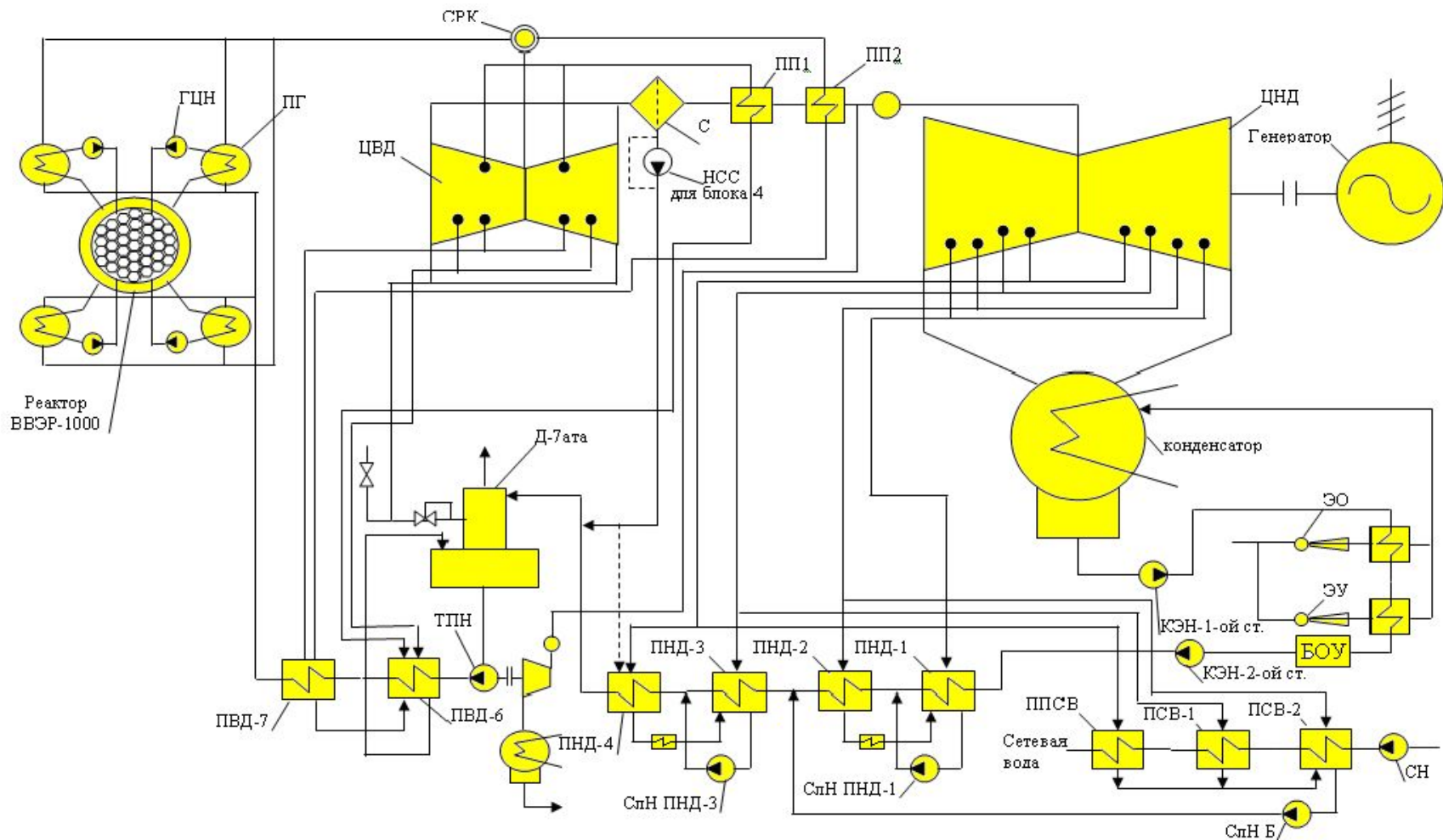


2

факультет

Эксплуатационное  
обслуживание  
теплоэнергетических объектов  
(Тепловая схема БАЭС)

# Тепловая схема 2-го контура Балаковской АЭС





# ***Состав 2-го контура***

**2-ой контур** (на рис. 1) - нерадиоактивный **состоит из:**

- испарительной установки;
- водопитательной установки;
- блочной обессоливающей установки (БОУ);
- турбоагрегата электрической мощностью 1000 МВт.

