



Тепло

Техника

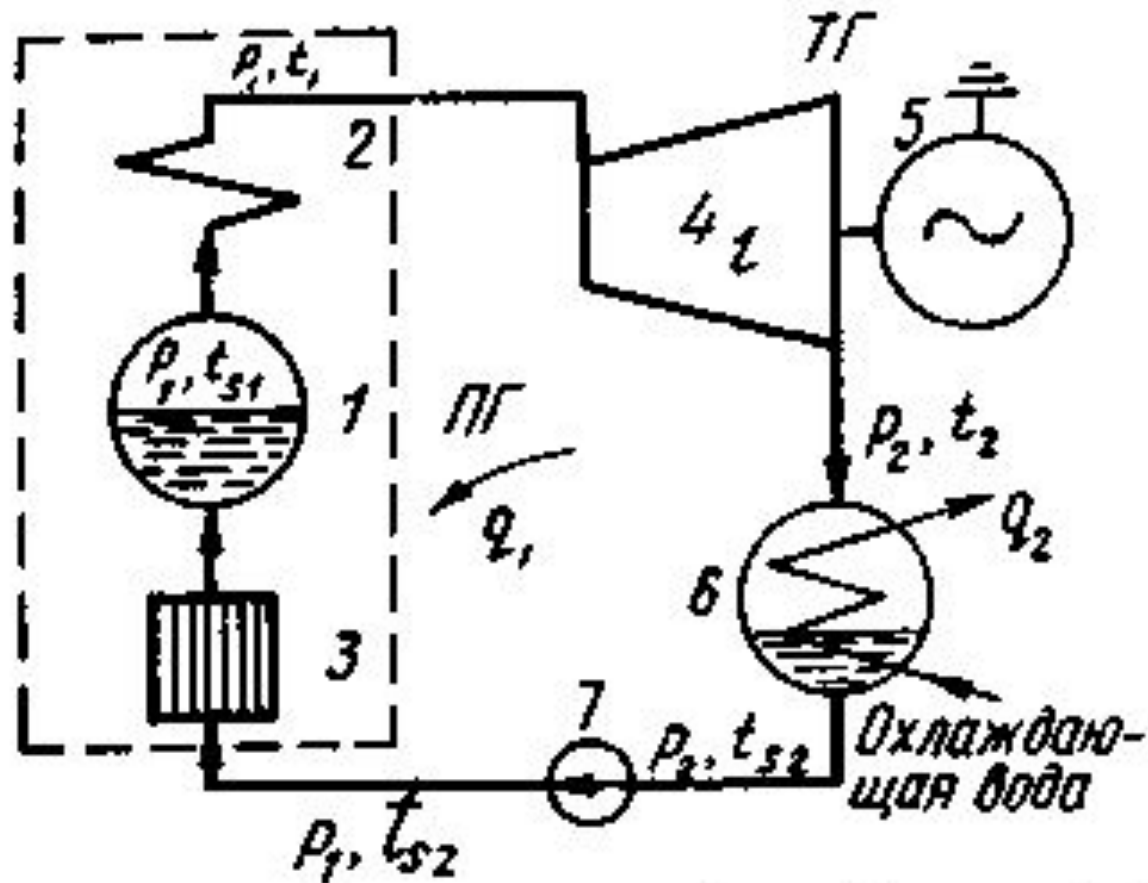
Паросиловая установка (ПСУ)

Паросиловые установки (ПСУ) отличаются от газотурбинных двигателей и двигателей внутреннего сгорания тем, что рабочим телом служит водяной пар, а продукты сгорания топлива являются лишь промежуточным теплоносителем.

