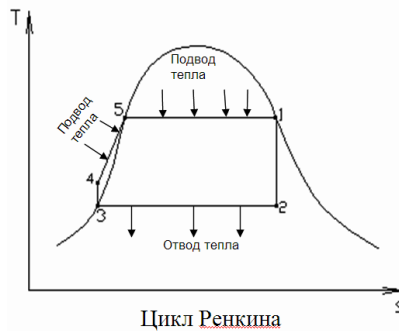
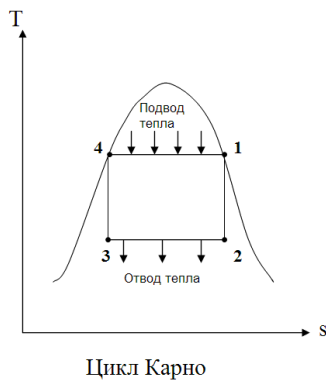


1. Выбор и обоснование начальных и конечных параметров рабочего цикла для АЭС с разными типами реакторов.

Термодинамический цикл – это замкнутый круговой процесс, совершаемый



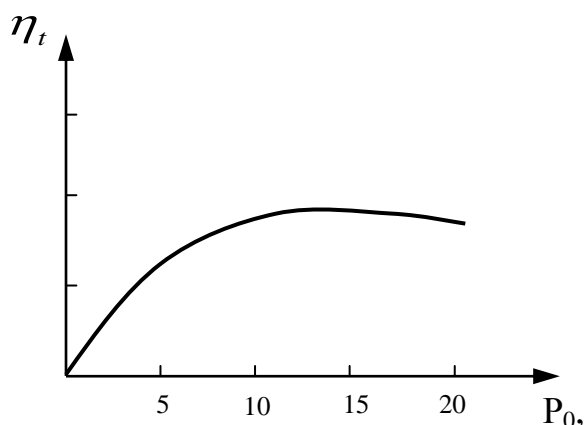
рабочим телом в тепловой машине (контуре ЯЭУ)
 1 – 2 – адиабатическое расширение рабочего тела в турбине; 2 – 3 – конденсация пара в конденсаторе; 3 – 4 – сжатие рабочего тела; 4-1 (4-5-1) – подвод тепла к рабочему телу (по изотерме

– цикл Карно, по изобаре – цикл Ренкина) в ПГ или в реакторе.

К.п.д. цикла: $\eta_t = \frac{l}{q_0}$, l - полезная работа, q_0 – подведенное в цикле тепло

- В основе оценки тепловой экономичности цикла лежит термодинамическая эффективность преобразования тепловой энергии, характеризуемая к.п.д. термодинамического цикла – термическим к.п.д.
- Термический к.п.д. зависит от многих факторов, в частности, от начальных и конечных параметров рабочего цикла.

Выбор начальных параметров рабочего цикла одноконтурных ЯЭУ с реакторами типа РБМК-1000



Характер зависимости к.п.д. цикла Ренкина на насыщенном паре от начального давления рабочего тела (конечное давление не изменяется)

- заметный рост к.п.д. наблюдается при повышении начального давления пара до 7,0 – 7,5 МПа,
- при давлении 12 – 13 МПа к.п.д. достигает максимума

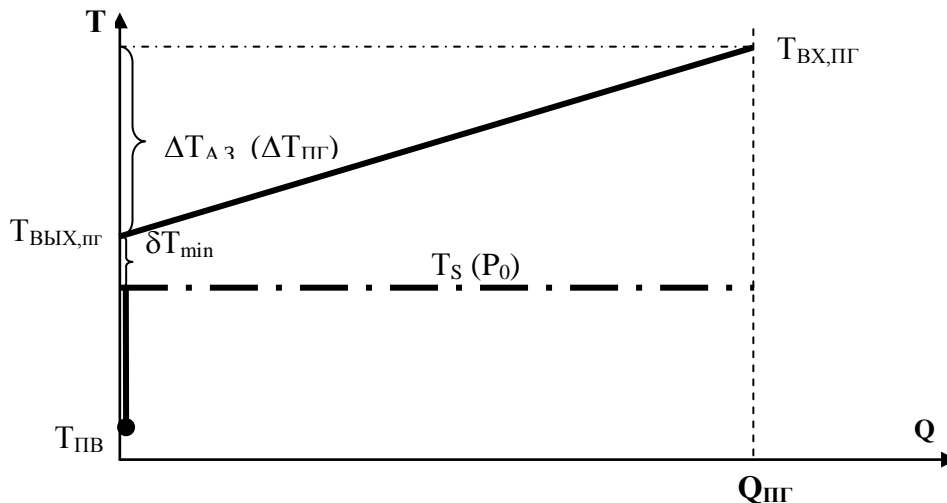
при дальнейшем увеличении начального давления наблюдается уменьшение к.п.д. цикла,

- с точки зрения тепловой эффективности, а также с учетом всех запасов (по предельной температуре оболочек ТВЭЛов, по запасу до кризиса теплообмена), начальное давление рабочего тела можно было бы выбрать в диапазоне 12 – 12,5 МПа,
- при выборе начального давления пара необходимо также учитывать и экономический фактор.
- технологическая схема блока с реактором РБМК является одноконтурной,

- начальные параметры рабочего тела фактически совпадают с параметрами теплоносителя,
- при повышении давления с 7 – 7,5 МПа до 12 – 12,5 МПа прирост к.п.д. будет незначительным, а металлоемкость оборудования возрастет, а значит и капитальные затраты тоже возрастут,
- увеличение массы металла в активной зоне реактора приведет к увеличению поглощения нейтронов в конструкционных материалах, для компенсации этого эффекта необходимо использовать топливо повышенного обогащения, что дополнительно увеличивает эксплуатационные затраты,
- с ростом давления уменьшается критический тепловой поток, следовательно надо уменьшать энергонапряженность активной зоны, а значит при фиксированной мощности реактора это приводит к росту размеров активной зоны,
- с учётом всех этих факторов для одноконтурных АЭС с водяным теплоносителем начальное давление рабочего тела принимается равным $P_0 \approx 7$ МПа, $t = t_s(P_0)$.

