

Лекція № 11 Теплові принципові схеми енергоблоків ТЕС та ТЕЦ. Методика розрахунку ПТС ТЕС та ТЕЦ. Повна (розвернена) теплова схема ЕС

Література: [1] с. 167-183; [2] с. 26-30; [4] с. 372-376.

Завдання на СРС. Теплові принципові схеми енергоблоків ТЕЦ . Трубопроводи ЕС. Конструктивне виконання схеми трубопроводів. Компоновка трубопроводів турбоустановки.

Література: [1] с. 183-188, 243-258; [2] с. 126-145; [4] с. 255-276.

Розділ 2. Теплові схеми електричних станцій.

Тема 1. Теплові схеми енергоблоків ТЕС та ТЕЦ та трубопроводи ЕС.

Принципиальная тепловая схема электростанции.

Содержание и значение ПТС.

Принципиальная тепловая схема (ПТС) отражает все этапы технологического процесса преобразования энергии и включает все основное и вспомогательное оборудование от парогенератора до турбины по паровым и водяным линиям, а также все оборудование, служащее для отпуска тепла внешним потребителям, термической подготовки добавочной воды, использования тепла продувочных вод.

В состав ПТС входят :

- основные агрегаты (ПГ, Т, К, ЭГ);
- связывающие их линии воды и пара; регенеративные подогреватели низкого и высокого давлений (ПНД, ПВД) с охладителями пара и дренажей (ОП, ОД);
- деаэраторы питательной воды и добавочной воды (Д);
- питательные, конденсатные и дренажные насосы (ПН, КН, ДН);
- линии отборов пара, основного конденсата, дренажей и добавочной воды.
- при термической водоподготовке в схему включают испарительную установку (ИУ(И+КИ));
- схемы ТЭЦ включают сетевые подогреватели или паропреобразовательные установки с соответствующими линиями трубопроводов для внешнего потребителя;
- вспомогательные устройства и охладители продувочной воды (Р, ОПР) парогенераторов;
- охладители пара эжекторных установок и уплотнений (ОЭ, ОУ);

- линии отвода пара из уплотнений турбин к различным подогревателям;
- приводные турбины ПН.

В состав ЭС входят несколько турбоагрегатов и парогенераторов со вспомогательным оборудованием. В ПТС условно изображают один раз каждый элемент данного рода оборудования и линии технологической связи. Т.е. принципиальная тепловая схема изображается как **однаагрегатная и однолинейная**. Резервное оборудование в ПТС не включается.

ПТС блочной ЭС сводится к ПТС блока. ПТС ЭС с различным оборудованием составляется из ПТС частей секций с одинаковыми агрегатами.

Основой ТПС является схема технологической связи парогенератора и турбоустановки со схемой регенеративного подогрева воды.

ПТС с указанием параметров пара и воды и полученные в результате ее расчета значения энергетических показателей определяют уровень технического совершенства ЭС.

ПТС является основной расчетной технологической схемой проектируемой электростанции, позволяющей по заданным нагрузкам определять расходы пара и воды во всех частях установки, ее энергетические показатели.

Составление ПТС

Составление ПТС является одним из важных этапов проектирования ЭС. ***Предварительно при составлении ПТС решается ряд вопросов, связанных с выбором профиля электростанции и основного оборудования:***

1. Выбирают энергетический тип ЭС (КЭС или ТЭЦ), учитывая данные об энергетических нагрузках.
2. Для КЭС определяют *общую электрическую мощность*, тип и мощность отдельных энергоблоков, начальные параметры пара, число ступеней и параметры промперегрева.
3. Для ТЭЦ определяют *электрическую и тепловую мощность*, намечают число и тип теплофикационных турбин.
4. Выбирают тип парогенератора (докритическое давление – барабанные или прямоточные парогенераторы; сверхкритическое давление – прямоточные парогенератор).
5. Выбирают способ подготовки топлива в зависимости от его вида.

