11.06.2020 18-1 Техническое обслуживание турбинного оборудовании.

Захаров Г .П.

Лекция: Регенеративный цикл паротурбинной установки.

*Регенеративным циклом* **ПТУ** обычно *называется такой цикл, в котором осуществляется подогрев питательной воды за счет теплоты пара, отбираемой из различных точек проточной части турбины*. Пар отбирается из турбины после того, как он пройдет ряд ее ступеней и совершит работу; при этом давление понижается от начального **p1** до давления **р0***,*которое поддерживается в отборе.

Отбираемый пар направляется в подогреватели, куда также поступает конденсат или питательная вода. Здесь в результате теплообмена *пар конденсируется*, а *вода нагревается* и затем подается в парогенератор. Конденсат отборного (*греющего*) пара также поступает в парогенератор.

 Для подогрева воды применяются *поверхностные* и *смешивающие* подогреватели, которые называются *регенеративными подогревателями*. В смешивающих подогревателях вода нагревается до температуры кипения в результате смешения воды и конденсата пара, в поверхностных подогревателях вода *не догревается* на **2-3°С** до *температуры кипения*, так как теплообмен между паром и водой происходит через разделяющую их поверхность труб.

Рисунок 13.11 – Принципиальная схема **ПТУ** с двумя смешивающими регенеративными подогревателями

*Экономически целесообразно подогревать питательную воду последовательно в нескольких подогревателях*, количество которых устанавливается технико-экономическим расчетом. Число и места отборов пара зависят от многих факторов и в первую очередь от начальных параметров пара (**р1**и **t1**)*,*мощности установки и конечной температуры подогрева питательной воды.

В современных мощных **ПТУ** подогрев питательной воды осуществляется в регенеративных подогревателях *поверхностного типа*, количество которых может доходить до десяти.

Рассмотрим особенности регенеративного цикла применительно к **ПТУ** с двумя смешивающими подогревателями, схема которой изображена рисунке 13.11.

Процессы в установке протекают следующим образом. Из *парогенератора* **ПГ**перегретый пар с давлением **p1** и температурой **t1**поступает в *турбину* **Т***.* Здесь одна часть пара расширяется до давления **р01<p1** , поступает в первый отбор (*точка* **а***)*и направляется в смешивающий *подогреватель* **СП-1***.*Другая часть пара расширяется до более низкого давления **р02<p01** и поступает во второй отбор (*точка* **b***),*откуда направляется в *смешивающий подогреватель***СП-2**.

Основная (*третья*) часть пара проходит все *ступени турбины*, расширяется до конечного давления **р2** и поступает в *конденсатор* **К***,*где полностью конденсируется. Образующийся конденсат, называемый основным, последовательно прокачивается *конденсатными насосами* **КН**через *смешивающие подогреватели***СП-2**и **СП-1***.*В каждом из них основной конденсат смешивается с конденсатом отборного пара и ступенчато подогревается до температуры кипения, соответствующей давлениям отборов **р02** и **p01**. После подогревателей нагретая вода *питательным насосом* **ПН** подается снова в *парогенератор*, чем и заканчивается цикл.

Для исследования и расчета основных характеристик *регенеративного цикла*применяются следующие обозначения:

- **α1** – доля пара, поступающего в первый отбор;

- **α2** – доля пара, поступающего во второй отбор;

- **1-α1-α2** – доля пара, поступающего в конденсатор.

Параметры пара, поступающего в турбину: давление **p1***,*температура **t1**и энтальпия **i1***.*

Параметры пара первого отбора: давление **p01**, температура **t01** энтальпия **i01** энтальпия его конденсата **i0’1***.*

Параметры пара второго отбора: давление **p02***,*температура **i02**, энтальпия **i02**энтальпия его конденсата **i0’2***.*

Параметры пара при входе в конденсатор: давление**p2**энтальпия **i2**энтальпия его конденсатора**i’2***.*

Процесс расширения пара и турбине считается *обратимым адиабатным*; гидравлические и тепловые потери трубопроводов отборного пара и тепловые потери подогревателей не принимаются во внимание, работа насосов не учитывается. При указанных условиях состояния пара в **i-s**–*диаграмме* находятся как точки пересечения соответствующих изобар и адиабаты расширения (*рисунок* 13.12).

Энтальпии *пара* находятся непосредственно из **i-s**–диаграммы; энтальпии *конденсата* – при помощи таблиц водяного пара. Количество пара, поступающего в подогреватели из отборов турбины, находят из теплового баланса подогревателей.