Выбор начальных параметров рабочего цикла двухконтурных ЯЭУ с реакторами типа ВВЭР-1000

- Технологическая схема двухконтурная ; Выработка раб пара в ПГ за счет передачи тепла от т-ля к раб телу ; температура (P_0) рабочего тела зависит от температуры теплоносителя



Температура кипения $T_S(P_0)$, а следовательно и давление раб тела зависит от температуры т-ля на выходе из ПГ $T_{ВЫХ,ПГ}$ и минимального температурного напора δT_{min} .

- $T_{ВЫХ,ПГ}$ будет зависеть от $\Delta T_{А.З.} = T_{ВХ,ПГ} - T_{ВЫХ,ПГ}$; В реакторе ВВЭР обычно не допускают кипения т-ля, поэтому $T_{ВХ,ПГ} < T_S(P_1)$. Запас до кипения выбирается $\approx 20 - 25$ С; При выборе максимальной температуры теплоносителя необходимо также учитывать и ограничения по максимальной рабочей температуре оболочек твэлов, изготовленных из циркония. (не выше 350 С); При повышении давления заметно снижаются критические тепловые потоки и допустимые удельные тепловыделения в

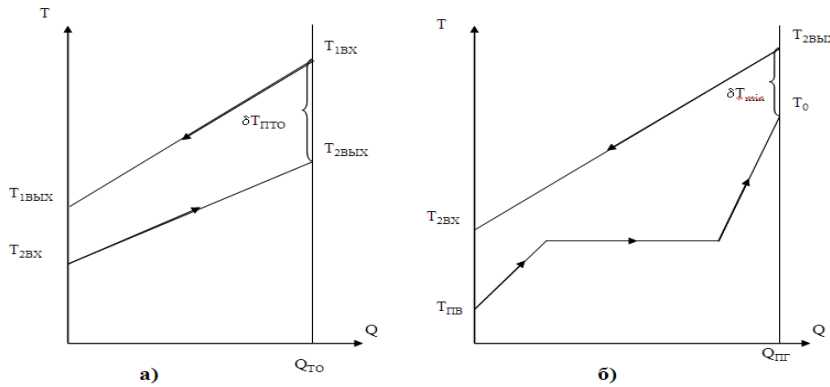
активной зоне. $\Rightarrow 16$ МПа ($T_s \approx 347$ С).
 учетом запаса до кипения на выходе из реактора $320 \div 325$ С.

- Подогрев $\Delta T_{A.3}$ теплоносителя в активной зоне реактора ВВЭР-1000 – величина оптимизируемая.
- Мощность реактора QR-P можно записать следующим образом:
- $QR-P = GTH * CP * \Delta T_{A.3}$

Начальные параметры рабочего тела на блоке с реактором на быстрых нейтронах

- Технологическая схема блока трехконтурная.
- Чтобы исключить контакт радиоактивного натрия с водой и водяным паром вводится промежуточный контур, теплоносителем в котором является

натрий, но только нерадиоактивный.



T-Q диаграмма промежуточного т/о (а) и ПГ (б)

T_0 зависит от T натрия II к на выходе из промежуточного т/о $T_{2ВВХ}$ и δT_{min} в пароперегревателе ПГ

Величина δT_{min} выбирается такой же как и в ПГ блока с реактором ВВЭР-1000, т.е. $10 \div 15$ С.

- Температура $T_{2ВВХ}$ зависит от max T натрия I к $T_{1ВХ}$ и $\delta T_{ПТО}$. Max T натрия I к определяется допустимой рабочей температурой материала оболочки твэлов, изготавливаемых из нержавеющей стали (рабочая температура ≈ 600 С) Температура $T_{1ВХ}$ может достигать $550 \div 570$ С, а при $\delta T_{ПТО} = 25-35$ С $T_{2ВВХ} = 525 \div 530$ С. Температура острого пара может достигать значения $\approx 510 - 515$ С. При такой температуре пара его давление может быть выбрано в широком диапазоне значений, вплоть до сверхкритических величин. Например, для блока с реактором БН-600 начальная температура пара выбрана равной 505 С при давлении $13,7$ МПа (140 ата). Что касается давления теплоносителя в реакторе, то оно невелико, как правило, не превышает 1 МПа.

Выбор конечных параметров рабочего тела.

- Чем ниже конечное давление пара, тем большую работу он совершает в турбине.
- Добиваясь расширения пара в турбине до давления, ниже атмосферного, можно увеличить теплоперепад на $20-25\%$.

- С
- $\Delta T_{A.3} \uparrow \rightarrow G \downarrow \rightarrow w_{тн} \downarrow \rightarrow \Delta P_{A.3} \downarrow$
 - $\Delta T_{A.3} \uparrow \rightarrow T_s(P_2) \downarrow \rightarrow \eta_t \downarrow$
 - $\Delta T_{A.3} = 30^\circ\text{C}$
 - $Q_{ПГ} = k * F * \Delta T_{л}$
 - $\Delta T_{л} = f(\delta T_{min}); \delta T_{min} \downarrow \rightarrow \Delta T_{л} \downarrow \rightarrow F \uparrow$
 - $\delta T_{min} \downarrow \rightarrow T_s(P_2) \uparrow \rightarrow \eta_t \uparrow$
 - $\delta T_{min} = 10-15^\circ\text{C}$
 - $T_{ВХ} = T_s(P_1) - \Delta T_{зан}; T_{об} \leq 350^\circ\text{C}$
 - $T_{ВХ} = 320-325^\circ\text{C}$
 - $T_s(P_2) = 280-275^\circ\text{C}, P_2 = 60-65 \text{ ата}$

- При снижении конечного давления пара возникает ряд проблем.
- В процессе расширения пара в турбине его влажность непрерывно увеличивается и в конце процесса расширения достигает неприемлемо высоких значений.
- Наличие влаги в потоке приводит к увеличению коррозионного и эрозионного износа лопаток, снижает внутренний к.п.д турбины.
- Технически данная проблема решается путем сепарации пара в специальных сепарационных устройствах.
- При снижении давления пара происходит увеличение его удельного объема.
- Чтобы скорость пара оставалась в пределах допустимых значений, необходимо увеличивать проходное сечение, т.е. увеличивать длину лопаток турбины.
- Предельная длина лопаток ограничена прочностными характеристиками материала.
- Чтобы длина лопаток не превышала предельных значений, необходимо исходный поток пара после цилиндра высокого давления разделять на несколько потоков, т.е. увеличивается общее число цилиндров турбины, увеличивается ее длина, а следовательно, металлоемкость стоимость.
- Конденсация пара в конденсаторе турбины происходит за счет передачи теплоты конденсации циркуляционной охлаждающей воде. Температура конденсации не может быть ниже температуры охлаждающей воды.
- Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор зависит от типа системы технического водоснабжения, местоположения станции, времени года, изменяясь от 2-10 С зимой до 15-30 С летом.
- При нагреве охлаждающей воды в конденсаторе ≈ 10 С можно получить давление в конденсаторе турбин АЭС порядка $P_k = 0,004 \div 0,006$ МПа

2. Обоснование необходимости использования регенеративного подогрева в схемах АЭС.

