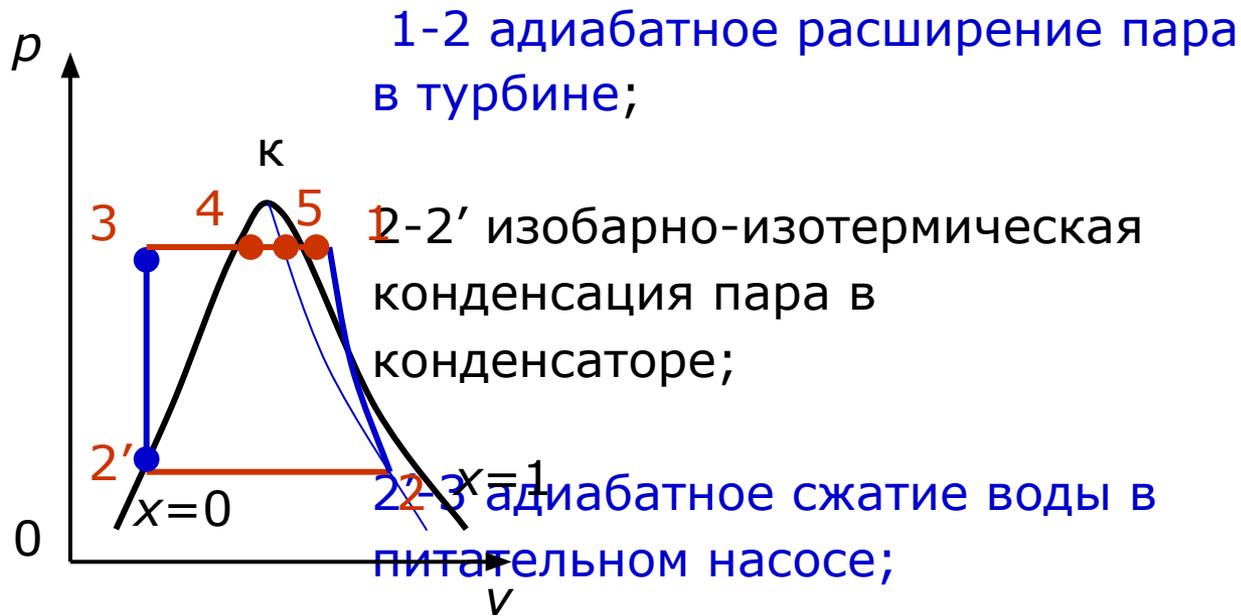


ТНис 07

- Цикл Ренкина
- Другие Циклы ПТУ

Цикл Ренкина паротурбинной установки (ПТУ) в $p-v$ -диаграмме



1-2 адиабатное расширение пара в турбине;

2-2' изобарно-изотермическая конденсация пара в конденсаторе;

2'-3 адиабатное сжатие воды в питательном насосе;

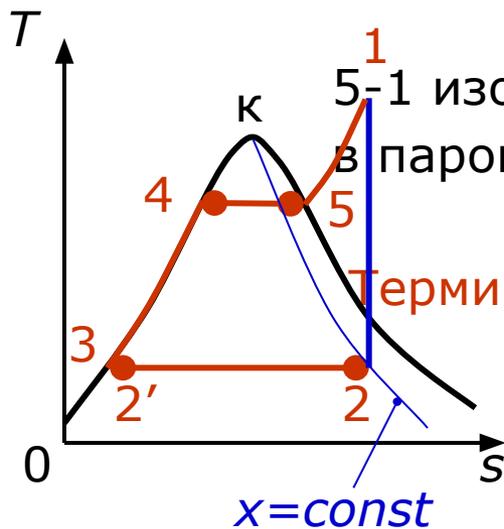
3-4 изобарный нагрев воды в водяном экономайзере;

Цикл Ренкина паротурбинной установки в Ts-диаграмме

4-5 изобарно-изотермическое парообразование;

5-1 изобарный перегрев пара в пароперегревателе.

Термический КПД цикла Ренкина:



$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{(h_1 - h_3) - (h_2 - h_{2'})}{h_1 - h_3}$$

Приближенный КПД цикла Ренкина

Если в выражении (1) перегруппировать члены, то:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) - (h_3 - h_{2'})}{h_1 - h_3} = \frac{l_t - l_n}{q_1}$$