При составлении ПТС на основании принятых решений по профилю ЭС и основного оборудования решают следующие задачи:

1. Уточняют начальные параметры свежего пара и пара промежуточного перегрева ($P_0, i_0, t_0, P_{III}, t_{III}$).
2. Выбирают число регенеративных отборов (Z), конечную температуру подогрева питательной воды ($t_{ПВ}$), тип регенеративных подогревателей, схему отвода дренажей (при установке поверхностных подогревателей), решается вопрос о необходимости применения и схеме охладителей пара и дренажей.
3. Выбирают схему включения деаэратора питательной воды (как самостоятельного регенеративного подогревателя или предвключенного ПВД).
4. Определяют тип и схему включения ПН (одноподъемная или двухподъемная), тип привода ПН, схему включения приводной турбины.
5. Выбирают схему подготовки добавочной воды (химическую или термическую). При установке испарителей выбирают тип конденсатора испарителя.
6. Рассматривают схему расширителя и охладителя продувочной воды в схеме ЭС с барабанными ПГ.
7. В тепловую схему на линии основного конденсата включают вспомогательные теплообменники – охладители: пара из эжекторов конденсатора, пара из концевых уплотнений турбины и их эжекторов.
8. Выбирают способ ввода в цикл добавочной воды (деаэратор или конденсатор).
9. В зависимости от вида топлива предусматривают отводы пара на подсушку топлива и прогрев мазута.
10. Для ТЭЦ разрабатывают схему отпуска тепла потребителям (с паром или водой).

Правильно и рационально составленная ПТС должна обеспечивать полный материальный баланс потоков пара и воды в любой точке схемы, оптимальные энергетические и экономические показатели энергоблока.

Методика расчета принципиальной тепловой схемы и пример полной тепловой схемы электростанции.

Расчет принципиальной тепловой схемы включает *определение потоков пара и воды на ЭС, уточнение предварительно выбранных их параметров, определение показателей тепловой экономичности ЭС.*

По данным расчета ПТС для проектируемой ЭС определяются технические характеристики теплового оборудования, обеспечивающие заданный график электрической и тепловой нагрузок и требуемый уровень энергетических и технико - экономических показателей.

При выборе оборудования должна обеспечиваться возможность работы станции при максимальной нагрузке, расчет ПТС должен быть выполнен на максимальный режим:

для КЭС – это режим максимальной электрической мощности станции;

для ТЭЦ существует несколько типичных режимов за годовой период:

- 1) *режим с наибольшим отпуском тепла на отопление* при наибольшей электрической мощности турбоагрегата. При этом пропуск пара в конденсатор минимален;
- 2) *режим минимального отпуска тепла на отопление;*
- 3) *режим без отопительной нагрузки, но с бытовой тепловой нагрузкой (горячего водоснабжения).* Электрическая нагрузка несколько снижается.

Исходными величинами для расчета ПТС являются электрическая мощность турбоагрегата W_e и его тепловая нагрузка Q_n . Искомой является величина расхода свежего пара на турбину (D_o). Иногда в качестве исходной принимается расход свежего пара, тогда определяется электрическая мощность агрегата.

Расчет ведется в следующей последовательности:

I этап – *определение состояния водяного пара в ступенях турбины.* Строится процесс работы пара в турбине в $i-S$ диаграмме. Исходными данными служат значения начального давления P_o и температуры пара t_o перед турбиной, давление и температура промперегрева ($P_{пп}, t_{пп}$), конечное давление отработавшего пара в конденсаторе (P_K). Кроме того, задаются значением внутреннего

относительного КПД η_{oi} отдельных цилиндров и отсеков турбины на основании расчетов, данных эксплуатации, испытаний или по известным аналогам турбин.

II этап – составление сводной таблицы параметров пара и воды. Основой сводной таблицы служат данные рабочего процесса пара в турбине и распределение регенеративного подогрева воды по ступеням.

По температурам основного конденсата и питательной воды за регенеративными подогревателями $t, ^\circ\text{C}$ и значениями подогрева в них $\theta, ^\circ\text{C}$ определяют температуру насыщения t_H и давления греющего пара P_r перед подогревателями. С учетом падения давления в трубопроводах от турбины до подогревателя (5-8% от давления пара в отборах) определяют давление пара в отборе P_P . Точки отборов показывают на линии процесса работы пара в турбине.