# Тепло

# Техника

## Паросиловая установка (ПСУ)

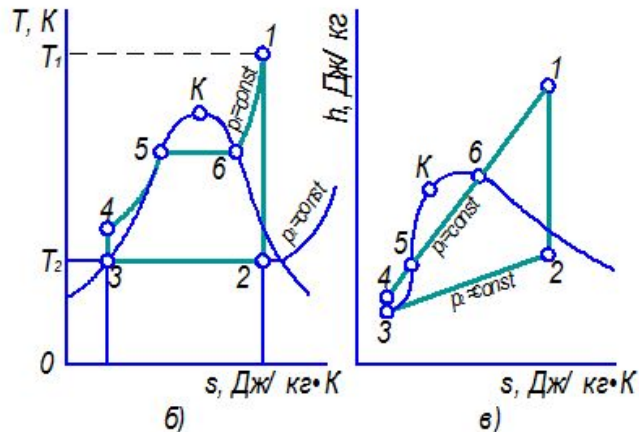
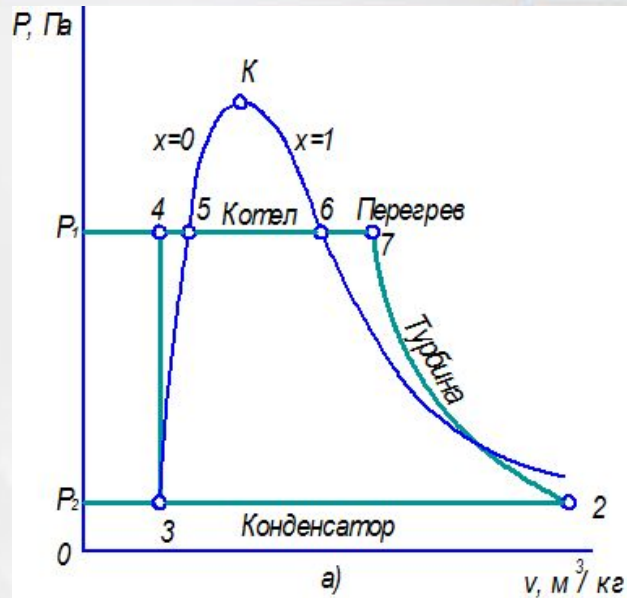


Тепло

Техника

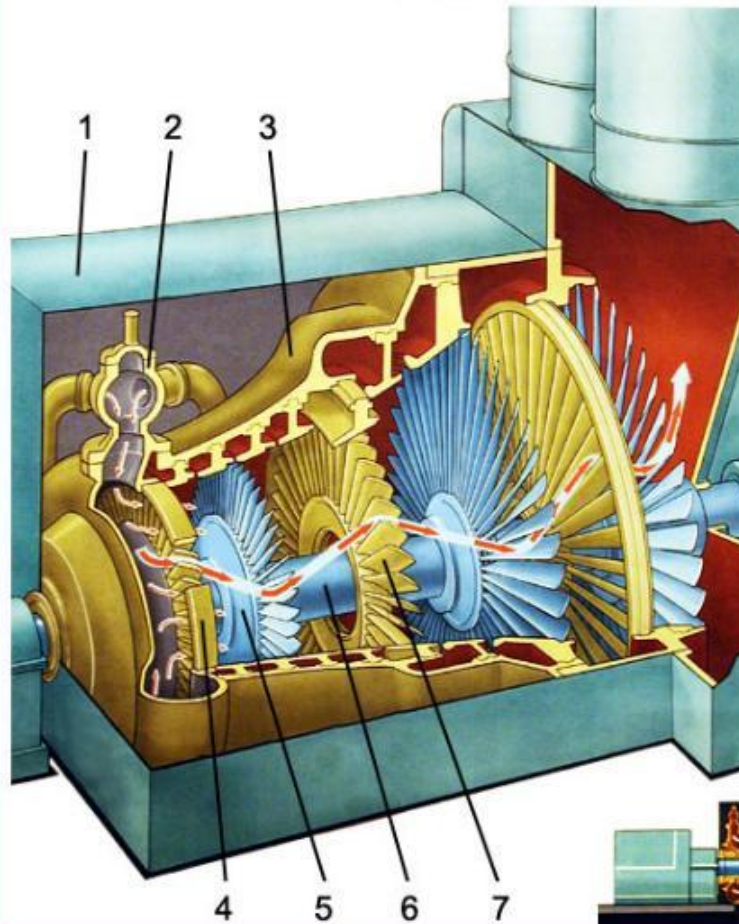
Паросиловая установка (ПСУ)

- 1 – паровой котел,
- 2- пароперегреватель,
- 3 – водяной экономайзер, служащий для подогрева воды,
- 4 – паровая турбина,
- 5 – электрогенератор,
- 6 – конденсатор.