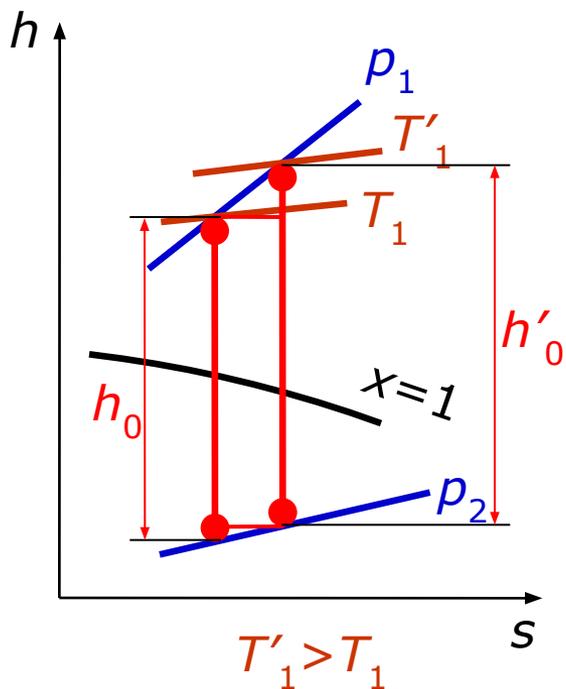
Здесь l_t – положительная работа пара в турбине; l_n – затрата работы на сжатие воды в насосе; q_1 – теплота, подведенная к рабочему телу в парогенераторе.

В современных ПТУ $l_t \approx 1200 \dots 1600$ кДж/кг, $l_n \approx 20 \dots 40$ кДж/кг и для приближенных расчетов работой сжатия воды можно пренебречь, то есть считать, что $h_{2'} \approx h_3$, тогда:

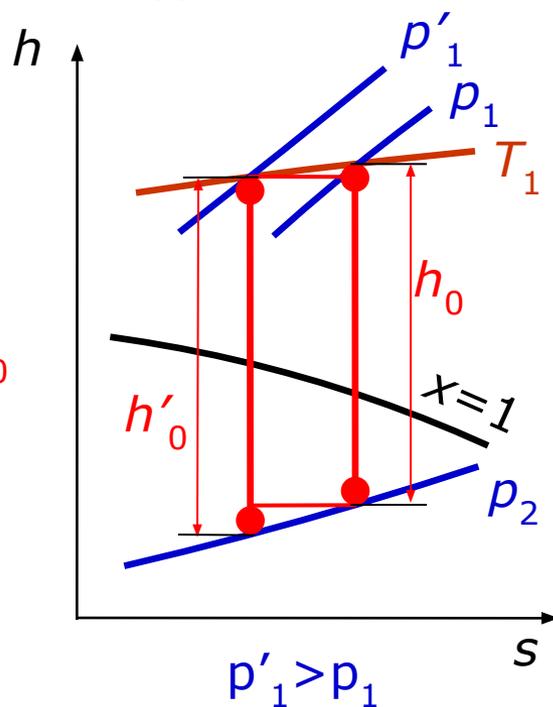
$$\eta_t \approx \frac{(h_1 - h_2)}{q_1} \approx \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2'}}$$

Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина

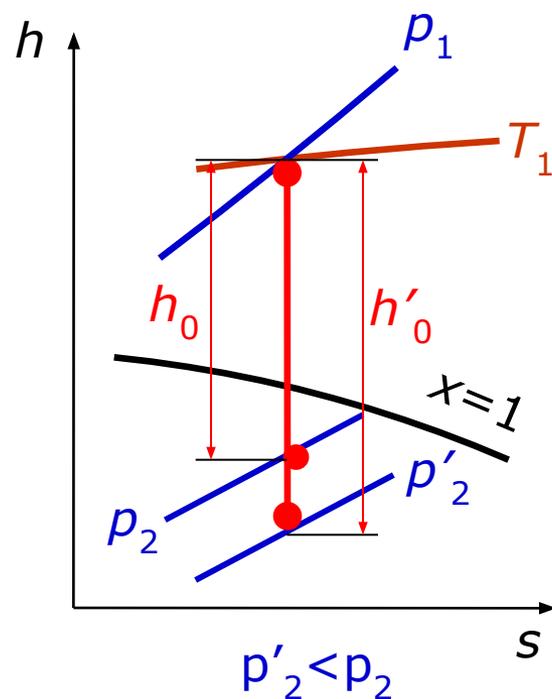
Влияние начальной температуры



Влияние начального давления



Влияние конечного давления



$h'_0 > h_0$, следовательно: $\eta'_t > \eta_t$

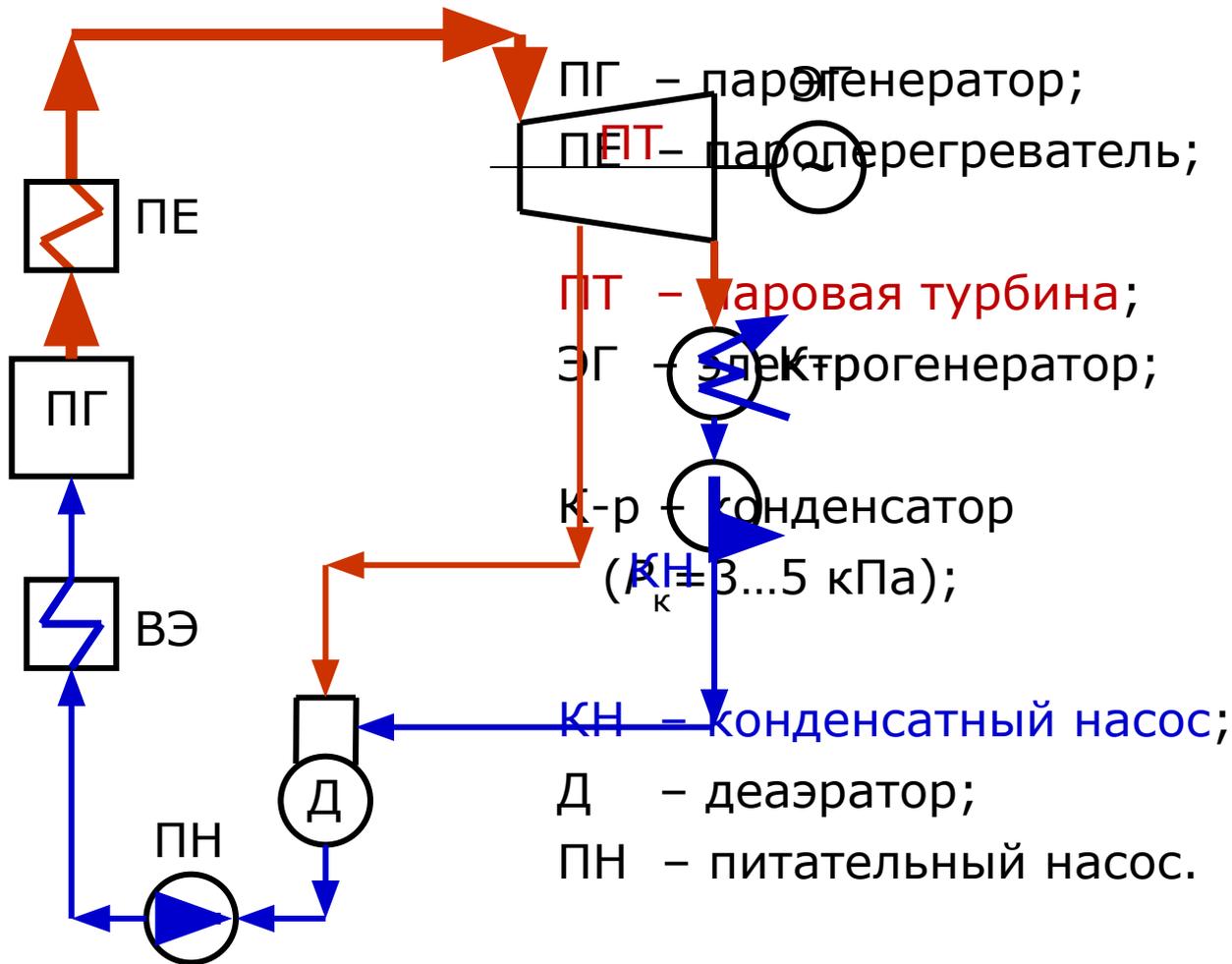
Порядок конечных и начальных параметров пара

В современных ПТУ обычно $p_2=0,03...0,05$ бар и зависит от температуры охлаждающей воды.

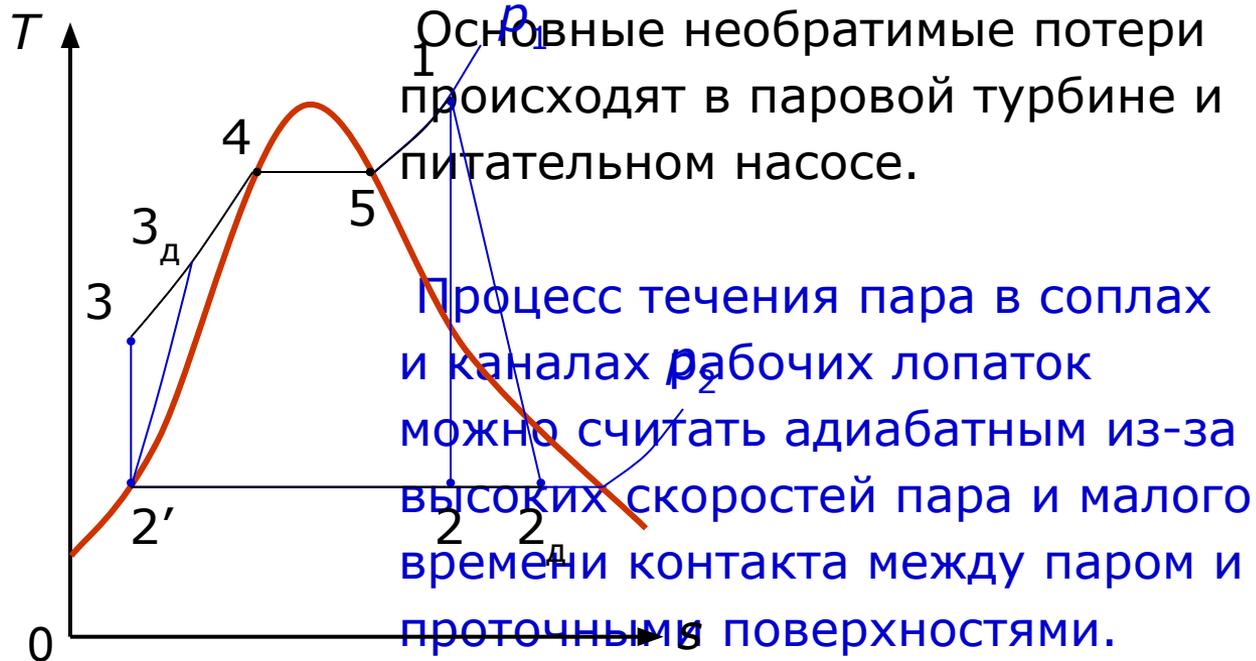
При этих давлениях температура конденсации отработавшего в турбине пара соответственно $t_H=24...33$ °С.