В сводную таблицу включают давление и энтальпию P_B, i_B основного конденсата и питательной воды по ступеням подогрева, данные о подогреве воды в регенеративных подогревателях τ_P и количества тепла, отдаваемого греющим паром при конденсации Q_r .

Т.о. сводная таблица параметров пара и воды должна содержать температуры, давления и энтальпии: t, P, i

а) **пара** начиная от входа в турбину вплоть до входа в конденсатор;

б) **конденсата и питательной воды** от конденсатора турбины до выхода из верхней ступени подогрева высокого давления;

в) **конденсата греющего пара**;

г) **подогрев воды и тепло фазового перехода** в регенеративных подогревателях (τ_P, Q_r).

III этап – включает составление уравнений материального баланса потоков пара, конденсата и воды.

Уравнения материального баланса составляются для основного оборудования ЭС:

1) уравнение баланса потоков пара в турбине

$$D_o = \sum D_r + \sum D_{yo} + \sum D_l + D_K$$

2) уравнение *паровой производительности* парогенератора

$$D_{ПГ} = D_0 + D_{УТ}$$

3) уравнение *баланса питательной воды* парогенератора

барабанный ПГ $D_{П.В} = D_{ПГ} + D_{ПР}$

прямоточный ПГ $D_{П.В} = D_{ПГ}$

4) уравнение *баланса добавочной воды* на АЭ

$$D_{П.В} = D_{УТ} + D'_{ПР}$$

IV этап – включает составление уравнений тепловых и материальных балансов элементов ПТС.

Для определения расхода рабочего тела по элементам тепловой схемы используются два метода:

а) принимается *расход острого пара на турбину* D_0 и по нему определяются расходы на отдельные элементы схемы D_j и мощность турбины W ; применяется, когда принятый расход обеспечивает необходимую мощность с точностью 2-3%.

б) принимается *мощность турбины* W , определяется расход пара на турбоустановку D_0 и на элементы схемы D_j .

Вначале расчет производят на 1 кг острого пара, затем определяют *относительные величины регенеративных отборов* $\alpha_j = \frac{D_j}{D_0}$ и удельную выработку электроэнергии $W_{\text{Э}}$ на 1 кг острого пара. Затем определяется полный расход $D_0 = \frac{W_{\text{Э}}}{\omega_{\text{Э}}}$ в кг/ч, и абсолютные величины всех отборов D_j .

Расчет для обоих методов сводится к составлению тепловых и материальных балансов, из которых определяются расходы пара на элементы тепловой схемы.

Для смешивающих подогревателей уравнение теплового баланса

$$i_j''(D_{j1} + D_{j2} + \dots) = \eta(i_{j1}D_{j1} + i_{j2}D_{j2} + \dots)$$

Для поверхностных подогревателей уравнение теплового баланса

$$D_j(i''_j - i'_j) = \eta[D_{j1}(i_{j1} - i_{дрj}) + D_{j2}(i_{j2} - i_{дрj}) + \dots]$$

где $D_{j1}, D_{j2}, \dots$ - расход греющих сред (пара, дренажа) входящих в j-подогреватель;

$i_{j1}, i_{j2}, \dots$ - энтальпия потоков, входящих в j-подогреватель;

i''_j, i'_j - энтальпия обогреваемой воды на входе и выходе из подогревателя.

Последовательность расчета зависит от типа ЭС, особенностей схемы. Целесообразно начинать составление и решение уравнений теплового баланса с внешних узлов, т.е. с установки по отпуску тепла внешнему потребителю, водоподготовительных устройств, расширителей продувки ПГ. Расчет регенеративной схемы начинается с ПВД, затем Д, и ПНД.

V этап – энергетический баланс турбоустановки, из которого определяется расход пара на турбину D_0 , если отборы пара выражены в долях D_0 и задана электрическая мощность турбины.