Составим эти тепловые балансы и найдем соответствующие доли **α1** и **α2**.



Рисунок 13.12 – Адиабатный процесс расширения пара в регенеративном цикле

**Подогреватель СП-2.**В этот подогреватель из конденсатора поступает **1-α1-α2 кг** *воды*, из второго отбора – **α2 кг** *пара* и выходит **1-α1 кг** *воды*. Учитывая ранее принятые обозначения, составим уравнение теплового баланса (*рисунок* 13.11)

 . (13.17)

После преобразований получим

 (13.18)

**Подогреватель СП-1.**В этот подогреватель из первого отбора поступает **α1** кг пара, из подогревателя **СП-2** – **1-α1 кг** *конденсата* и выходит **1 кг** *воды* (*рисунок* 13.11). В соответствии с принятыми обозначениями тепловой баланс подогревателя выражается уравнением

 , (13.19)

откуда

 (13.20)

После подогревателя **СП-1***вода* с энтальпией **i0’1***.*поступает в парогенератор и превращается в *перегретый пар*. Количество теплоты, затраченной в парогенераторе для получения **1** кг перегретого пара, составляет

 , (13.21)

что *меньше*, чем в *цикле* **Ренкина**.

Количество теплоты, отданной в конденсаторе охлаждающей воде, на **1 кг***пара*, поступающего в турбину, найдем по уравнению

 (13.22)

что тоже *меньше*, чем в *цикле* **Ренкина**.

**Термический К.П.Д.** *регенеративного цикла* выражается уравнением

 (13.23)

Работа **1 кг** *пара* в рассматриваемом *регенеративном цикле* может быть определена следующим образом. Часть пара, поступающая в первый отбор при понижении давления от**p1** до **p01**, совершает работу

 (13.24)

Другая часть пара, расширяясь между начальным давлением **p1** и давлением отбора **p02**, совершает работу

 (13.25)

Оставшаяся основная часть пара проходит через всю турбину, расширяется и понижает давление от начального **p1** до конечного **р2**, работа этой части пара равна

 . (13.26)

Суммарная работа трех потоков есть работа **1 кг** *пара*

 . (13.27)

После преобразований уравнение (13.27) приводится к виду

 (13.28)

Из сравнения уравнений (13.6) и (13.28) видно, что при одних и тех же начальных и конечных параметрах *работа* **1** кг пара в *цикле* **Ренкина lРен** *больше, чем в регенеративном цикле*, т. е. **lРен > lрег**.

Используя уравнения (13.28) и (13.21), получаем другое выражение для определения ***термического* К.П.Д. *регенеративного цикла***:

[₽](https://direct.yandex.ru/?partner)Паровая турбина Р-6 с консервацииМотор-редукторAquatron Pulit H5ООО "НПК "ТС ТЕСТ" RA.RU.11АБ175 ошибок при сертификации продукции

 (13.29)

Таким образом, *при осуществлении регенеративного цикла затрата теплоты* в п*арогенераторе* **q1** и *работа* **1 кг** *пара будут меньше*, чем в *цикле* **Ренкина**. Однако теплота **q1**уменьшается более интенсивно, чем работа, и поэтому *термический* **К.П.Д.** *регенеративного цикла всегда больше*, чем в *цикле* **Ренкина**. *Экономичность регенеративного цикла повышается с увеличением начальных параметров пара***p1**, **t1**и *числа отборов*; термический **К.П.Д**. цикла может быть на **10-12%** *выше*, чем в *цикле* **Ренкина**.

Удельный расход пара может быть определен из выражения

 . (13.30)

Поскольку **lРен > lрег**, то *удельный расход пара будет больше*, чем в *цикле* **Ренкина.**

**Применение регенеративного подогрева воды не только повышает термический К.П.Д.,*но и оказывает большое влияние на конструктивное выполнение основных агрегатов паротурбинной установки.***

Контрольные вопросы:

1. Что называют регенеративным циклом ПТУ?

2. За счет чего и где происходит нагрев питательной воды?

3. Какой конденсат называется основным ?

4. Почему *экономически целесообразно подогревать питательную воду последовательно в нескольких подогревателях?*

*5.Почему* количество теплоты, затраченной в парогенераторе для получения **1** кг перегретого пара,

*меньше*, чем в *цикле* **Ренкина**. ?

*6.Вчем положительный эффект регенеративного подогрева питательной воды?*