Начальные параметры пара в современных ПТУ:
 $p_1=240...300$ бар, $t_1=550...600$ °С.

Простейшая схема паротурбинной установки (ПТУ)



Цикл ПТУ с учетом необратимости



Так как в необратимом процессе пар расширяется до того же давления $p_{2'}$, то для влажного пара на выходе из турбины $T_{2д} = T_2$.

Обозначения процессов в цикле ПТУ

1-2; 1-2д – теоретическое и действительное адиабатные расширения пара в турбине;

2д-2' – изобарно-изотермическая конденсация пара в конденсаторе;

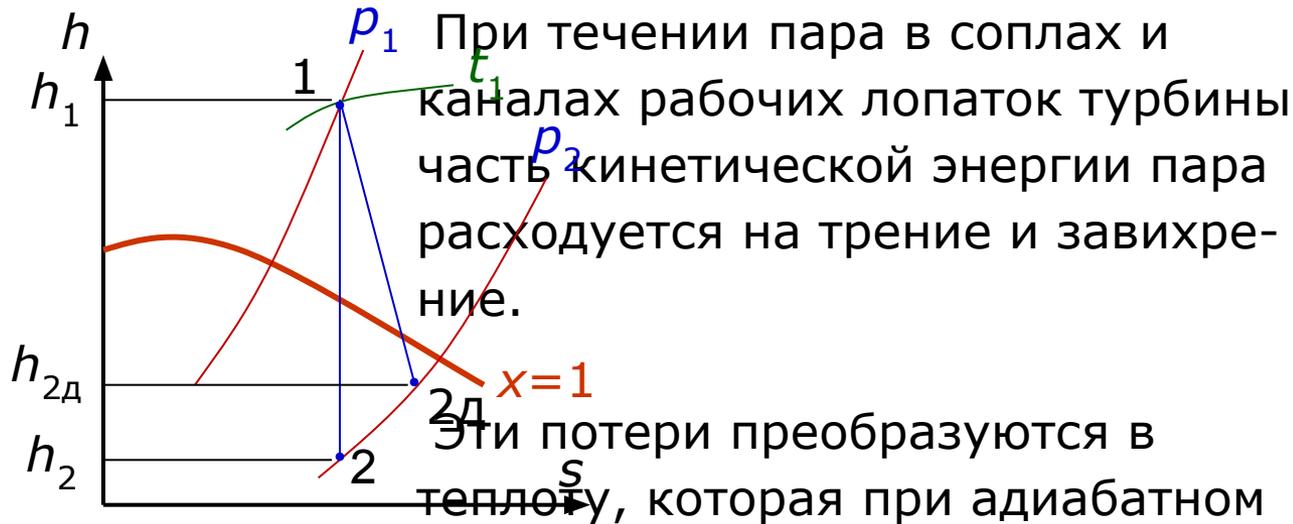
2'-3; 2'-3д – теоретическое и действительное сжатия воды в питательном насосе;

3д-4 – изобарный нагрев воды в экономайзере;

4-5 – изобарно-изотермическое парообразование в испарителе;

5-1 – изобарный перегрев пара в пароперегревателе.