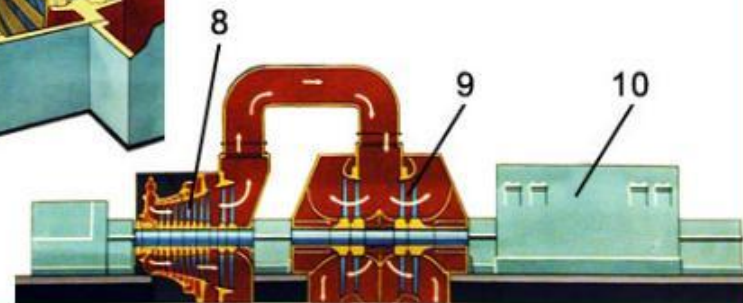


1-2 – адиабатное расширение пара на лопатках паровой турбины,  
 2-3 – конденсация пара в конденсаторе,  
 3-4 – сжатие воды в конденсатном насосе,  
 4-5 – подогрев воды до температуры кипения в водяном экономайзере и котле,  
 5-6 – парообразование в котле,  
 6-1 – перегрев пара в пароперегревателе.

### ПАРОВАЯ ТУРБИНА



1. Кожух
2. Парораспределительное устройство
3. Корпус турбины
4. Сопловый аппарат
5. Диск ротора
6. Вал турбины
7. Диск статора (направляющего аппарата)
8. Цилиндр высокого давления
9. Цилиндр низкого давления
10. Генератор



Первый закон термодинамики для потока:

$$dq = di + d\left(\frac{w^2}{2}\right) + dl_{\text{тех}}.$$

Предполагаем, что процесс адиабатный, происходит без изменения кинетической энергии:

$$di + dl_{\text{тех}} = 0.$$

Работа насоса:

$$l_{\text{н}} = -l_{\text{тех}} = i_4 - i_3.$$

Работа турбины:

$$l_{\text{турб.}} = l_{\text{тех.}} = i_1 - i_2.$$

Работа цикла  $l$  равна в диаграммах  $p - v$  и  $T - S$  площади цикла  $1234561$ , а в диаграмме  $i - S$  - разности энтальпий перегретого пара на входе в турбину  $i_1$  и на выходе из нее  $i_2$ :

$$l_{\text{ц}} = l_{\text{турб.}} - l_{\text{н}} \approx l_{\text{турб.}} = i_1 - i_2 .$$

В цикле Ренкина теплота  $q_1$  подводится в процессах:  $4 - 5$ ,  $5 - 6$  и  $6 - 1$ . В диаграмме  $i - S$  она равна разности энтальпий перегретого пара  $i_1$  и конденсата на входе в парогенератор  $i_4$ :

$$q_1 = i_1 - i_4 \approx i_1 - i_3 .$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = \frac{l_{\text{ц}}}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3}.$$

Кроме работы цикла и термического КПД к показателям, учитывающим экономичность цикла Ренкина, относят также удельные расходы пара  $d_0$  и теплоты  $q_0$ . Удельный расход пара определяется как отношение часового расхода пара  $D_0$  к выработанной электроэнергии  $N$ . Полагая КПД электрогенератора 100%, имеем:



$$d_0 = \frac{D_0}{N},$$

$$d_0 = \frac{D_0}{N} \text{ кДж/кг } i_1 - i_2,$$

Учитывая, что  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ кДж}$ , имеем:

$$d_0 = \frac{D_0}{N} \left[ \frac{3600}{i_1 - i_2} \right] \text{ [ / ]}.$$

Удельный расход теплоты находится по формуле:

$$q_0 = d_0 (i_1 - i_3).$$

Способы увеличения КПД цикла Ренкина:

- 1) промежуточный перегрев пара,
- 2) регенеративный подогрев питательной воды.