# ***Параметры насыщенного пара***

Насыщенный пар, производимый в парогенераторах, с:

- давлением 6,4 Мпа (64 ата);
- температурой 280 °С;

подается в сборный паропровод и направляется к турбоустановке, приводящей во вращение электрогенератор.

# *Расход пара*

Расход пара от 4-ех парогенераторов на турбину составляет примерно **6000** т/ч.

# ***Вспомогательное оборудование***

Во 2-ой контур также входят:

- конденсатные насосы первой и второй ступеней;
- подогреватели высокого и низкого давления;
- деаэратор;
- турбопитательные насосы.

# Пар и ЦВД

Во 2-ом контуре пар с влажностью 0,2 % из 4-ёх парогенераторов по паропроводам через стопорно-регулирующие клапаны подводится в середину 2-х поточного симметричного цилиндра высокого давления (ЦВД) турбины, где после расширения с давлением 1,2 МПа и влажностью 12 % направляется к 4-ём сепараторам-пароперегревателям (СПП), в которых после осушки пара (*сепарат для использования его теплоты отводится в деаэратор*) осуществляется его 2-х ступенчатый перегрев, в 1-ой ступени паром 1-го отбора с давлением 3 МПа и температурой 234 °С, во 2-ой - свежим паром.



# ***Конденсат греющего пара***

Образовавшийся конденсат греющего пара направляется в подогреватели высокого давления (ПВД) для передачи его теплоты питательной воде.

# ***Основной перегретый пар***

Основной перегретый пар при параметрах 1,13 МПа и 250 °С поступает в 2-е ресиверные трубы, расположенные по бокам турбины,  
а из них - через стопорные и поворотные заслонки - в 3-и одинаковых 2-х поточных цилиндра низкого давления (ЦНД).

# ***Параметры конденсатора***

Из каждого ЦНД пар поступает в свой конденсатор, каждый из которых имеет:

- ***охлаждающую поверхность***  
площадью  $33160 \text{ м}^2$
- ***с общим расходом охлаждающей воды***  $169800 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

# ***Состав регенеративной системы***

Регенеративная система установки состоит из 4-ёх подогревателей низкого давления (ПНД), деаэратора и 2-х групп ПВД.

# ***Повышение экономичности турбоустановки***

***Применение регенеративного подогрева питательной воды, осуществляемого отборным, проработавшим в турбине паром, в наибольшей степени увеличивает экономичность цикла конденсационной паротурбинной установки.***

Повышение экономичности турбоустановки в результате регенеративного подогрева питательной воды определяется тем, что часть пара, работающего в турбине, ***отдает свою скрытую теплоту парообразования*** не охлаждающей воде конденсатора, ***а питательной воде.***

# *Расход питательной воды и привод насосов ПН*

В связи с большим расходом питательной воды (до  $\approx 6500$  т/ч) в качестве привода для основных питательных насосов используются не электрические двигатели, а турбопривод.

# ***Турбопривод питательных насосов***

При использовании для подачи питательной воды турбопитательных насосов вместо электропитательных ***потребление электрической энергии на собственные нужды АС уменьшается на 1,4 % (менее 5 % вместо 6,4 % при использовании электропитательных насосов).***

При этом также ***возникает возможность увеличения расхода пара*** через ЦВД, не перегружая последние ступени ЦНД по пару.