Энергетическое уравнение имеет вид

$$D_0 = \frac{3600 \cdot W_{\Sigma}}{H_{KI} \cdot \eta_M \cdot \eta_T \cdot (1 - \sum y_j \alpha_j)}$$

Из этого уравнения определяют либо W_{Σ} , либо расход D_0 . Если определяется мощность, то полученное значение сравнивают с ожидаемым и при расхождении изменяют D_0 .

После определения D_0 или W_{Σ} следует произвести контроль внутренней мощности турбоагрегата по уравнения

$$W_{ki} + \sum W_{ji} = W_i = \frac{W_{\Sigma}}{\eta_M \eta_T}$$

где $W_{ki} = \frac{D_K H_{Ki}}{3600}$; $W_{ji} = \frac{D_j H_{ji}}{3600}$ - внутренняя мощность конденсационного и отбираемого потоков пара на регенерацию.

VI этап – завершающий этап расчета ПТС заключается в определении энергетических показателей турбоустановки и энергоблока.

1. Расход тепла на турбину с учетом потерь и восполнения их добавочной водой.

$$Q_{TY} = D_0(i_0 - i_{П.В}) + D_{ПП}(i_{ПП} - i_{ОПП}) - D_{Д.В}(i_{П.В} - i_{Д.В}), \left(\frac{\kappa Д\mathcal{E}}{ч}\right)$$

2. Удельный расход тепла на турбоустановку брутто с учетом мощности главной турбины $W_{\mathcal{E}}$ и вспомогательных приводных турбин $W_{ТП}$

$$q_{TY} = \frac{Q_{TY}}{W_{\mathcal{E}} + W_{ТП}}, \left(\frac{\kappa Д\mathcal{E}}{\kappa Вт \cdot ч}\right)$$

$$\text{Электрический КПД турбины } \eta_{TY} = \frac{3600}{q_{TY}};$$

3. Тепловая нагрузка парогенератора

$$Q_{ПГ} = D_{ПГ}(i_{ПГ} - i_{П.В}) + D_{ПП}(i_{ПП}^Г - i_{ПП}^{ГО})$$

где $i_{ПП}^{ГО}, i_{ПП}^Г$ - энтальпия пара до и после промежуточного перегрева в парогенераторе.

4. КПД транспорта тепла $\eta_{TP} = \frac{Q_{TY}}{Q_{ПГ}}$

5. Расход тепла топлива на энергоблок $Q_C = \frac{Q_{ПГ}}{\eta_{ПГ}},$

КПД энергоблока $\eta_C = \eta_{TY} \cdot \eta_{ПГ} \cdot \eta_{TP}$, удельный расход

тепла на энергоблок $q_C = \frac{Q_C}{W_{\mathcal{E}}}$, удельный расход условного

топлива $b_{\mathcal{E}}^y = \frac{Q_C \cdot 10^3}{Q_H^{PY} \cdot W_{\mathcal{E}}}$ на производство электроэнергии.

Развернутая (полная) тепловая схема электростанции (РТС).

Развернутой (полной) тепловой схемой электростанции является такая схема (РТС), на которой показано все тепловое оборудование, включая все работающие и все резервные агрегаты как основные, так и вспомогательные.

На РТС показывают всю *систему трубопроводов*, объединяющих это оборудование, включая *параллельные связи* между отдельными блоками и все *вспомогательные трубопроводы*, включая дренажные линии, а также различные баки – *питательные, дренажные* и т.д.

На трубопроводах и агрегатах показывается *вся арматура*. При этом наряду с основными связями в соответствии с технологической последовательностью (основные продольные связи) приводят все байпасы и обводы (вспомогательные продольные связи).

Полная схема отражает также все возможные подключения резервного оборудования (поперечные связи).

Полная тепловая схема определяет количество основного и вспомогательного оборудования, арматуры, их типоразмеры.

При разработке развернутой схемы предусматривается возможность работы электростанции на всех режимах, определенных техническими условиями, и защита оборудования при отклонении от этих режимов.

РТС содержит все оборудование и коммуникации, необходимые для пуска и остановки паротурбинных установок, которые объединяют в пусковые схемы.