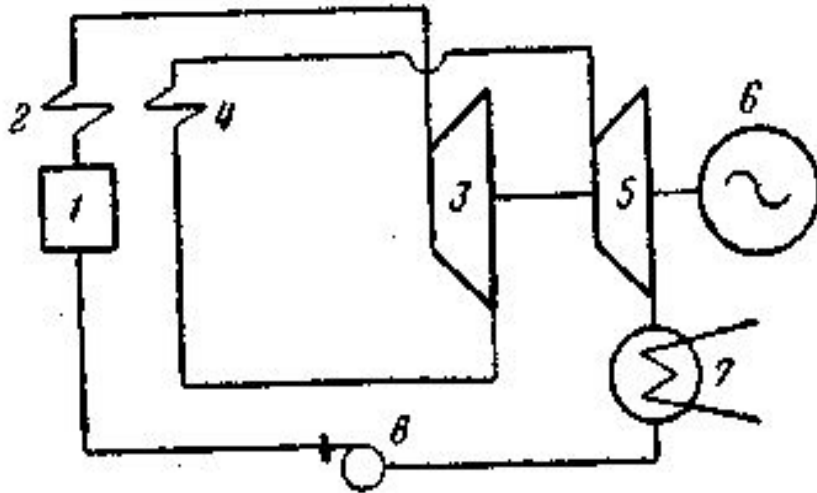


Рис. 10-19. Схема паросиловой установки с промежуточным перегревом пара

В этой схеме предусмотрены две ступени турбины 3 и 5. Отработавший на лопатках первой ступени турбины 3 пар направляется во вторую ступень турбины 5, где его температура повышается до начальной температуры  $T_1$ .

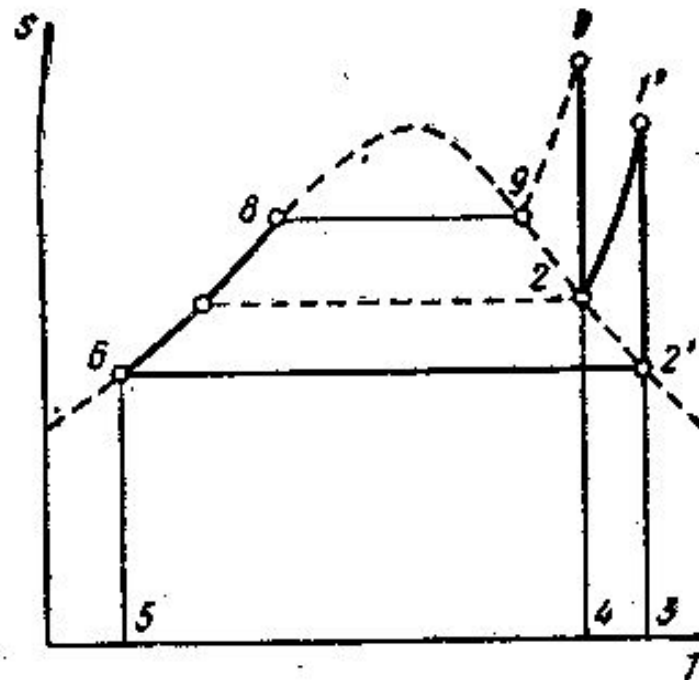


Рис. 10-20. Изображение цикла паросиловой установки с промежуточным перегревом пара на диаграмме  $s-T$ .