Влияние степени регенерации и числа регенеративных подогревателей на КПД цикла с регенерацией.

Регенеративный подогрев на АЭС.

Подогрев питательной воды за счет теплоты частично отработавшего в турбине пара называется регенеративным подогревом питательной воды.

Технически такой процесс осуществляется следующим образом. В процессе расширения пара часть его отбирается из турбины и направляется в специальные теплообменные аппараты (регенеративные подогреватели) для нагрева конденсата питательной воды.

С термодинамической точки зрения выигрыш от регенеративного подогрева состоит в следующем.

При чисто конденсационном цикле весь пар, подводимый к турбине, доходит до конденсатора, в котором

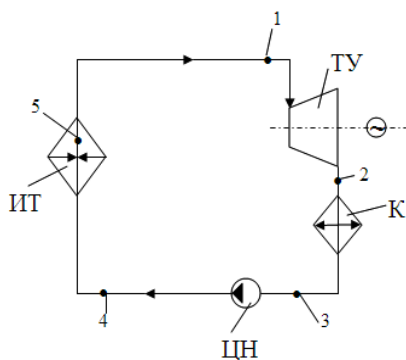


Схема без регенеративного подогрева

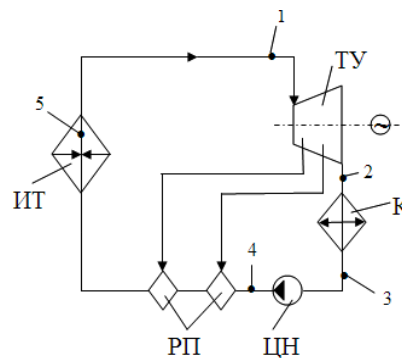
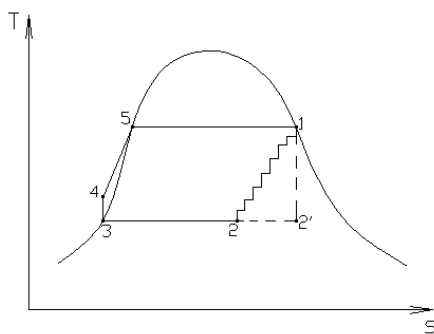


Схема с регенеративным подогревом

происходит его полная конденсация, и теплота конденсации уносится в окружающую среду с охлаждающей водой.

- В цикле с регенерацией теплота отбираемого пара возвращается (регенерируется) обратно в цикл. Это позволяет заметно повысить тепловую экономичность цикла.



Условное изображение цикла с регенерацией в T-s диаграмме

Характеристики регенеративного подогрева:

Степень регенерации - это отношение фактического подогрева питательной воды к максимально возможному.

$$\sigma = \frac{h_{п.в.} - h_K}{h_0 - h_K} \approx \frac{t_{п.в.} - t_K}{t_0 - t_K}$$

• $\alpha_K \cdot (h_0 - h_K) = \omega_K$ - работа, совершаемая в турбине долей пара, дошедшей до конденсатора.

• $\sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i) = \omega_p$ - работа, совершаемая в турбине долями пара, ушедшими в отборы на регенеративный подогрев.

$\alpha_K \cdot (h_K - h'_K) = q_K$ - отвод тепла в конденсаторе.

$\alpha_K \cdot (h_0 - h'_K) = q_0$ тепло, подводимое в источнике для выработки доли пара α_K .

$\sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i) = q_P = \omega_P$ тепло, подводимое в источнике для получения долей пара α_i

Исходя из общего определения, запишем выражение для к.п.д. цикла: $\eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$

Подставив выражения для q_1 и q_2 , получим в общем виде выражение для к.п.д. цикла с регенерацией:

$$\eta_P = \frac{\alpha_K \cdot (h_0 - h_K) + \sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i)}{\alpha_K \cdot (h_0 - h'_K) + \sum_i \alpha_i \cdot (h_0 - h_i)} = \frac{\omega_K + \omega_P}{q_0 + q_P} = \frac{\omega_K}{q_0} \cdot \frac{1 + \frac{\omega_P}{\omega_K}}{1 + \frac{q_P}{q_0}} = \eta_t \cdot \frac{1 + A_P}{1 + A_P \cdot \eta_t}$$

$\eta_t = \frac{(h_0 - h_K)}{(h_0 - h'_K)}$ - термический к.п.д. цикла без регенерации

$A_P = \frac{\omega_P}{\omega_K}$ - энергетический коэффициент цикла, то есть отношение работы, совершаемой паром отборов, к работе конденсационного потока пара.

