

Тема: ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

1. Назначение и общий принцип работы паросиловой установки.
2. Цикл Ренкина
3. Теплофикационные циклы паросиловых установок

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЩИЙ ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ.

В современной стационарной теплоэнергетике для производства электроэнергии в основном используются паровые теплосиловые турбинные установки. На долю паротурбинных электростанций приходится более 80 % вырабатываемой электроэнергии.

Паросиловая турбинная установка предназначена для преобразования тепла сжигаемого топлива в механическую энергию вращения турбины при помощи пара.

В паровых теплосиловых установках в качестве рабочего тела, как правило, используется водяной пар, что объясняется доступностью и дешевизной воды.

На рис. 1 приведена схема простейшей теплосиловой паротурбинной установки.

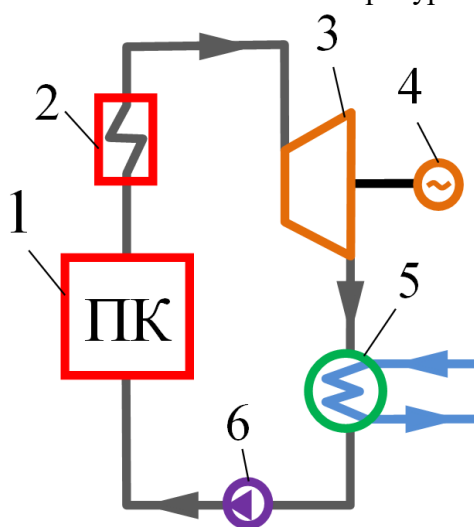


Рис. 1 Принципиальная схема паротурбинной теплосиловой установки:
1-паровой котел, 2-пароперегреватель, 3-турбина, 4-электрогенератор,
5-конденсатор, 6-водяной насос

В паровом котле 1 вода нагревается и превращается в пар. Из котла пар поступает в пароперегреватель 2, где он еще больше нагревается. Перегретый пар с параметрами p_1 , T_1 , h_1 поступает в паровую турбину 3. При расширении в сопловом аппарате пар приобретает значительную кинетическую энергию, которая в роторе турбины превращается в техническую работу. Механическая энергия турбины превращается в электрическую энергию в электрогенераторе 4. После турбины пар с давлением p_2 и энтальпией h_2 поступает в конденсатор 5, представляющий собой теплообменник, в трубках которого циркулирует охлаждающая вода. В конденсаторе от пара отводится теплота в количестве q_2 , в результате чего пар конденсируется. Конденсат подается насосом 6 в котел, и цикл повторяется вновь.

Характерная особенность паросиловых установок — это фазовое превращение рабочего тела в цикле.

2. ЦИКЛ РЕНКИНА

Цикл Ренкина - термодинамический цикл преобразования теплоты в работу с помощью водяного пара. Его предложил шотландский физик Уильям Ренкин в середине 19 века.

Рассмотрим термодинамический цикл теплосиловой паротурбинной установки, представленный на рис. 2 в pV -, Ts - и hs - диаграммах.

Точка 4 соответствует состоянию рабочего тела перед паровым котлом. При постоянном давлении $p_1 = \text{const}$ в котле происходят нагрев жидкости (процесс 4-5), парообразование (процесс 5-6) и перегрев пара (процесс 6-1).