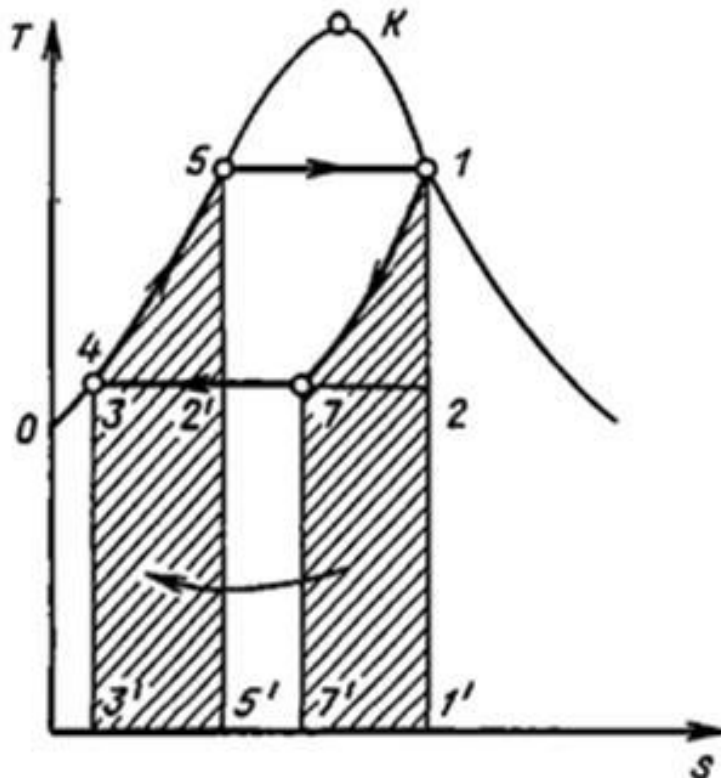
Тепло

Техника

## Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара

Промежуточный перегрев пара позволяет повысить КПД ПСУ, если средняя температура подвода теплоты в дополнительном цикле будет выше, чем средняя температура подвода теплоты в цикле с однократным перегревом.

Промежуточный перегрев позволяет значительно увеличить сухость пара на выходе из турбины (нет эрозии лопаток турбины от работы во влажном паре).



1) Теоретически термический КПД цикла Ренкина можно сделать равным КПД цикла Карно с помощью регенерации теплоты, если осуществить расширение пара не по адиабате  $1-2$ , как в обычной турбине, а по политропе  $7$  эквидистантной линии  $4-5$  нагрева воды, и всю выделяющуюся при этом теплоту (площадь  $1-1'-7'-7$ ) передать воде (площадь  $3'-3-5-5'$ ).

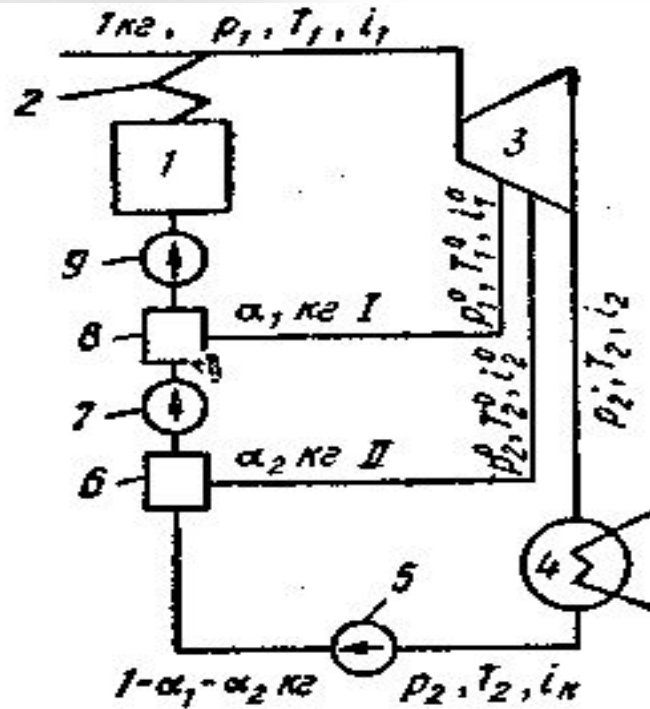


Рис. 10-21. Схема паросило-  
вой установки с регенера-  
тивным подогревом пита-  
тельной воды

Тепловая экономичность регенеративного цикла возрастает с увеличением числа отборов пара и теоретически становится максимальной при бесконечном числе отборов.

На практике число отборов пара на регенерацию составляет 2-4 и не превосходит 7, а для установок высокого и сверхвысокого давления - 10, т.к. каждый лишний отбор приводит к усложнению установки и ее удорожанию.



Установки, служащие для комбинированной выработки тепла и электроэнергии, называют теплоэлектроцентралями (ТЭЦ); они работают по так называемому теплофикационному циклу.