Сравним к.п.д. цикла с регенерацией и к.п.д. цикла без регенерации

$$\Delta\eta = \frac{\eta_P - \eta_t}{\eta_t} = \frac{1 - \eta_t}{\frac{1}{A_P} + \eta_t}$$

Для цикла с регенерацией энергетический коэффициент $A_P > 0$, поэтому $\Delta\eta > 0$, причем чем выше A_P , тем больше $\Delta\eta$

В свою очередь, энергетический коэффициент A_P зависит от ряда факторов: количества подогревателей, теплоперепадов $h_0 - h_i = \Delta h_i$

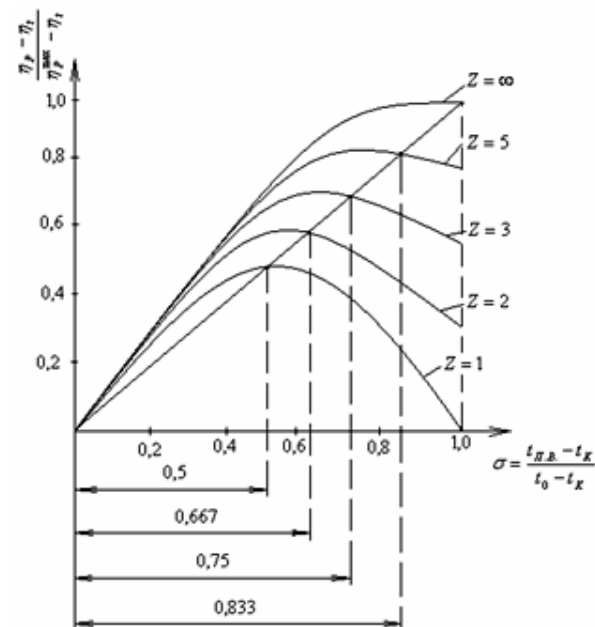
температуры питательной воды и их соотношений. Поэтому надо искать optimum величины A_P в зависимости от всех этих параметров. Это одна из задач расчета схемы регенеративного подогрева.

Максимальный КПД цикла с регенерацией – при бесконечном числе подогревателей в системе. В области оптимальной степени регенерации КПД имеет пологий максимум.

При добавлении каждого последующего подогревателя КПД растёт, но величина прироста уменьшается.

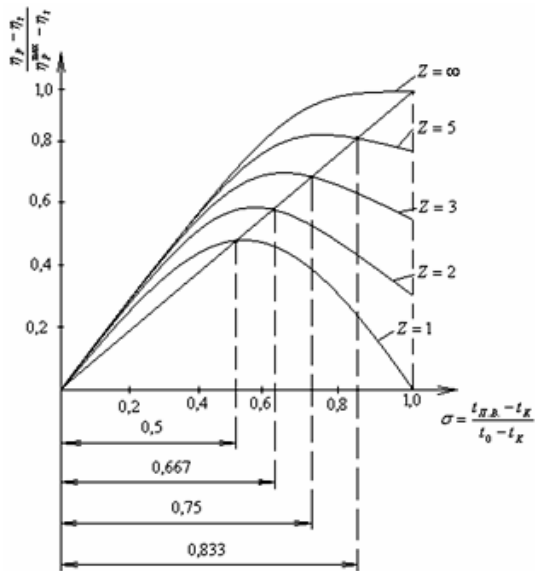
В реальности: На практике используется 5÷8 регенеративных подогревателей. Реальная

степень регенерации – примерно $0,85 \div 0,9 \sigma_z^{opt}$. Подогревы выбираются примерно равными на всех подогревателях. При этом КПД незначительно отличается от КПД с оптимальным распределением подогревов, но становится возможным использовать серийные подогреватели.



3. Оптимальное число регенеративных подогревателей в схемах ЯЭУ. Оптимальные параметры регенеративного подогрева при произвольном числе подогревателей в тепловой схеме.

Характер зависимости экономии теплоты от степени регенерации и числа регенеративных подогревателей



регенеративных подогревателей

В пренебрежении тепловыми потерями, потерями давления и затратами на прокачку.

- Максимальный КПД цикла с регенерацией – при бесконечном числе подогревателей в системе.
- В области оптимальной степени регенерации КПД имеет пологий максимум.
- При добавлении каждого последующего подогревателя КПД растёт, но величина прироста уменьшается.

В реальности:

- На практике используется 5÷8 регенеративных подогревателей
- Реальная степень регенерации – примерно $0,85 \div 0,9 \sigma_z^{opt}$
- Подогревы выбираются примерно равными на всех подогревателях. При этом КПД незначительно отличается от КПД с оптимальным распределением подогревов, но становится возможным использовать серийные подогреватели.

Оптимальные параметры регенеративного подогрева при произвольном числе подогревателей

Если z – число подогревателей, то оптимальное значение степени

регенерации, определяемой, как $\sigma = \frac{h_{нс} - h'_к}{h'_0 - h'_к}$ составит: $\sigma_z^{opt} = \frac{z}{z+1}$ Оптимальные

величины подогревов: $\tau_i^{opt} = (h_{вых,i} - h_{вх,i})^{opt} = h_{i-1}^{омб} - h_i^{омб}$

Оптимальная величина $h_{нс}^{opt} = h'_к + \sum_{i=1}^z \tau_i^{opt}$

$$t_{П.В.}^{онм} = t'_к + Z \cdot \Delta t = t'_к + \frac{t_0 - t'_к}{Z+1} \cdot Z$$

Оптимальное число регенеративных подогревателей в семах ЯЭУ

Энергетический коэффициент – отношение работы, совершаемой в турбине долей пара, ушедшей на регенеративный подогрев к работе, совершаемой долей пара, дошедшей до конденсатора:

$$A_p = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i (h_0 - h_i)}{\alpha_k (h_0 - h_k)}$$

где α_i – доля пара, идущего в i -й отбор, а h_i – энтальпия пара в i -м отборе.

КПД цикла с регенерацией связан с КПД цикла без регенерации соотношением:

$$\eta_p = \eta_t \cdot \frac{1 + A_p}{1 + \eta_t A_p}, \quad \frac{\eta_p}{\eta_t} \geq 1$$

тогда:

$$\frac{\eta_p - \eta_t}{\eta_t} = \frac{1}{\eta_t} \left(\eta_t \cdot \frac{1 + A_p}{1 + \eta_t A_p} - \eta_t \right) = \frac{1 + A_p}{1 + \eta_t A_p} - 1 = \frac{A_p}{A_p} \frac{1 - \eta_t}{1/A_p + \eta_t} = \frac{1 - \eta_t}{1/A_p + \eta_t}$$

Следовательно, чем больше A_p , тем больше η_p .

Условия оптимального регенеративного подогрева – при которых A_p максимально.

То есть, чем больше подогревателей, тем больше КПД, но каждый следующий подогреватель увеличивает КПД на меньшее значение, чем предыдущий. Таким образом, существует оптимальное число подогревателей, ограниченное капитальными вложениями, расходами на прокачку конденсата, потерями давления греющего пара и тепловыми потерями. На АЭС обычно используется 5 – 8 подогревателей.