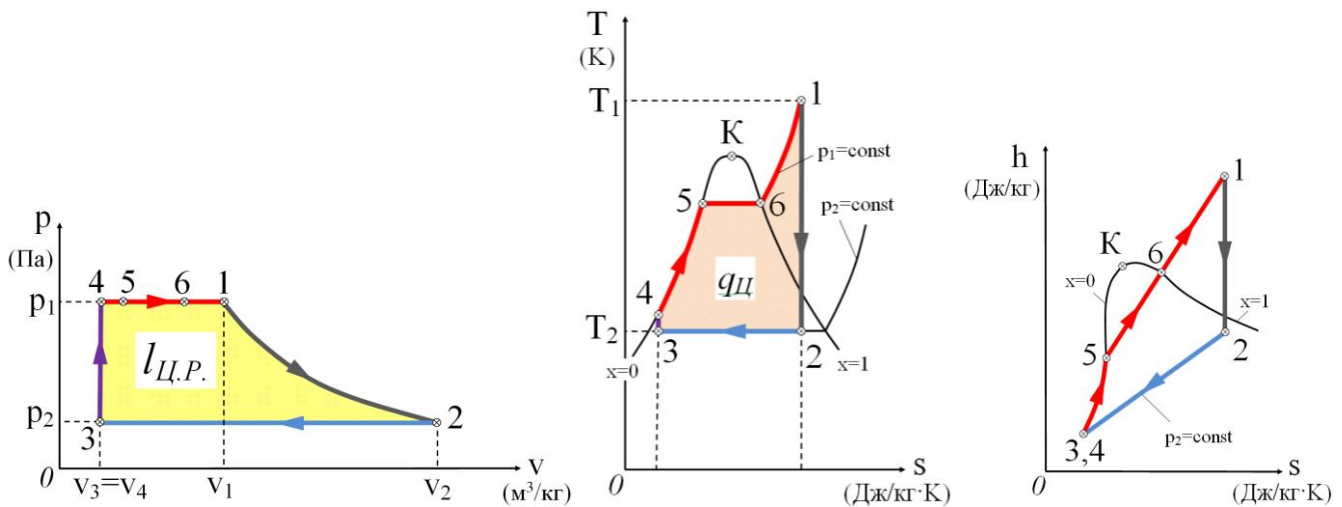


Рис. 2. Цикл Ренкина в p - v -, T - s - и h - s -координатах.

Теплота q_1 подведенная к 1 кг рабочего тела в изобарном процессе, равна разности энтальпий в конечной и начальной точках процесса:

$$q_1 = h_1 - h_4 \quad (1)$$

В паровой турбине осуществляется адиабатный процесс расширения 1-2. В результате перегретый пар превращается в сухой насыщенный, а затем во влажный с параметрами точки 2.

Техническая работа расширения в турбине определяется:

$$l_T = h_1 - h_2 \quad (2)$$

После турбины происходит конденсация пара при постоянном давлении (процесс 2-3).

На участке 2—3 остаются постоянными давление p_2 и температура T_2 , т.к. изобары в области влажного пара являются одновременно и изотермами. При этом от рабочего тела отводится количество теплоты:

$$q_2 = h_2 - h_3. \quad (3)$$

Процесс подачи конденсата в котел насосом изображается изохорой 3—4, так как вода практически несжимаема. Точки 3 и 4 на T - s - и h - s -диаграммах не совпадают, но это отклонение столь мало, что им пренебрегают, т.е. $h_4 = h_3$.

Образованный таким образом термодинамический цикл называется *циклом Ренкина*.

Термический КПД цикла Ренкина:

$$\eta_{ц.р.} = \frac{(h_1 - h_4) - (h_2 - h_3)}{h_1 - h_3} \quad (4)$$

Можно принять, что энтальпия h_3 воды в точке 3 равна энтальпии h_K конденсата (кипящей воды) при давлении p_2 , т.е. $h_3 = h_K$.

Тогда можно записать:

$$\eta_{ц.р.} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_K} \quad (5)$$

Из приведенной формулы следует, что термический КПД цикла Ренкина определяется значениями энтальпий пара до турбины h_1 и после нее h_2 , и энтальпии воды h_K при температуре конденсации пара T_2 и давлении p_2 . Поэтому при определении значения $\eta_{ц.р.}$ цикла паротурбинной установки удобно пользоваться h - s -диаграммой.

Для повышения термического КПД паротурбинной установки следует расширить пределы рабочего процесса, а именно повысить давление p_1 и температуру перегретого пара T_1 и понизить давление p_2 пара за турбиной. На современных тепловых электростанциях начальное давление $p_1 = 13... 16$ МПа (применяется также сверхкритическое давление, равное 24 МПа), температура пара $t_1 = 535...565^\circ\text{C}$. Давление пара за турбиной $p_2 = 3...5$ кПа. Так как с увеличением давления p_1 при постоянном предельном значении температуры T_1 повышается влажность пара в конце процесса расширения (на hs -диаграмме процесс сдвигается влево), то применяют промежуточный перегрев пара. Давление промежуточного перегрева выбирают так, чтобы работа цикла l_T при этом увеличивалась в большей степени, чем расход теплоты q_1 (с учетом дополнительного расхода на промежуточный перегрев пара).