Основные составляющие РТС ЭС:

- Турбогенераторы – паровые турбины, конденсаторы и электрогенераторы.
- Парогенераторы – прямоточные ПГ показывают в развернутом виде включая экономайзерную, испарительную и пароперегревательную часть.
- Теплообменники (ПВД, ПНД, СМ).
- Насосы (ПН, КН, БН).
- Приводные турбины.
- Пиковые водогрейные котлы.
- Баки – чистого и добавочного конденсата, дренажные, сливные.
- Установки химического обессоливания и термической обработки добавочной воды.
- Трубопроводы: острого пара, промперегрева, основного конденсата, питательной воды, для отпуска тепла и пара внешнему потребителю, охлаждающей воды конденсаторов турбины, масло-, газо- и воздухоохладителей.
- Пусковые устройства – обводные быстродействующие редуционно-охладительные устройства БРОУ и РОУ, сепараторы, растопочные распределители.
- Арматура, входящая в систему трубопроводов: запорная, регулирующая, защитная, дросселирующая.
- Вспомогательные устройства и линии, используемые при пуске, остановке и изменениях режима работы паротурбинной установки.

Обозначения линии и арматуры, принятые при изображении полных тепловых схем и их элементов



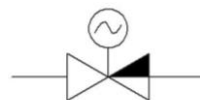
Вентиль



Обратный клапан



Регулирующий клапан



Регулирующий клапан с электродвигателем



Клапан обратный с гидроприводом



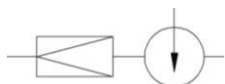
Предохранительный клапан



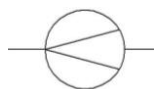
Редукционный клапан



Впрыскивающий пароохладитель



РОУ (редукционно-охладительное устройство)