# ***Параметры турбопитательных насосов***

Питательная вода в ПВД подаётся **2**-мя турбопитательными насосами **мощностью** около **12** МВт каждый, их приводная турбина питается перегретым паром, отбираемым за СПП, и **имеет собственный конденсатор.**



# ***Система регенеративных подогревателей высокого давления***

Турбопитательные насосы предназначены для подачи питательной воды из деаэратора в парогенераторы через систему регенеративных подогревателей высокого давления, их 2-а на каждый энергоблок.

Изготовитель - производственное объединение "Насосэнергомаш" (г. Сумы).

# ***Марка и характеристики ТПН***

Каждый насос состоит из двух,

- главного ПТА 3750-75 и
  - предвключённого (бустерного) БН 3800-20,
- все вместе они образуют единый агрегат, приводимый в действие
- конденсационной турбиной К-12-10ПА (ОК-12А) производства Калужского турбинного завода.

## ***Производительность***

- каждого турбопитательного насоса около 3800 м<sup>3</sup>/ч,
- у предвключённых насосов частота вращения 1800 об/мин, развиваемое давление 1,94 МПа;
- у главных - 3500 об/мин и 7,33 МПа.

# ***Конструктивные особенности***

Турбопитательный агрегат весьма массивен и имеет ***собственную маслосистему***, а его ***турбина - конденсатор***.

***Конденсат*** отработанного пара приводной турбины ***отводится в конденсаторы турбины***

К-1000-60/1500-2 по безнасосной схеме.

На случай необходимости предусмотрены и ***собственные конденсатные***

# ***Резервирование***

Для блоков с ВВЭР-1000 ***резервных турбопитательных насосов не предусмотрено***, что связано с необходимостью прогрева турбопривода перед включением, поэтому при выходе из строя одного из них ***мощность энергоблока снижается на 50 %***.

Для аварийных режимов, режимов пуска и расхолаживания ***предусмотрены вспомогательные питательные электронасосы***.

# *Отборы пара*

Турбинная установка имеет:

- 3-и отбора пара из ЦВД (включая отбор после ЦВД) и
  - 4-е отбора пара из ЦНД,
- всего 7-мь отборов.

# ***1-й отбор пара – назначение***

Пар 1-го отбора в качестве греющего пара направляется в пароперегреватели 1-ой ступени СПП и в ПВД-7.

В ПВД-7 также поступает конденсат греющего пара СПП 2-ой ступени СПП.

## ***2-й отбор пара – назначение***

Пар 2-го отбора поступает как греющий пар в ПВД-6, в него же поступает конденсат греющего пара СПП 1-ой ступени СПП.

## ***3-й отбор пара – назначение***

Пар 3-го отбора питает коллектор пара собственных нужд.

От коллектора пара собственных нужд пар через регуляторы поддержания давления поступает в 2-а деаэратора.



# *Деаэраторы*

В деаэраторы каскадно сливается конденсаты греющего пара ПВД, конденсаты греющего пара первой и второй ступеней СПП (в режимах работы с отключением обоих групп ПВД).

В режимах работы ТПН и ВПЭН с малым расходом часть питательной воды с напора этих насосов по трубопроводам рециркуляции возвращается в деаэраторы.

# ***Выпор деаэраторов***

Выпор деаэраторов в качестве рабочей среды поступает в эжектора турбин К-1000-60/1500-2 и ОК-12А.

Пар на уплотнения этих турбин подается с пароуравнительного коллектора деаэраторов.

# ***Коллектора пара собственных нужд***

Из коллектора пара собственных нужд пар может подаваться к общестанционным потребителям (спецкорпус, ХВО), к соседним блокам, к пиковому подогревателю сетевой воды, к пароэжекторным машинам и через редуцирующее устройство РОУ 14/3 к потребителям реакторного отделения.

# ***Схема расхолаживания блока***

Предусмотрена возможность расхолаживания блока через технологический конденсатор по схеме:

- главный паровой коллектор
- - БРУ-СН –
- коллектор пара собственных нужд –
- технологический конденсатор.