3. ТЕПЛОФИКАЦИОННЫЕ ЦИКЛЫ ПАРСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Эффективность топлива, сжигаемого в паросиловой установке, можно повысить, если удаляемую теплоту (а она составляет не менее половины количества теплоты, подведенной от источника с более высокой температурой) использовать для отопления и горячего водоснабжения или для различных технологических процессов. При этом паросиловая установка работает по так называемому теплофикационному циклу.

Теплофикационный цикл паросиловой установки - термодинамический цикл, в котором подведенная теплота расходуется не только на совершение механической работы и получение электроэнергии, но часть теплоты используется для отопления, горячего водоснабжения потребителей и другие технологические нужды.

В конденсационных электростанциях, предназначенных для выработки только электрической энергии, охлаждающая вода после конденсатора имеет температуру $20...35^\circ\text{C}$, и использовать теплоту этой воды практически сложно. Ввиду низкой температуры она называется низкопотенциальной теплотой.

Для нужд отопления, горячего водоснабжения и т. п. температура воды должна быть не менее $80...100^\circ\text{C}$. Этого можно достигнуть, если повысить давление пара p_2 выходящего из турбины. Давление пара за турбиной должно быть $0,10...0,15$ МПа, в то время как на станциях без отпуска теплоты потребителям давление $p_2 = 3...5$ кПа.

Такие турбины называют турбинами с ухудшенным вакуумом. Если давление p_2 выше атмосферного, то турбины называют турбинами с противодавлением.

Станция, одновременно вырабатывающая электрическую энергию и теплоту для внешнего теплоснабжения, называется теплоэлектроцентралью (ТЭЦ). Схема такой станции изображена на рис.3. Диаграмма теплофикационного цикла в Ts -координатах показана на рис. 4.

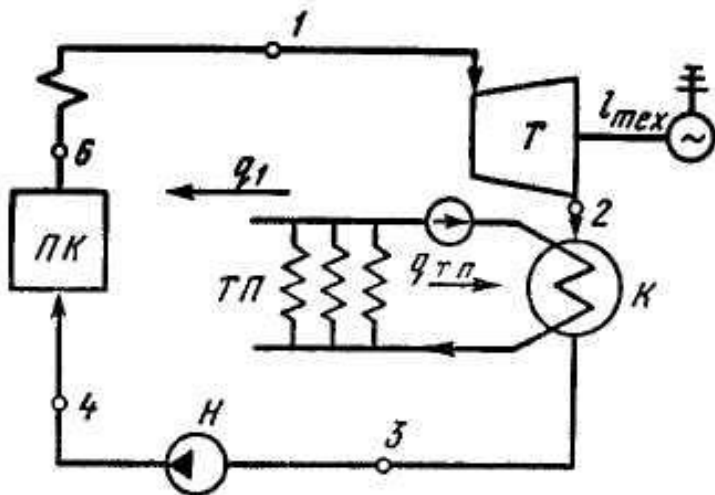


Рис. 3. Схема ТЭЦ без регулируемого отбора пара из турбины:
ПК — паровой котел; Т — паровая турбина;

