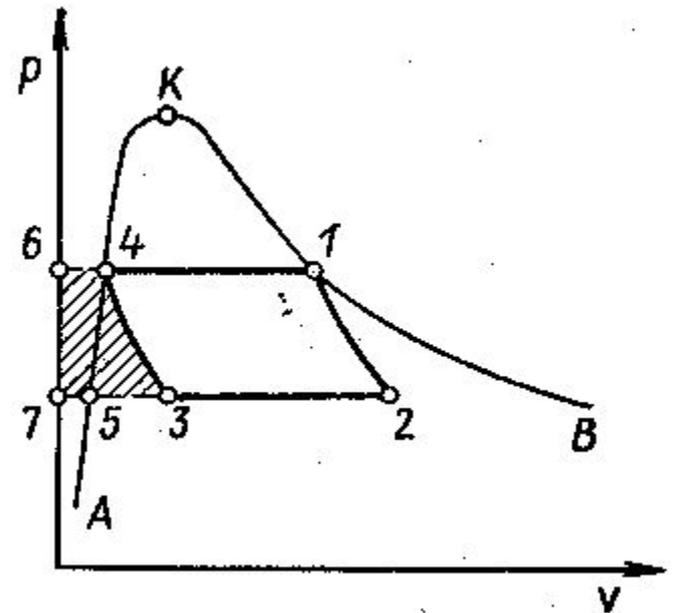


Циклы паросиловых установок

- Рабочим телом паросиловой установки является водяной пар. Перегретый пар поступает в турбину. В *паровой турбине пар расширяется и совершает полезную работу*. Приводится во вращение ротор турбины, через муфту механическая энергия передается ротору генератора, в котором происходит преобразование механической энергии в электрическую.

- Если предположить, что рабочим телом является насыщенный пар, то можно осуществить цикл Карно, который позволяет в заданных границах температур T_1 и T_2 получить наивысший КПД. Рассмотрим циклы, изображенные на p - v -диаграмме (рис.1). На этой диаграмме кривая A - K - B - пограничная кривая. Процесс, соответствующий кривой 4 - 1 - процесс подвода тепла q_1 (происходит испарение воды в котле до получения сухого насыщенного пара) при $p = const$.

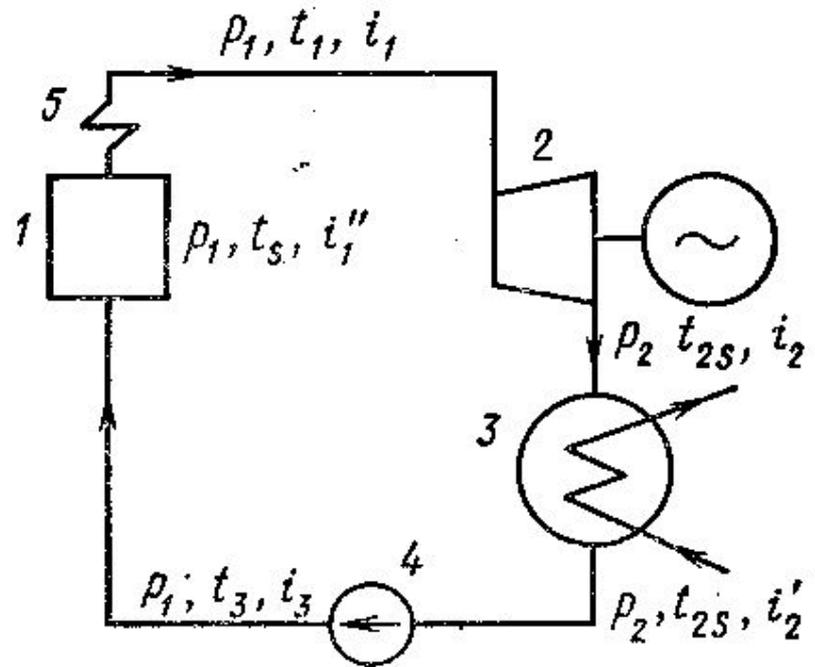


- Пока вся вода не испарится, температура воды остается постоянной, $T_1 = \text{const}$. Поэтому изобара 4-1 одновременно является и изотермой. Процесс 1-2 соответствует адиабатическому расширению пара в турбине. Линия 1-2 - адиабата.
- После турбины пар поступает в конденсатор. При давлении $p_2 = \text{const}$ и $T_2 = \text{const}$ тепло q_2 отводится. Линия 2-3 - изобара и изотерма. Процесс 3-4 соответствует сжатию в компрессоре. Точку 3 выбирают с таким расчетом, чтобы сжатие осуществлялось по адиабате. Таким образом, цикл 1-2-3-4-1 состоит из двух изотерм (кривые 4-1 и 2-3) и двух адиабат (кривые 1-2 и 3-4), т. е., является **циклом Карно**.