# ***Коллектор пара собственных нужд – дополнительная задача***

Коллектор пара собственных нужд через редуцирующее устройство РОУ-14/6 также является резервным источником подачи пара к эжекторам и уплотнениям турбин К-1000-60/1500-2 и ОК-12А.

# ***БРУ-СН***

К коллектору пара собственных нужд имеется резервный подвод пара из паропроводов свежего пара через быстродействующее редуцирующее устройство БРУ-СН.

# ***4-й отбор пара - назначение***

Отборный пар из 4-го отбора после 1-ой ступени каждого ЦНД используется как греющий пар для ПНД-4 и для пикового подогревателя сетевой воды.

## ***5-й отбор пара - назначение***

Отборный пар из пятого отбора после 2-ой ступени каждого ЦНД используется как греющий пар для ПНД-3 и для подогревателя сетевой воды 2-ой ступени.



## ***6-й отбор пара - назначение***

Отборный пар из 6-го отбора после четвертой ступени каждого ЦНД используется как греющий пар для ПНД-2 и для подогревателя сетевой воды 1-ой ступени.

# ***7-й отбор пара - назначение***

Отборный пар из 7-го отбора после шестой ступени каждого ЦНД используется как греющий пар для ПНД-1.

# *Сетевая вода*

Турбина К-1000-60/1500-2 работает на нерадиоактивном паре, поэтому подогреватели сетевой воды - без промежуточного контура.

Однако для большей радиационной безопасности давление сетевой воды принимается большим, чем давление греющего пара.

Поэтому при неплотностях в теплообменной поверхности подогревателей сетевой воды переток воды возможен только из тепловой сети в греющий пар, а не наоборот.

# ***Конденсат греющего пара подогревателей сетевой воды***

Конденсат греющего пара подогревателей сетевой воды сливается каскадно:

- из пикового подогревателя в подогреватель 2-ой ступени,
- оттуда в подогреватель 1-ой ступени.

Из подогревателя сетевой воды конденсат греющего пара откачивается насосом в линию основного конденсата за ПНД-2.

# Конденсат *ПНД-3* и *ПНД-4*

Конденсат греющего пара из ПНД-4 сливается в ПНД-3 и из него закачивается насосом в линию основного конденсата за ПНД-3.

# ***Охладитель дренажа***

***Для повышения тепловой экономичности*** на линии конденсата греющего пара из ПНД-4 в ПНД-3 установлен ***охладитель дренажа***.

# Конденсат ПНД-1 и ПНД-2

Конденсат греющего пара ПНД-2 через охладитель дренажа поступает в ПНД-1 и из него закачивается насосом в линию основного конденсата за ПНД-1.

# ***Конденсат после конденсатора***

В конденсатор поступает отработанный пар и обессоленная добавочная вода. Образовавшийся основной конденсат откачивается конденсатными насосами первой ступени после конденсатора через охладители рабочего пара эжекторов (основной и уплотнений) и поступает на конденсатоочистку, далее конденсатными насосами 2-ой ступени через ПНД подается в деаэраторы.



# *Температура нагрева конденсата в ПНД*

Подогрев основного конденсата в ПНД производится до  $\approx 50$  °С.

# *Эжекторы*

Эжектора размещены до конденсатоочистки, так как важна непосредственная близость эжекторов к конденсатору, а небольшой прирос температуры конденсата перед ионообменными фильтрами практически не меняет температурный режим их работы.

Конденсат рабочего пара эжекторов сливается в конденсатор, непосредственно для основного эжектора и через дренажный бак с последующей закачкой в конденсатор для эжектора уплотнений.

# ***БРУ-К***

При внезапной остановке турбины имеется возможность сброса свежего пара непосредственно в конденсаторы через быстродействующие редуцирующие устройства БРУ-К.

ФИНИШ