{k-1}{k}} \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}}} = T_1 \cdot \lambda^{\frac{1}{k}}.$$

Подставляем полученные зависимости в выражение для определения к.п.д. цикла газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме и получаем:

$$\eta_t = 1 - k \cdot \frac{T_1 \cdot \lambda^{\frac{1}{k}} - T_1}{T_1 \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot \lambda - T_1 \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}}} =$$

$$= 1 - k \frac{T_1 \cdot \left(\lambda^{\frac{1}{k}} - 1 \right)}{T_1 \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot (\lambda - 1)} = 1 - \frac{k \cdot \left(\lambda^{\frac{1}{k}} - 1 \right)}{\beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot (\lambda - 1)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{k \cdot \left(\lambda^{\frac{1}{k}} - 1 \right)}{\beta^{\frac{k-1}{k}} \cdot (\lambda - 1)}$$

Таким образом, к. п. д. цикла газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме определяется значениями степени повышения давления β , на участке адиабатного сжатия газа в компрессоре, степени повышения давления на участке подвода теплоты λ и значения показателя адиабаты, с учетом рода рабочего тела.

Сравнение циклов газотурбинных установок

Представим диаграммы цикла с подводом теплоты при постоянном давлении и цикла с подводом теплоты при постоянном объеме, в координатах $T - S$, при условии равных значений степени повышения давления на участке сжатия в компрессоре и одинаковых максимальных температурах.

Из представленной картины, рисунок 36, видно, что к.п.д. цикла с подводом теплоты при постоянном объеме больше к.п.д. цикла с подводом теплоты при постоянном давлении.

$$\eta_t^{V=const} > \eta_t^{P=const}$$

Выполняя графическое сравнение эффективности организации перевода теплоты в механическую работу для разных циклов, с подводом теплоты при постоянном давлении и с подводом теплоты при постоянном объеме, при условии разных значений степени повышения давления на участке сжатия в компрессоре и одинаковых максимальных температурах, получаем несколько другой вывод, к.п.д. цикла с подводом теплоты при

постоянном давлении, больше к. п. д. цикла с подводом теплоты при постоянном объеме, рисунок 37.

$$\eta_t^{P=const} > \eta_t^{V=const}$$

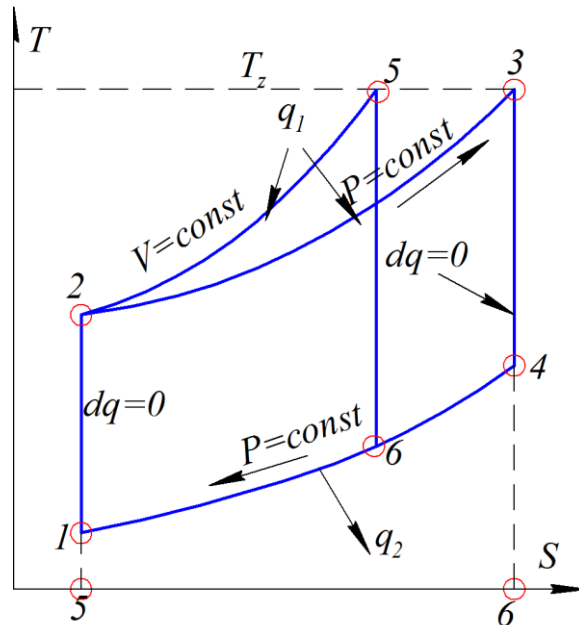


Рисунок 36 – Сравнение эффективности циклов ГТУ при равенстве значений $\beta = \beta'$, и равной температуре T_z

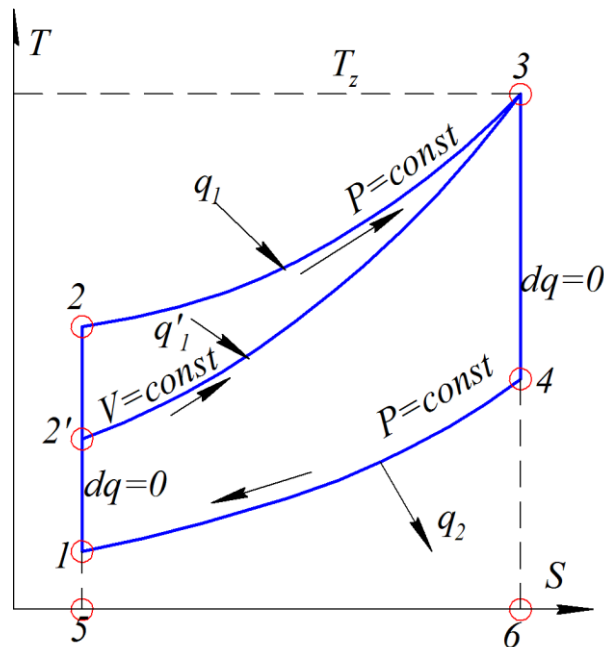


Рисунок 37 – Сравнение эффективности циклов ГТУ при разных значениях $\beta > \beta'$, и равной температуре T_z