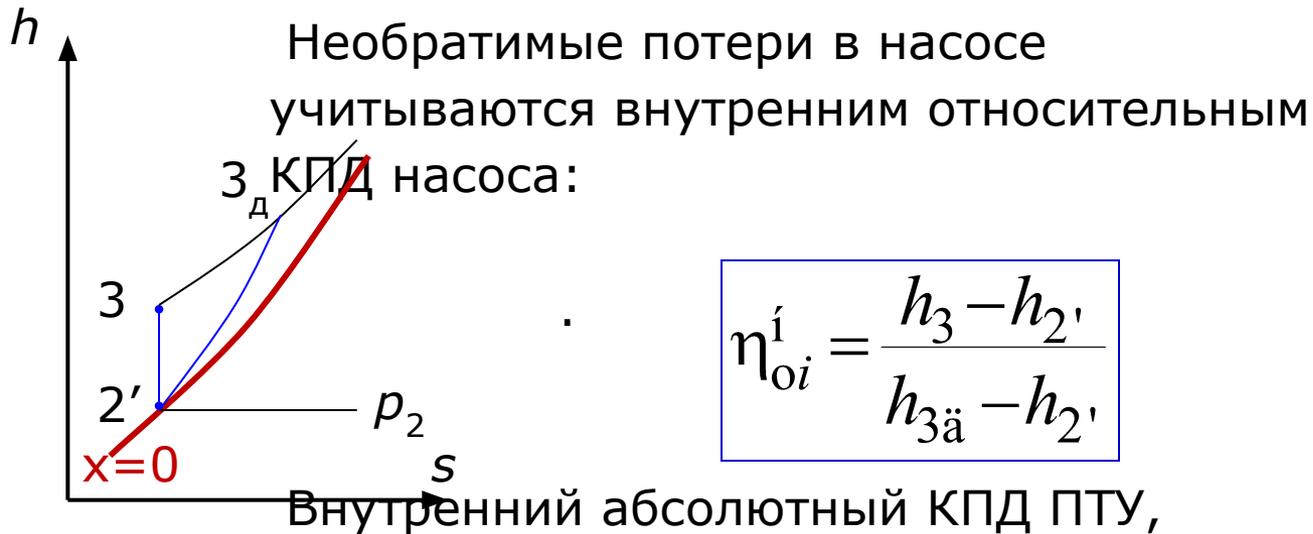
Необратимые потери в турбине



Необратимые потери в турбине учитываются внутренним относительным КПД турбины:

$$\eta_{oi} = \frac{h_1 - h_{2ä}}{h_1 - h_2}$$

Необратимые потери в насосе



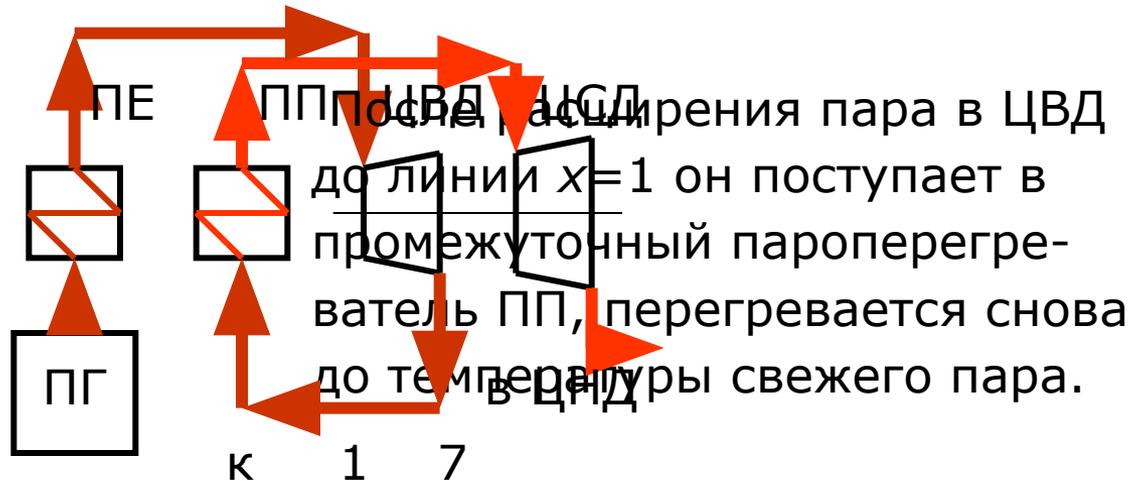
$$\eta_{oi}^i = \frac{h_3 - h_{2'}}{h_{3ä} - h_{2'}}$$

Внутренний абсолютный КПД ПТУ,
учитывающий необратимые потери:

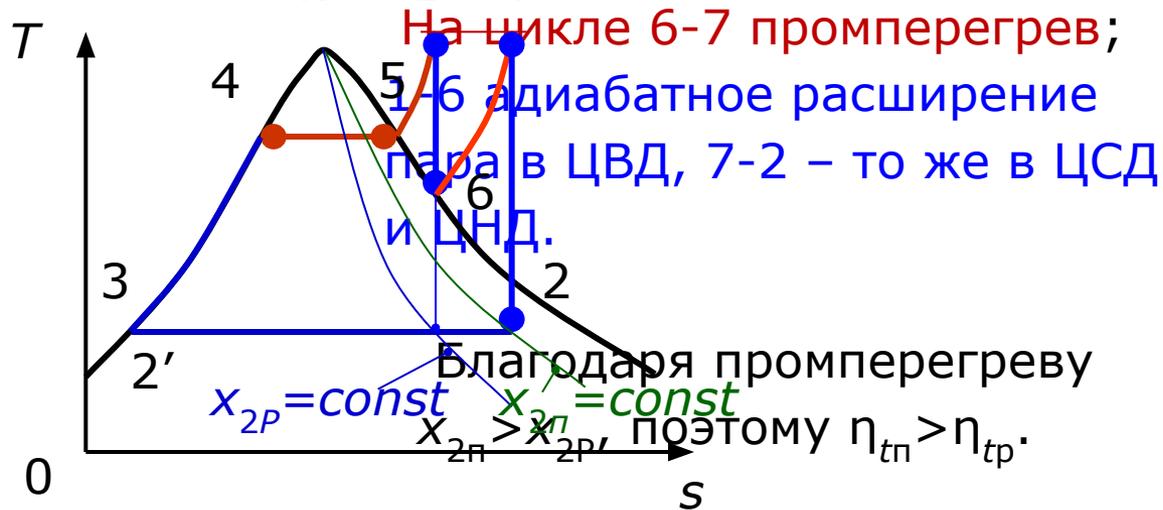
$$\eta_i = \frac{(h_1 - h_2)\eta_{oi}^0 - (h_3 - h_{2'})/\eta_{oi}^i}{h_1 - h_3}$$

Цикл ПТУ

с промежуточным перегревом пара



до линии $x=1$ он поступает в промежуточный пароперегреватель ПП, перегревается снова до температуры свежего пара.



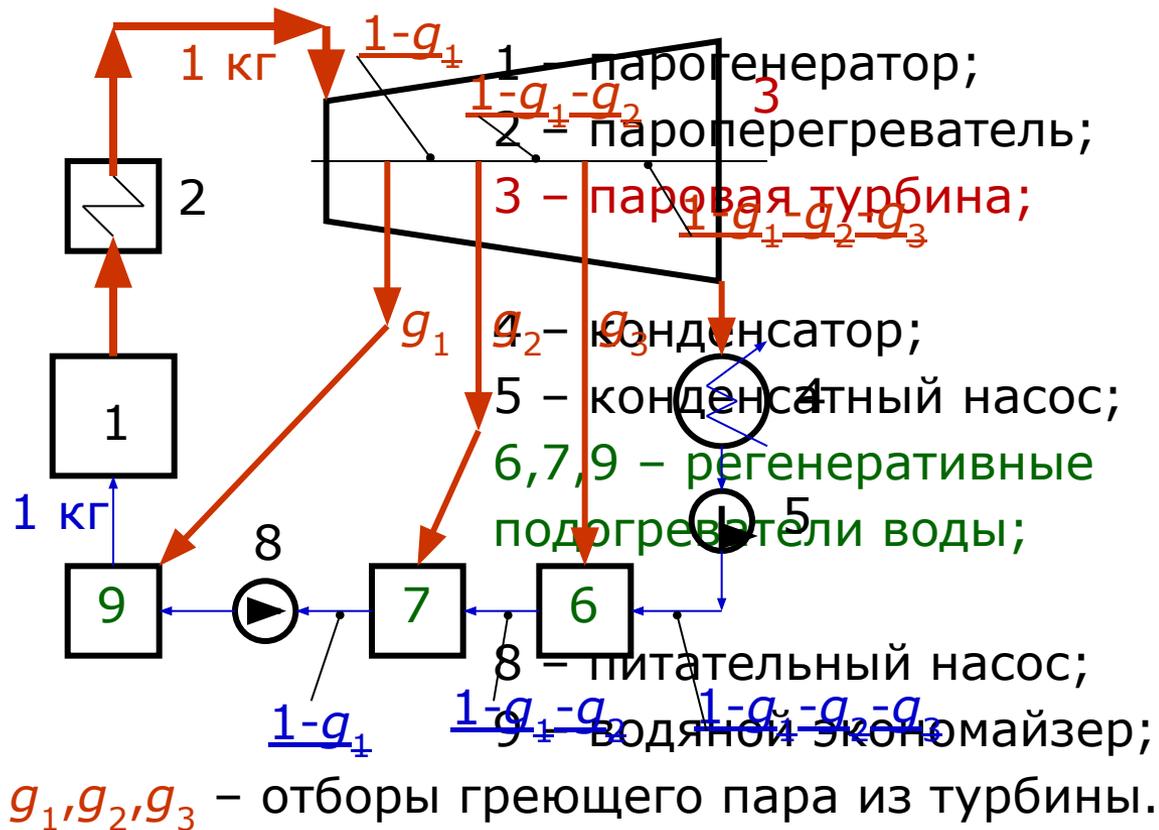
Термический КПД ПТУ с промежуточным перегревом пара

Термический КПД ПТУ с промежуточным перегревом пара:

$$\eta_{ti} = \frac{(h_1 - h_6) + (h_7 - h_2)}{(h_1 - h_3) + (h_7 - h_6)}$$

Основное же назначение промежуточного перегрева пара – это снижение внутренних потерь в турбине от влажности пара, что приводит к повышению внутреннего относительного КПД ПТУ.