- Однако практически цикл Карно неосуществим, так как в точке 3 (начало адиабатического сжатия) удельный объем влажного пара при давлении p_2 и T_2 настолько велик, что для сжатия его в компрессоре больших размеров потребуется значительная затрата работы. Эта работа графически равна площади F4-3-7-6-4. При этом действительная полезная работа меньше теоретической.

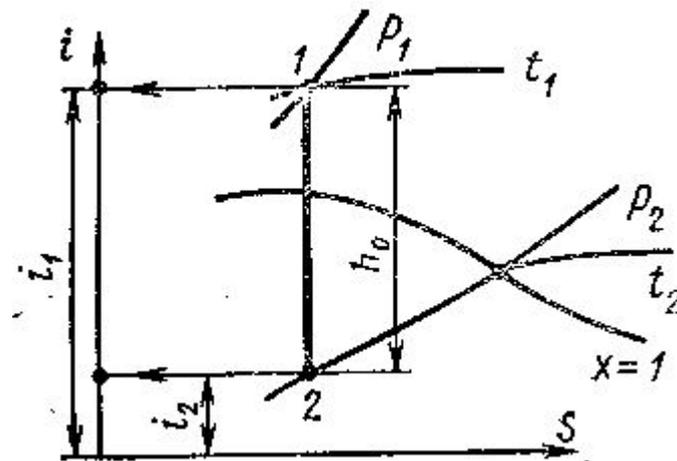
- Действующие паросиловые установки работают по *циклу Ренкина* - это цикл с полной конденсацией отработавшего пара. КПД цикла Ренкина ниже, чем КПД цикла Карно. Для повышения КПД применяют перегретый пар.

Принципиальная схема паросиловой установки, работающей на перегретом паре по **циклу Ренкина**, изображена на рис. 2.



Термический КПД паросиловой установки при известных начальных и конечных параметрах пара может быть определен с помощью *is-диаграммы* (рис.3). Для этого необходимо найти точку пересечения изобары p_1 с изотермой t_1 , соответствующих начальным параметрам (точка 1), спроецировать ее на вертикальную ось и записать значение i_1 . Затем из точки 1 провести адиабату ($\Delta s = 0$) до пересечения с изобарой p_2 , соответствующей конечному давлению (точка 2).

Проекция точки 2 на вертикальной оси соответствует энтальпии пара в конце расширения i_2 . Для определения энтальпии конденсата при давлении в конце расширения необходимо по изобаре p_2 (она же изотерма t_2) подняться до пересечения с пограничной кривой $x = 1$ и получить на изотерме значение t_2 . Для 1 кг энтальпия конденсата равна $i'_2 = 1t_2c_w$, где c_w - теплоемкость воды. Если подставить c_w в ккал/(кг·К), то получим i'_2 в ккал/кг, если c_w в кДж/(кг·К), то i'_2 получим в кДж/кг.



Энтальпия – энергия, которая доступна для преобразования в теплоту при $P = \text{const}$

Располагаемый адиабатный перепад теплоты

$$h_o = h_1 - h_2 \text{ кДж/кг.}$$

Действительный перепад

$$h_i = h_o \eta_{oi} \text{ кДж/кг.}$$

- где η_{oi} – относительный внутренний КПД турбины.

Энтальпия пара за турбиной

$$h_{2\partial} = h_1 - h_i, \text{ кДж/кг.}$$

- В точке 2∂ по диаграмме h - s определяется степень сухости пара x .

Термический коэффициент цикла Ренкина равен

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'}$$

- h_1 и h_2 – энтальпии начального и конечного состояния пара при адиабатном расширении в турбине,
- h_2' – энтальпия питательной воды,
- $h_2' = C_p t_H$,
- где C_p – теплоемкость воды, $C_p = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, t_H – температура насыщенного пара в конденсаторе, $t_H = f(p)$

Удельный расход пара турбины

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2} \text{ кг/(кВт ч)}$$

- Энтальпию h_1 и h_2 находим по h-s диаграмме.

