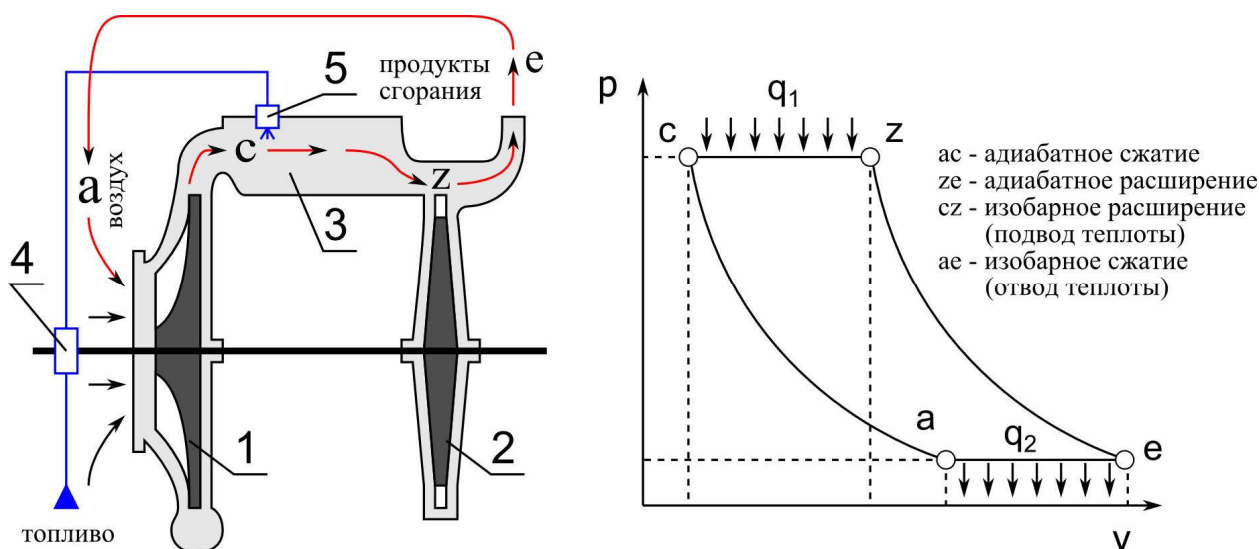


План занятия:

1. Циклы газовых турбин
2. Задачи

1. ЦИКЛЫ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Цикл газотурбинной установки (ГТУ) происходит с подводом и отводом теплоты при постоянном давлении $p = \text{const}$. На $p-v$ - диаграмме данный цикл можно представить следующим образом.



На рисунке цифрами обозначены: 1 - компрессор; 2 - газовая турбина (рабочее колесо турбины); 3 - камера сгорания; 4 - топливный насос; 5 - форсунки.

Цикл ГТУ характеризуется двумя параметрами:

- степенью сжатия по давлениям: $\pi = p_c/p_a = p_z/p_e$ и
- степенью предварительного расширения $\rho = v_z/v_c$.

Характеристики процессов цикла:

ac - адиабатное сжатие

Основное свойство процесса: $pv^k = \text{const}$;

$$\text{Работа процесса: } l_{ac} = \frac{R(T_a - T_c)}{k-1} = \frac{p_a v_a}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_c}{p_a} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] < 0;$$

Теплота процесса: $q_{ac} = 0$.

ze - адиабатное расширение

Основное свойство процесса: $pv^k = \text{const}$;

$$\text{Работа процесса: } l_{ze} = \frac{R(T_z - T_e)}{k-1} = \frac{p_z v_z}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_e}{p_z} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] > 0 ;$$

Теплота процесса: $q_{ze} = 0$.

cz - изобара расширения

Основное свойство процесса: $p = \text{const}$;

Работа процесса: $l_{zc} = p(v_z - v_c) > 0$;

Теплота процесса: $q_{zc} = q_1 = c_p(T_z - T_c) > 0$.

ea - изобара сжатия

Основное свойство процесса: $p = \text{const}$;

Работа процесса: $l_{ea} = p(v_a - v_e) < 0$;

Теплота процесса: $q_{ea} = q_2 = c_p(T_a - T_c) < 0$.

Термический КПД цикла определяется формулой¹:

$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

После несложных преобразований для цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении можно получить:

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

Работа цикла может быть вычислена как сумма работ процессов цикла и в общем виде можно получить:

$$l = c_p T_c \eta (\rho - 1) = c_p T_a \eta \pi^{\frac{k-1}{k}} (\rho - 1)$$

Мощность цикла - это работа производимая в единицу времени:

$$N_{\text{ц}} = l_{\text{ц}} \cdot G, [\text{Вт}],$$

где: $G, [\text{кг/с}]$ - массовый расход газа (рабочего тела).

Во всех задачах расчет следует вести для воздуха со следующими характеристиками: показатель адиабаты - $k = 1,4$; теплоёмкость при постоянном давлении - $c_p = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$, газовая постоянная - $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$; молекулярная масса - $\mu = 29 \text{ кг/кмоль}$.

¹ q берутся по абсолютному значению

2. ЗАДАЧИ

Задача №1

ГТУ работает по циклу с подводом теплоты при $p = \text{const}$ начальное состояние воздуха определяется давлением $p_a = 1,2$ бар и температурой $t_a = 30^\circ\text{C}$. Давление в камере сгорания равно $p_c = p_z = 6$ бар, степень предварительного расширения $\rho = 2,04$; количество подводимой теплоты $q_1 = 500$ кДж, а расход газа 1 кг/с. Определить термический КПД цикла, количество отводимой теплоты, параметры воздуха во всех точках цикла и теоретическую мощность ГТУ.

Задача №2

Предельная температура воздуха перед входом в турбину равна 950°C ; начальное состояние воздуха определяется давлением 1 бар. Рассчитать цикл ГТУ с подводом теплоты при $p = \text{const}$, $\pi = 7$, $\rho = 2,2$.

Задача №3

Для цикла ГТУ с подводом теплоты при $p = \text{const}$ известны следующие параметры: $t_a = 60^\circ\text{C}$, $p_c = 8$ бар, $t_c = 320^\circ\text{C}$, $v_c = 2,4$ м³/кг. Определить термический КПД цикла и найти, при каких температурах горячего и холодного источников КПД цикла Карно будет иметь такой же термический КПД, т.е. найти среднеинтегральные температуры. Рабочим телом является воздух.

Задача №4

Цикл ГТУ с подводом теплоты при $p = \text{const}$ характеризуется температурами $t_a = 37^\circ\text{C}$ и $t_z = 950^\circ\text{C}$; степень сжатия $\pi = 5$, а начальное давление равно 1 ат. Сжатие воздуха производится осевым компрессором по адиабате. Определить работу компрессора, полную и полезную работу (работу цикла) турбины и термический КПД.

Задача №5

ГТУ работает по циклу с подводом теплоты при $p = \text{const}$, $\pi = 7$, $\rho = 2,8$; начальное состояние воздуха определяется давлением $p_a = 0,8$ бар и температурой $t_a = -12^\circ\text{C}$. Процессы сжатия и расширения могут производиться по адиабате или по политропе с показателем $n = 1,3$. Рассчитать оба цикла и построить их на $p-v$ - диаграмме.