Примечание: количество регенеративных подогревателей зависит и от типа реактора. Например, для РБМК, как правило, нет ПВД, так как тП.В. занижена по другим соображениям:

- уменьшается вынос продуктов коррозии в реактор;
- улучшается работа ГЦН, т.к. при более низкой температуре питательной воды увеличивается запас до кавитации насоса;
- увеличивается предельная мощность ТК по условию запаса до кризиса кипения.

4. ВВЭР-1000. Состав, основные технические характеристики.

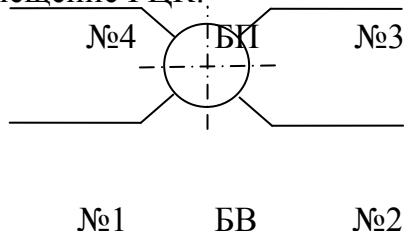
В состав энергоблока входят ядерная паропроизводящая установка водородного типа единичной электрической мощностью 1000 МВт. Технологическая схема энергоблока двухконтурная.

Состав:– реактор– 4 ГЦН (ГЦН – 195М)– трубопроводы главного циркуляционного контура ($d_{\text{внутр}} = 850\text{мм}$, $d_{\text{внеш}} = 1000\text{мм}$) – вспомогательные системы

ГЦК:

Все циркуляционные петли по компоновке и длинам идентичны.

Размещение ГЦК:



Технические характеристики:

Параметр	Размерность	Величина
Тепловая мощность номинальная	МВт	3000
Диаметр активной зоны	м	3.16
Высота активной зоны	м	3.53
Количество ТВС в активной зоне	шт	163
Шаг ТВС	мм	236
Количество ТВЭЛ в ТВС	шт	312
Количество ПЭЛ в ТВС	шт	18
Диаметр/шаг ТВЭЛ	мм	9.1/12.75
Давление теплоносителя на выходе из реактора	МПа	15.7±0.3
Температура теплоносителя на входе/выходе реактора	⁰ С	290/320
Расход теплоносителя	³ м /час	84800
Гидравлическое сопротивление реактора без входных и выходных патрубков	МПа	3.73

4.1 ТЭ с реакторами, охлаждаемыми водой под давлением

ВВЭР

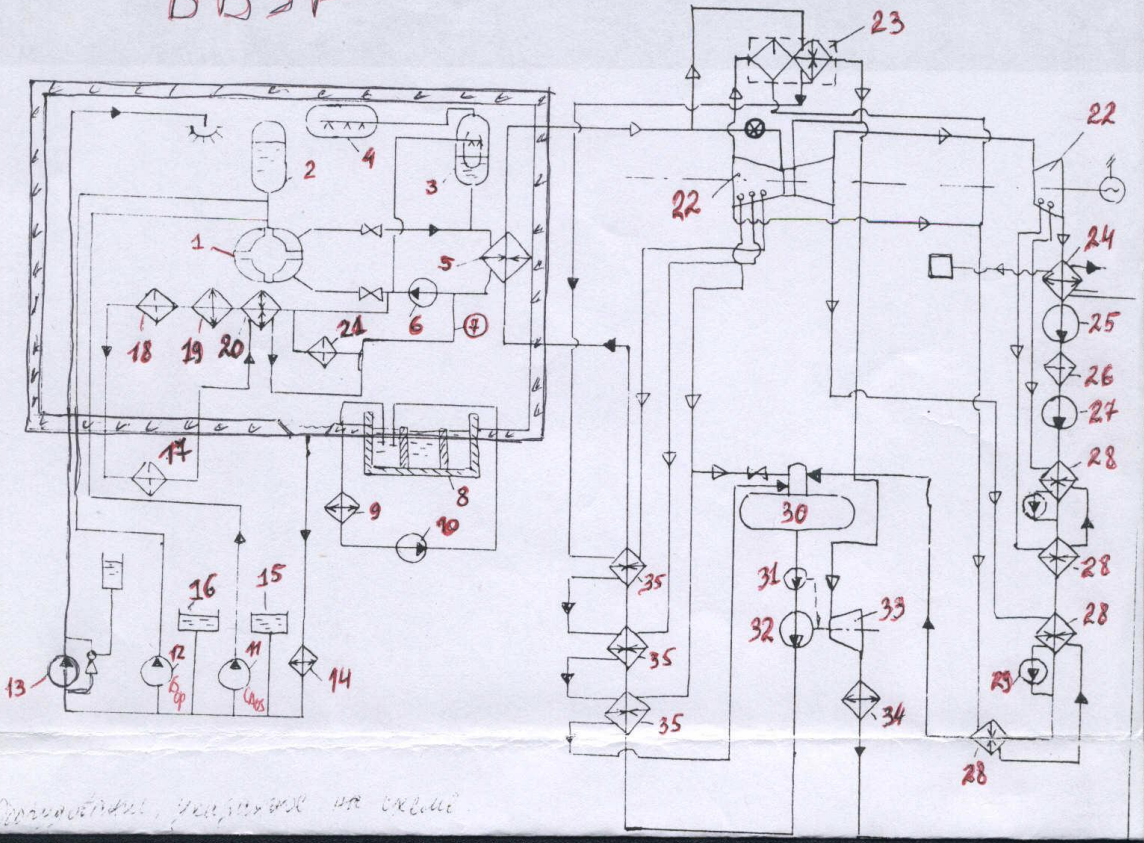


Схема системы, работающей на воде

- 1-Р 2-ГЕ САОЗ 3-КД 4-ББ 5-ПГ 6-ГЦН 7-СППр а – подпиточный насос 8-Бассейн выдержки 9-Теплообменник БВ 10-Насос БВ 11-Насосы САОЗ 12-Насос САВБ 13-Спринклерный насос 14-ТО САПр а – бак прямок 15- Аварийного запаса бора 16- Аварийного запаса бора 17-Фильтр СВО 18-Фильтр СВО 19-Дохладители продувки 20-Регенеративный ТО 21-Механический фильтр 22-Турбина 23-Сепаратор – пароперегреватель 24-Конденсатор основной 25-Конденсатный насос 26-Обессоливающая установка 27-Конденсатный насос 28-ПНД 29-Дренажный насос 30-Деаэратор 31-Предвключенный насос 32-Питательный насос 33-турбопривод питательного насоса, для вращения ЦН 34-Конденсатор приводной турбины 35-ПВД

5. Система компенсации давления блока с реактором типа ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.