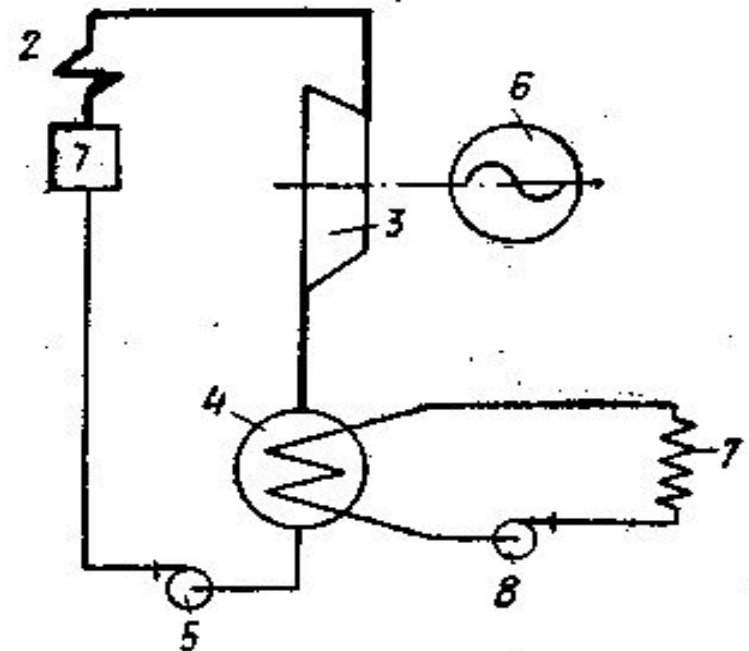


Рис. 10-24. Схема простейшей теплофикационной установки

Одним из направлений для уменьшения теплоты  $q_2$  является увеличение давления и температуры в конденсаторе, до такой величины, чтобы параметры конденсата соответствовали требованиям теплоносителя систем отопления, горячего водоснабжения.

$P=250-3000$  кПа ( $2,5-30$  кгс/см<sup>2</sup>) – технологические цели,

$P=150-250$  кПа ( $1,5-2,6$  кгс/см<sup>2</sup>) – отопление, или горячая вода с температурой не ниже  $70-150^{\circ}\text{C}$ .

Для увеличения давления используют турбину с противодавлением.

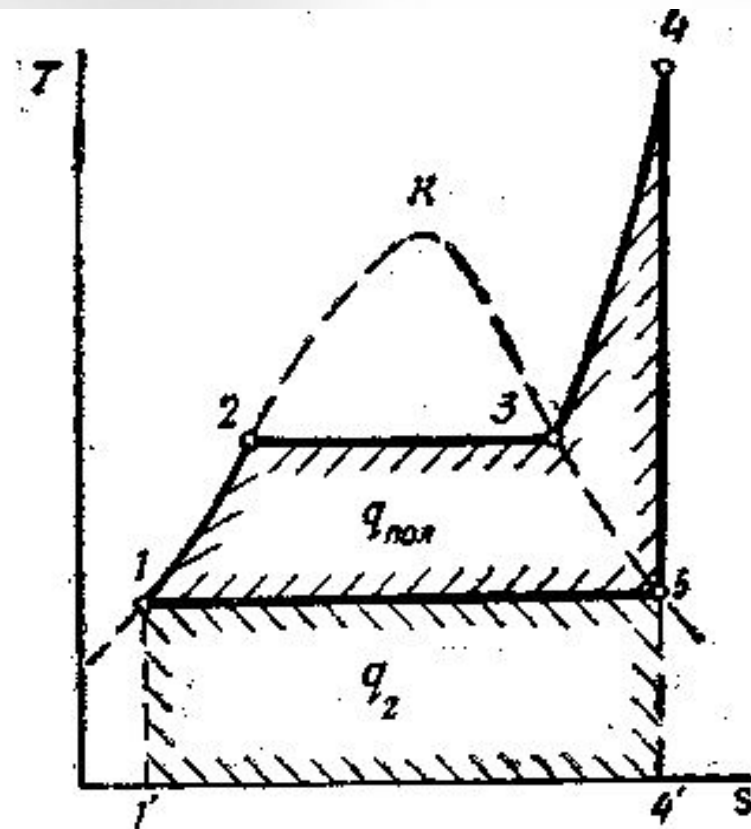


Рис. 10-25. Изображение теплофикационного цикла на диаграмме  $s-T$

Экономичность теплофикационных циклов оценивается коэффициентом использования тепла, равного отношению всего количества полезно использованного тепла ко всему количеству подведенного к рабочему телу тепла

$$\eta = \frac{q_{\text{общ}}}{q_1} = \frac{q_{\text{пол}} + q_2}{q_1}.$$