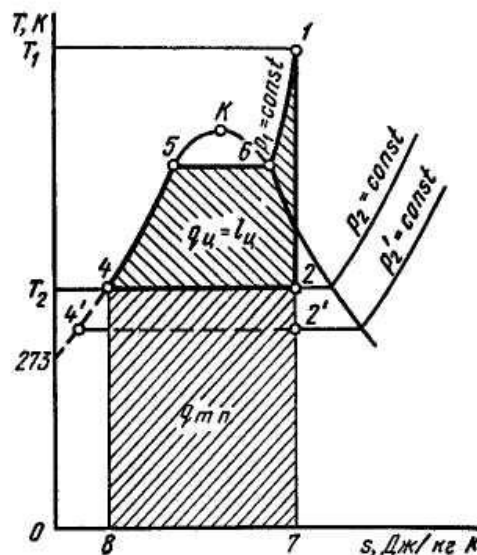


Рис. 4. Диаграмма теплофикационного

На принципиальной схеме (рис.3) цифры соответствуют наиболее характерным точкам на диаграмме (рис.4). Количество теплоты, которое можно использовать для отопления технологических процессов различных производств и т. д., определяют площадью 2-4-8-7-2. Уменьшение полезной работы вследствие повышения давления за тепловой машиной равно площади 2-2'-4'-4-2. Поэтому термический КПД такого цикла ниже, чем у конденсационной установки, но общее использование теплоты значительно больше.

Характеристикой теплосиловых установок, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию (ТЭЦ), служит коэффициент использования теплоты:

$$\eta_{и.т.} = \frac{l_{э} + q_2}{q_1} \quad (6)$$

где $l_{э}$ — работа цикла, используемая до получения электрической энергии;

q_2 — теплота, отпускаемая потребителю;

q_1 — подвод теплоты от источника.

Теоретически $\eta_{и.т.}$ может иметь значение, равное единице, а в реальных условиях коэффициент использования теплоты достигает величины 0,6... 0,8.

Существенный недостаток тепловых станций, работающих по схеме, изображенной на рис. 3 заключается в том, что электрическая мощность и тепловая мощность (количество отпускаемой теплоты за единицу времени) не являются независимыми друг от друга. В то же время графики выдачи тепловой и электрической энергии могут не совпадать во времени. Поэтому на ТЭЦ применяют конденсационные турбины с промежуточными регулируемым отборами пара при давлениях, необходимых для потребителей теплоты (рис. 5). При этом часть пара с давлением $p_{отб}$ отбирается из промежуточных ступеней турбины и направляется потребителям.

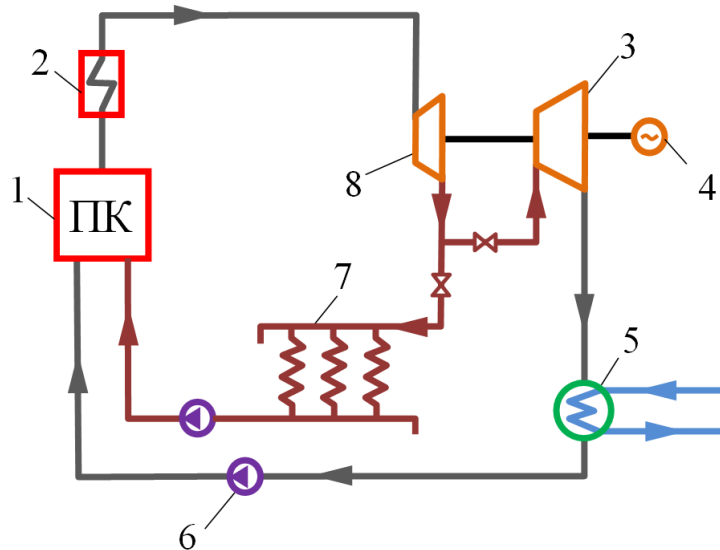


Рис. 5. Схема установки ТЭЦ с регулируемым отбором пара: 1-паровой котел; 2-пароперегреватель, 3 и 8-ступени паровой турбины; 4-электрогенератор, 5-конденсатор, 6- водяной насос; 7-тепловой потребитель

Отбор называется регулируемым, поскольку система регулирования обеспечивает независимость параметров отбираемого пара от расхода пара через турбину.

Отпускаемые потребителю теплота и электрическая энергия у турбин с регулируемым отбором пара могут изменяться независимо друг от друга. При необходимости предусматривается два или три регулируемых отбора с разными параметрами пара. При этом, как правило, для технологических потребностей, отбирается пар при более высоком давлении, а для систем отопления и горячего водоснабжения — при более низком. Кроме регулируемых отборов, осуществляются также нерегулируемые отборы пара, предназначенные для регенеративного подогрева воды после конденсатора.