Назначение СКД

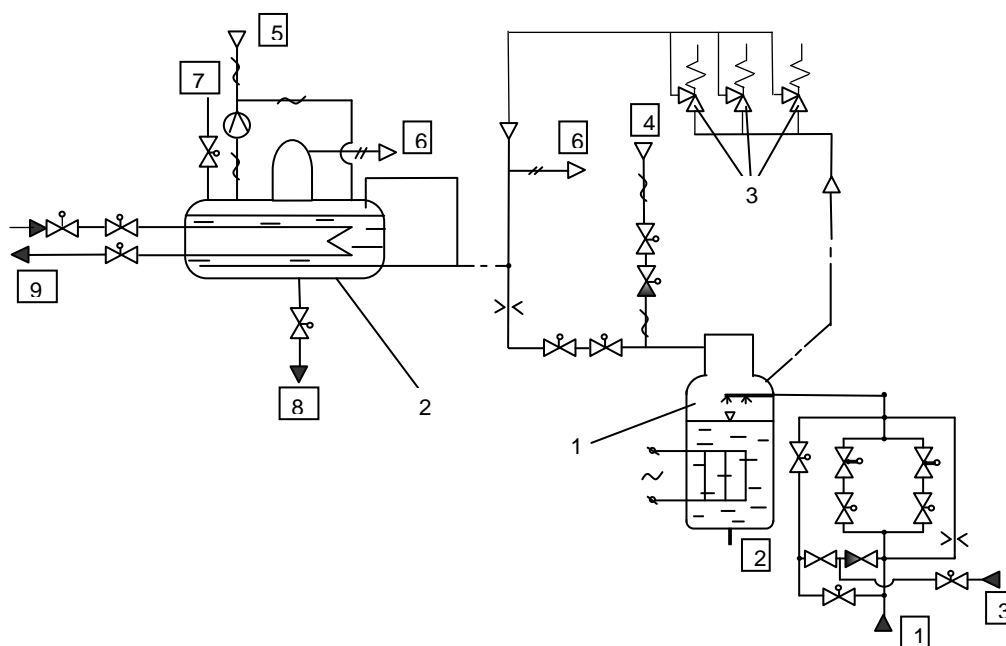
1) Вода обладает относительно большим температурным коэффициентом объемного расширения и малой сжимаемостью. При разогреве реактора с холодного состояния ($T_{1K} \approx 70 \text{ C}$) до горячего состояния ($T_{1K} = 280 \text{ C}$) плотность воды уменьшается на 30%. Это обстоятельство, учитывая малую сжимаемость воды, делает необходимым установку в первом контуре специального устройства, позволяющего компенсировать столь значительные изменения объема, а, следовательно, и давления. Такое устройство называется системой компенсации давления. Эта система является составной частью реакторной установки и предназначена:

- для создания первоначального давления в первом контуре при пуске ГЦН,
- для поддержания давления в контуре в допустимых пределах в стационарном режиме и
- для ограничения давления в переходных и аварийных режимах.

По критериям безопасности система компенсации давления относится к системам нормальной эксплуатации.

Состав СКД

- компенсатор давления (КД);
- бак – барботер (ББ: $V_{\text{ББ}} = 30 \text{ м}^3$, $V_{\text{воды}} = 20 \text{ м}^3$);
- импульсные предохранительные устройства;
- трубопроводы, арматуру и обвязку компенсатора давления и барботера.



Система компенсации давления ВВЭР-1000.

1 – компенсатор давления, 2 – бак-барботер, 3 – импульсные предохранительные устройства.

Линии связи: 1- от холодной нитки петли №1; 2- дыхательный трубопровод к горячей нитке петли №4; 3 - от подпиточных насосов; 4 - подача азота высокого давления (20 ата) для создания первоначального давления в контуре для запуска ГЦН; 5 - подача азота низкого давления (1,5-2 ата) для разбавления газов над поверхностью воды в ББ; 6 - газовые сдувки; 7- заполнение бака-барботера конденсатом; 8 – дренаж; 9 - охлаждающая вода промконтура.

Работа системы КД

1) Первоначальное давление в первом контуре (≈ 20 ата), необходимое для запуска ГЦН, создается за счет подачи азота высокого давления по линии 4 в газовый объем компенсатора давления.

2) В дальнейшем разогрев первого контура осуществляется за счет работы ГЦН после их включения, а КД разогревается за счет работы электронагревателей. При нагреве воды в КД до температуры насыщения происходит ее испарение, и азотная подушка заменяется на паровую.

3) Паро-газовая смесь сбрасывается в барботер, где пар конденсируется, а газ отводится по линии газовых сдувок.

4) При изменении давления в первом контуре его выравнивание происходит за счет фазовых переходов пара в жидкость и наоборот.

Кроме этого, при необходимости включаются электронагреватели КД или осуществляется подача относительно холодной воды на впрыск в КД.

5) При аварийном увеличении давления в первом контуре происходит открытие ИПУ:

- контрольного при $P_{1к} \geq 18.2$ МПа (186 ата);
- двух рабочих при $P_{1к} \geq 18.6$ МПа (190 ата).

Посадка ИПУ происходит соответственно:

- контрольного при $P_{1к} \leq 17.6$ МПа;
- двух рабочих при $P_{1к} \leq 17.8$ МПа.

6) При срабатывании ИПУ сброс пара (теплоносителя) осуществляется в барботер по трубопроводу Ду 250. В водяном объеме барботера пар конденсируется и теплота конденсации отводится охлаждающей водой промконтура. Для защиты барботера от превышения давления на его горловинах устанавливаются защитные мембраны.

7) Автоматическое регулирование системы компенсации давления охватывает:

- давление 1 контура (над активной зоной)
- уровень теплоносителя в КД
- скорость разогрева-расхолаживания КД.

8) Поддержание давления 1 контура в нормальном режиме и горячем останове обеспечивается регулятором давления (всережимный регулятор давления 1 контура), точность поддержания $\pm 0,15$ МПа.