Расход пара паровой турбиной

D

$$D_o = N \cdot d_o, \text{ кг/ч}$$

Количество теплоты, потребляемой производством

$$Q_{\text{ПР}} = D_o \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right),$$

Количество теплоты, сообщенной пару в котельной

$$Q = D_o (h_1 - h_2),$$

Часовой расход топлива В равен

$$B = \frac{D_{\text{в}}(h_1 - h_{\text{в}})}{Q_H^P \cdot \eta_{\text{к.у.}}} \text{ кг/ч.}$$

- где энтальпия питательной воды $h_{\text{п.в.}} = C_P t_{\text{п.в.}}$,
- Q_H^P – теплота сгорания угля,
- $\eta_{\text{к.у.}}$ – КПД котельной установки.

Расход топлива B_1 в котельной высокого давления

$$B_1 = \frac{Q}{Q_H^P \cdot \eta_{К.У.}} \text{ кг/ч.}$$

Расход топлива B_2 в котельной низкого давления

$$B_2 = \frac{Q_{\text{ПР}}}{Q_H^P \cdot \eta_{\text{К.У.}}} \text{ кг/ч.}$$

Суммарный расход топлива в обеих котельных установках

- $V_0 = V_1 + V_2$, кг/ч.

- Коэффициент использования теплоты определяется как отношение всей полезно использованной теплоты ко всей затраченной. Следовательно, в случае комбинированной выработки электроэнергии и теплоты

$$\eta_{К.Т.} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{ИП}}{B \cdot Q_H^P \cdot \eta_{К.У.}}$$

- Коэффициент использования теплоты в случае раздельной выработки электроэнергии и теплоты

$$\eta'_{к.т.} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{ПР}}{B_{\theta} \cdot Q_{к.у}^P \cdot \eta \dots}$$

$$\eta'_{к.т.} < \eta_{к.т.}$$

Задача

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина. Параметры начального состояния: $p_1=20$ бар, $t_1=300^{\circ}\text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2=0,04$ бара. Определить термический КПД.

Задача (1 вариант 00-35)

Параметры пара перед паровой турбиной: $p_1=90$ бар, $t_1=500^{\circ}\text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2=0,04$ бара.

Определить состояние пара после расширения в турбине, если её относительный внутренний КПД $\eta_{oi} = 0,84$.

Задача (2 вариант 36-75)

На заводской ТЭЦ установлены две паровые турбины с противодавлением мощностью $N=4000$ кВт каждая. Весь пар из турбины направляется на производство, откуда он возвращается обратно в котельную в виде конденсата при температуре насыщения.

Турбины работают с полной нагрузкой при следующих параметрах пара: $p_1=35$ бар, $t_1=435^{\circ}\text{C}$, $p_2=1,2$ бар.

Принимая, что установка работает по циклу Ренкина, определить часовой расход топлива, если КПД котельной $\eta_{к.у.} = 0,84$, а теплота сгорания топлива $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 28500$ кДж/кг.

Задача (3 вариант 76-99)

Паровая турбина мощностью $N=12000$ кВт работает при начальных параметрах $p_1=80$ бар и $t_1=450^{\circ}\text{C}$. Давление в конденсаторе $p_2=0,04$ бара. В котельной установке, снабжающей турбину паром, сжигается уголь с теплотой сгорания $Q_{\text{H}}^{\text{P}}=25$ МДж/кг. КПД котельной установки равен $\eta_{\text{к.у.}}=0,8$. Температура питательной воды $t_{\text{п.в.}}=90^{\circ}\text{C}$.

Определить производительность котельной установки и часовой расход топлива при полной нагрузке паровой турбины и условий, что она работает по циклу Ренкина.

Задача 5

Для условий предыдущей задачи подсчитать расход топлива в случае, если вместо комбинированной выработки электрической и тепловой энергии на ТЭЦ будет осуществлена раздельная выработка электроэнергии в конденсационной установке и теплоты в котельной низкого давления.

Конечное давление пара в конденсационной установке принять $p_2 = 0,04$ бар. КПД котельной низкого давления принять тот же, что для котельной высокого давления, $\eta_{к.у.} = 0,84$.

Определить для обоих случаев коэффициент использования теплоты.

Диаграмма h-s водяного пара