Расходомер



Шайба дроссельная



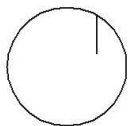
Набор дроссельных шайб



Электропривод



Выхлоп в атмосферу



Фильтр водяной



Острый пар



Пар промперегрева



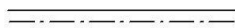
Питательная вода



Конденсат



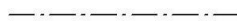
Дренаж



Паровоздушная смесь



Циркуляционная вода

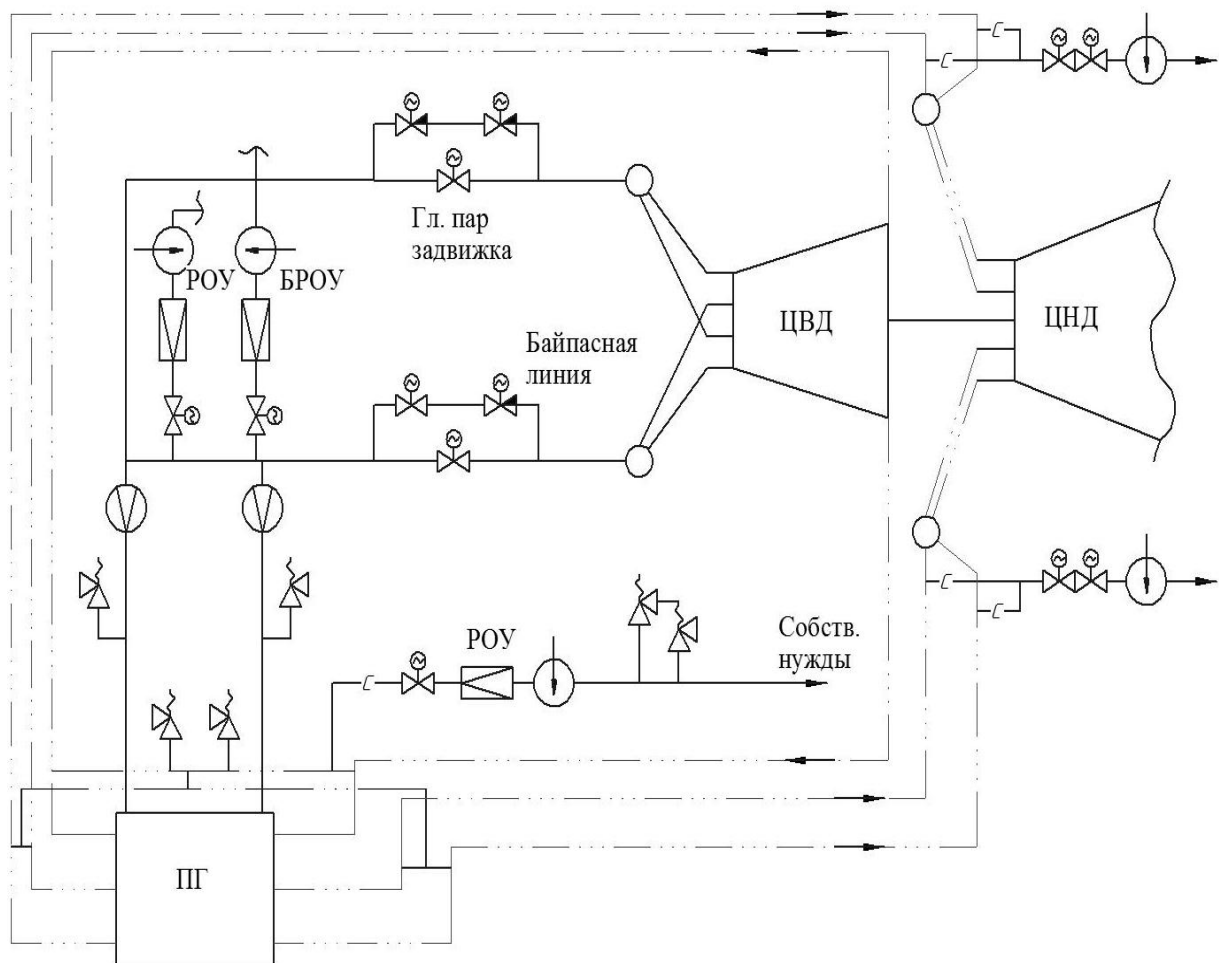


Пар отборов

Пример схемы главных трубопроводов ЭС

Свежий пар направляется в турбину по двум линиям; на промперегрев направляется также по двум паропроводам (холодные нитки промперегрева), а возвращается по четырем паропроводам (горячие нитки промперегрева). Число линий главных паропроводов стараются уменьшить.

Линии острого пара и промперегрева соединены перемычками для выравнивания давления в паропроводах. На паропроводах острого пара установлена главная паровая задвижка с байпасной линией, на которой стоит регулирующий клапан и запорная задвижка. Байпас используется при пуске блока и для регулирования подачи пара в турбину при небольших расходах.



К паропроводам свежего пара присоединена БРОУ; для предотвращения превышения числа отборов турбогенератора по сравнению с допустимым при сбросе нагрузки стопорный клапан прикрывается и пар перепускается в конденсатор турбины (пар предварительно дросселируется и охлаждается конденсатом). В *режимах холостого хода* в проточную часть турбины поступает лишь такое количество пара, которое необходимо для *выработки электроэнергии на собственные нужды*.

БРОУ используется для сброса пара в конденсатор при пуске блока на скользящих параметрах. *Прогрев трубопроводов* при пуске блока проводится *острым паром*, перепускаемым через редуционно-охлаждающее устройство (РОУ).

К перемычке *холодных ниток промперегрева* присоединено РОУ для отвода пара на собственные нужды. К *горячим линиям* перед ЦСД присоединено перепускное устройство, с помощью которого при прогреве трубопроводов и сбросе нагрузки пар охлаждается и сбрасывается в конденсатор. На всех линиях острого пара устанавливаются предохранительные клапаны.

РТС является основным видом проектно-технологической документации, определяет состав, тип, число, количество основного и вспомогательного оборудования и арматуры, дает представление о надежности работы ЭС в целом.

По РТС можно судить об экономичности решений схемы трубопроводов, об объеме операции и времени для переключения оборудования при пуске, останове, переходных и аварийных режимах.