КД – это вертикальный цилиндрический сосуд $H = 11800$ мм, $D = 3$ м, $V_{КД} = 79$ м³, $V_{воды} = 55$ м³. Паровая часть КД находится при t_s , температура создается и поддерживается от встроенных ТЭН ($\Sigma N_{ТЭН} = 2520$ кВт). В нижней части обечайки

на фланцевых соединениях монтируется 28 блоков ТЭН каждый из которых состоит из 9 ТЭН.

Крышка люка КД и фланцевые разъемы блоков ТЭН уплотняются двумя прокладками (никелевой и асбестографитовой). Есть система контроля плотности прокладок. Замер уровня в КД осуществляется через уравнильные сосуды.

ИПУ: всего 3 ИПУ (2 работают, 1 контрольный) каждое ИПУ состоит из 1 главного клапана, 2-х управляющих клапанов, 2-х запорных ручных вентилях.

В случае отказа электрической схемы ИПУ работают как обычный пружинный.

ББ предназначен для приема и конденсации:

- протечек пара через ПК ИПУ КД при их неплотности с расходом до 250 м³/час
- парогазовой смеси, поступающей в КД в режиме перехода с азотной подушки на паровую и при продувке его парового объема
- пара, срабатывающего через ПК КД при их проверке или срабатывании с расходом не более 150 кг/с (в течении 9 сек. при давлении в коллекторе 20-115 кгс/см²)

6. Система подпитки-продувки блока ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.

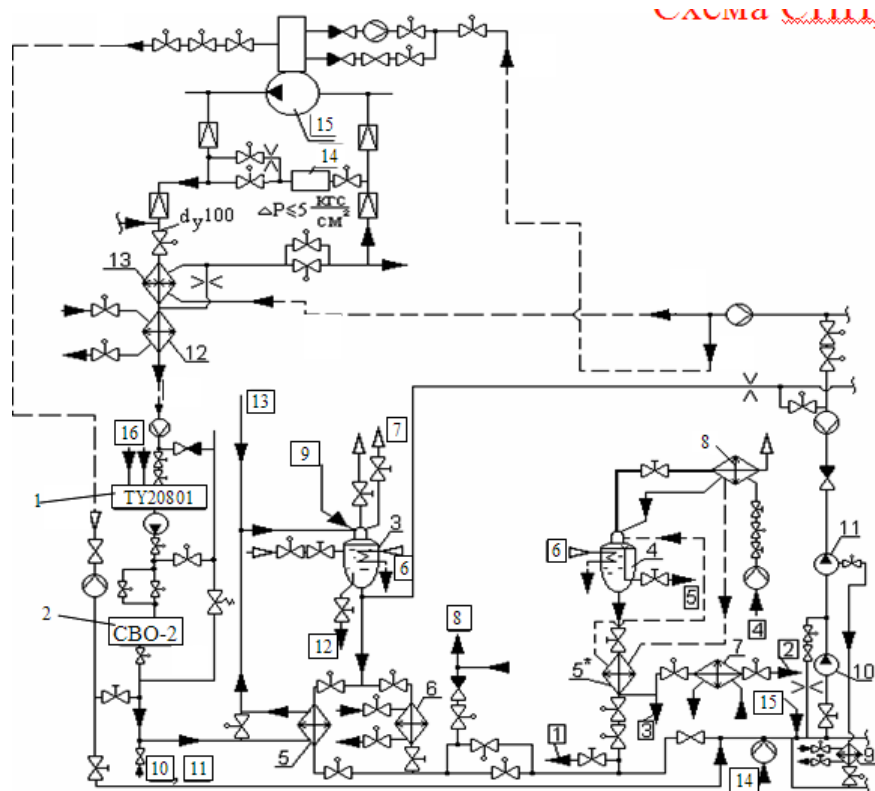
Назначение:

1)заполнение и (или) дозаполнение первого контура раствором борной кислоты;2)поддержание материального баланса теплоносителя;3)компенсация медленных изменений реактивности из-за выгорания и отравления топлива, а также компенсация изменений реактивности при пусках, остановках и при изменении нагрузки реактора;4)дегазация и возврат организованных протечек теплоносителя первого контура;5)корректировка показаний водно-химического режима в соответствии с нормами;6)гидроиспытания первого контура; 7)подача запирающей воды на уплотнение ГЦН;8)расхолаживание КД при неработающих ГЦН; 9)первоначальное заполнение гидроемкостей САОЗ;

Состав:

1)системы дегазации и деаэрации теплоносителя;2)подпиточные агрегаты;3)магистралей подпитки и подачи запирающей воды на уплотнения ГЦН;4)вывода теплоносителя первого контура; 5)подачи дистиллята.

Система подпитки-продувки относится к системам, важным для безопасности. Система функционирует в режимах нормальной эксплуатации, включая переходные режимы энергоблока. В аварийных ситуациях, связанных с разуплотнением первого или второго контуров, работоспособность системы по проекту не требуется. Учитывая, что система подпитки-продувки должна функционировать непрерывно в период нормальной эксплуатации блока на мощности, насосные агрегаты продублированы: рабочий, резервный и ремонтный.



1 - бак организованных протечек, 2 - система очистки продувочной воды СВО-2, 3 - деаэратор подпиточной воды (ДП), 4 - деаэратор борного регулирования (ДБР), 5 - регенеративный теплообменник, 6 - доохладитель подпиточной воды, 7 - охладитель чистого конденсата, 8 - охладитель пара ДБР, 9 - теплообменник охлаждения гидропаты подпиточного насоса, 10 - предвключённый подпиточный насос, 11 - основной подпиточный насос, 12 - доохладитель продувки 1 контура, 13 - регенеративный теплообменник продувки 1 контура, 14 - СВО №1, 15 - ГЦН.

Линии связи: **1** - к насосу гидроиспытаний, **2**- в бак чистого конденсата, **3**- на заполнение баков гидрозатворов в системе спецгазоочистки, **4**- вода для дегазации ДБР, **5**- сброс избыточной воды при переполнении ДБР, **6**- греющий пар из машзала, **7**- выпар деаэратора подпитки, **8** - вывод борного раствора из 1 контура, **9**- возврат конденсата выпара, **10, 11**- от насосов заполнения 1 контура и от насосов дистиллята для поддержания уровня в деаэраторе подпитки, **12**- слив из деаэратора подпитки, **13** - от насосов гидроиспытаний, **14**- подача борного концентрата, **15**- подача химических реагентов, **16**- оргпротечки.