Каскадная схема ПТУ с 3 отборами пара для регенеративного подогрева воды



Термический КПД регенеративного цикла ПТУ

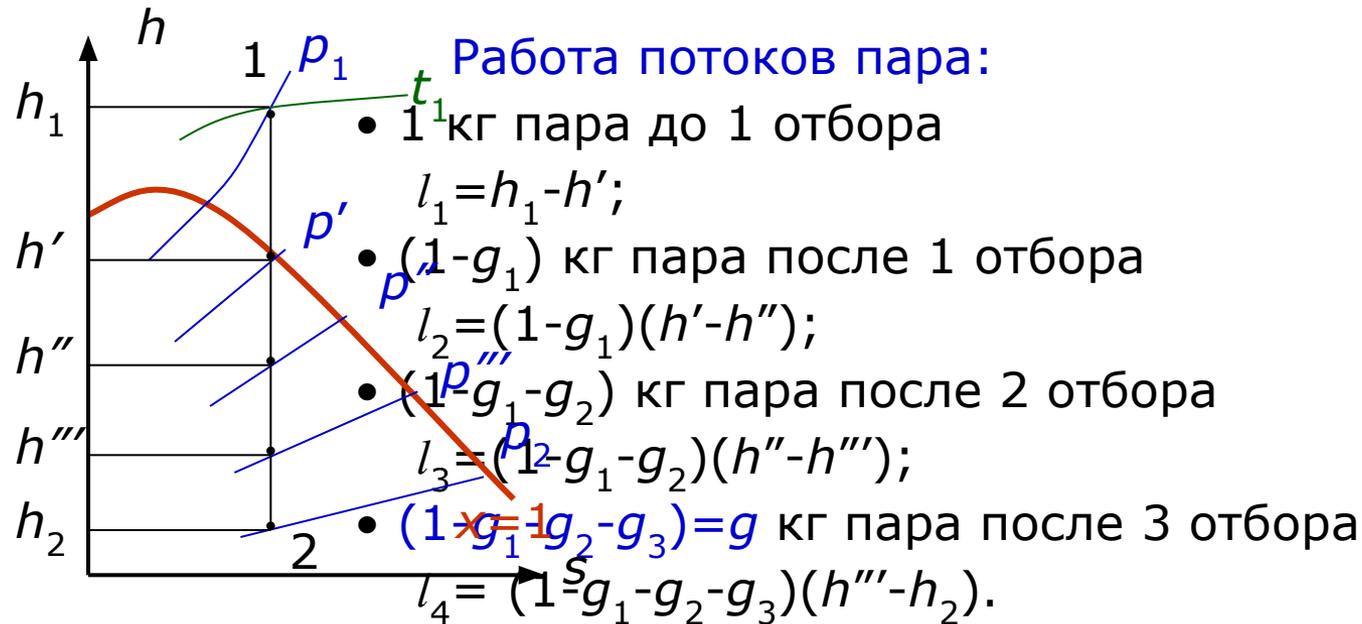
Питательная вода подогревается в трех смесительных регенеративных подогревателях за счет теплоты конденсации водяного пара, отбираемого из турбины.

В реальных ПТУ бывает до 6...9 регенеративных поверхностных и смесительных подогревателей воды, что повышает термический КПД установки $\eta_t = l/q_1$ на 10...14 %,

где работа l складывается из работ потоков пара, проходящих через турбину:

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

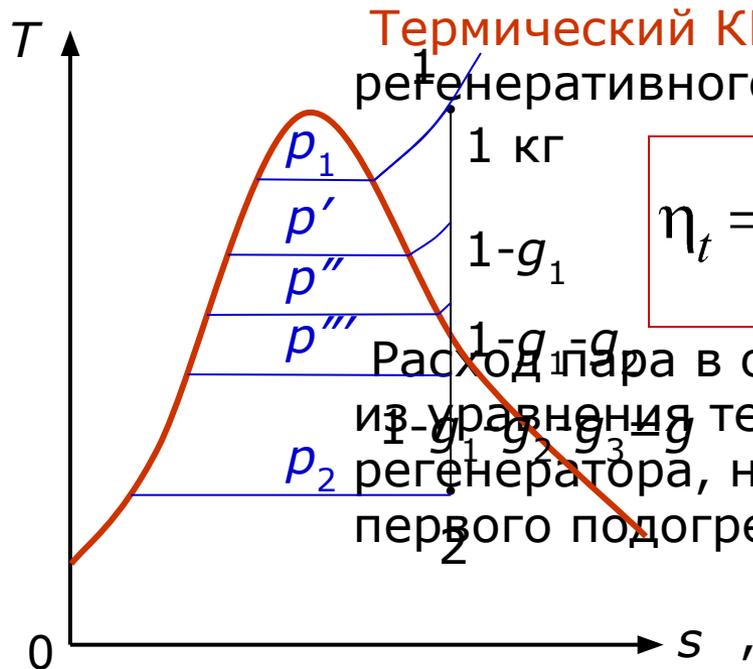
Работа потоков пара



Работа турбины равна сумме этих работ

$$l = h_1 - g_1 \cdot h' - g_2 \cdot h'' - g_3 \cdot h''' - g \cdot h_2.$$

Термический КПД регенеративного цикла ПТУ



Термический КПД
регенеративного цикла ПТУ:

$$\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{h_1 - g_1 h' - g_2 h'' - g_3 h''' - g h_2}{h_1 - h_{i\hat{a}}}$$

Расход пара в отборах находится из уравнения теплового баланса регенератора, например, для первого подогревателя:

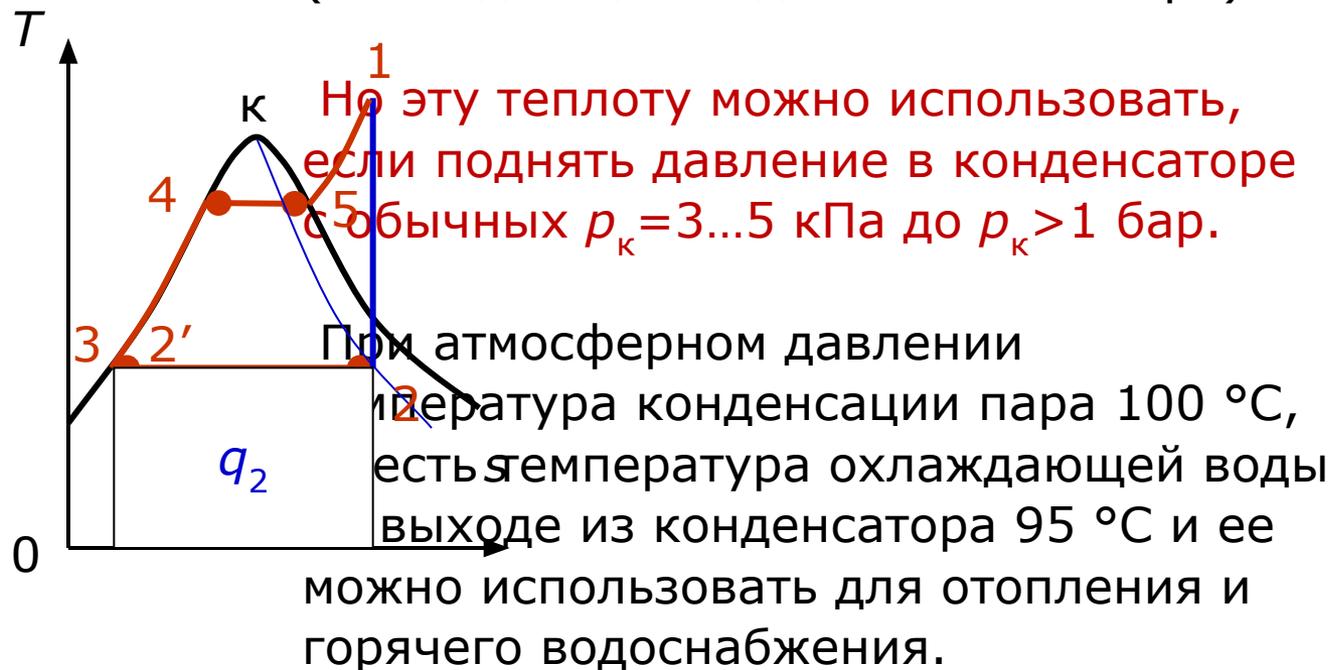
$$h_{i\hat{a}} - h'_0 = g_1 (h' - h'_0)$$

где h'_0 – энтальпия питательной воды на выходе из подогревателя, равная энтальпии конденсата греющего пара, откуда расход пара, кг/с:

$$g_1 = \frac{h_{i\hat{a}} - h'_0}{h' - h'_0}$$

Теплофикационный цикл ПТУ

В цикле Ренкина теплота q_2 должна быть отдана холодному источнику (охлаждающей воде в конденсаторе).



Теплофикация

Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии называется **теплофикацией**; турбины, работающие на таких электростанциях – **теплофикационными**.

Сами же электростанции называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ).

Для характеристики ТЭЦ используется **коэффициент использования теплоты**, который представляет собой отношение суммы работы l цикла ПТУ и отпущенной потребителю теплоты q_2 ко всей подведенной теплоте q_1 : $k = (l + q_2) / q_1$.

Теоретически $k=1$, но из-за тепловых и механических потерь реальное значение $k=0,65...0,8$.