РАБОТА:ПРОДУВКА-Основная задача: очистка т-ля и дегазация. Очистка на мех-х фильтрах за счет напора ГЦН. СВО №1 – механич фильтры заполненные титановой крошкой. Работает при номинальных параметрах

Продувка первого контура

1)Продувка первого контура осуществляется забором теплоносителя из «холодных» ниток петель главного циркуляционного контура с напора ГЦН.

2)Продувочная вода собирается в общем коллекторе, охлаждается сначала в регенеративном теплообменнике продувки за счет регенеративного теплообмена с подпиточной водой, а затем дополнительно охлаждается в доохладителе продувки водой промконтура до температуры 40-50 С.

3)После этого продувочная вода поступает на специальную водоочистку (СВО-2).

4)Расход продувки составляет 25-30 т/час.

5)После СВО-2 очищенная вода подается в деаэратор подпитки, где осуществляется ее дегазация.

6)Затем вода охлаждается, подается на всас подпиточных насосов и возвращается в первый контур.

Оргпротечки и подпитка

Организованные протечки из бака насосами через фильтры СВО-2 (или по байпасу фильтров) направляются в деаэратор подпитки, дегазируются, охлаждаются и далее с помощью подпиточных насосов возвращаются в первый контур.

Компенсация неорганизованных протечек первого контура осуществляется путем подачи в деаэратор подпитки дистиллята или борного концентрата. Регулирование подпитки осуществляется оператором или регулятором.

Режимы работы СППр:

- нормальный режим ($G_{пр}$ до $30\text{ м}^3/\text{час}$, $t_{пр}=290\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{пр}=163\text{ кгс}/\text{см}^2$)

- режим вывода и ввода бора ($G_{пр}$ до $50\text{ м}^3/\text{час}$, $t_{пр}=180-290\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{пр}=30-163\text{ кгс}/\text{см}^2$)

- режим подогрева и расхолаживания ($G_{пр}$ до $30\text{ м}^3/\text{час}$, $t_{пр}=40-290\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{пр}=1-163\text{ кгс}/\text{см}^2$)

заполнение 1к($P_{1к}=3-4\text{ кгс}/\text{см}^2$)→включение продувки 1к→ $\uparrow P_{1к}>5\text{ кгс}/\text{см}^2$ →подача воды промконтура на доохл продувки→разогрев $t_{1к}=260$, $G_{пр}=25\text{ м}^3/\text{час}$, $P_{1к}=160\text{ кгс}/\text{см}^2$, $G_{подпитки}=30\text{ м}^3/\text{час}$

Компенсация медленных изменений реактивности

- 1) Компенсация медленного изменения реактивности осуществляется путем изменения концентрации борной кислоты в первом контуре.
- 2) В режиме ввода бора в первый контур борная кислота с концентрацией 40г/кг подается на всас подпиточных насосов от насосов борного концентрата с расходом до 60 м³/час.
- 3) Теплоноситель, выводимый из первого контура, сбрасывается в баки боросодержащей воды. Уровень в деаэраторе подпитки в этом режиме поддерживается регулятором.
- 4) В режиме вывода бора из первого контура дистиллят с расходом до 60 м³/час поступает в деаэратор борного регулирования и далее на всас подпиточных насосов. Уровень дистиллята в деаэраторе борного регулирования поддерживается регулятором. Теплоноситель, выводимый из первого контура, после деаэратора подпитки сбрасывается в баки боросодержащей воды.

Корректировка ВХР

- 1) Поддержание заданного водно-химического режима осуществляется подачей в первый контур специальными насосами-дозаторами химических реагентов (щелочь – КОН, аммиак – NH₃, гидразин – N₂H₄).
- 2) В процессе нормальной эксплуатации, когда изменение концентрации борной кислоты не требуется, через деаэратор борного регулирования предусмотрена циркуляция дистиллята без добавки бора для поддержания деаэратора в разогретом состоянии.
- 3) Во всех режимах работы системы подпитки-продувки первого контура давление в деаэраторах подпитки и борного регулирования поддерживается регуляторами на греющем паре.

7. Система аварийного охлаждения активной зоны ВВЭР-1000-пассивная часть; назначение состав принцип работы.

Следует отметить, что механизмы систем безопасности обладают определенной инерционностью. Например, система аварийного и планового расхолаживания сможет подавать воду в реактор только при достижении давления в первом контуре ниже 2 МПа и с задержкой около 35-40 секунд. Время запаздывания поступления воды в реактор от системы аварийного ввода бора может достигать до 80-90 секунд. К тому же надо еще учесть и время разворота дизель-генераторов в случае, если авария сопровождается потерей собственных нужд. Чтобы не допустить перерыва в охлаждении активной зоны, в составе САОЗ должна быть предусмотрена такая система безопасности, которая была бы способна вступить в работу в первые моменты аварийного процесса и функционировать до включения остальных систем безопасности. Такой системой в составе САОЗ является система гидроаккумуляторов, которая называется также пассивная часть САОЗ.

Назначение пассивной части САОЗ

1) Пассивная часть САОЗ предназначена для быстрой подачи раствора борной кислоты с концентрацией 16 г/кг в реактор для охлаждения активной зоны при авариях с потерей теплоносителя, когда давление в первом контуре падает ниже 6 МПа.

2) В соответствии с классификацией оборудования реакторной установки по критериям безопасности пассивная часть САОЗ относится к защитным системам безопасности.

При нормальной эксплуатации реакторной установки каждая гидроемкость «отсечена» от реактора двумя обратными клапанами Ду300. Когда давление в реакторе падает ниже давления в ГЕ (~ на 0,3 атм), обратные клапаны открываются и раствор борной кислоты из ГЕ поступает в реактор. Применение двух обратных клапанов исключает повреждение ГЕ при выходе из строя одного из них. Кроме обратных клапанов на каждом трубопроводе установлено по две запорные быстродействующие задвижки, которые отсекают ГЕ от реактора с целью исключения попадания азота в активную зону при опорожнении гидроемкости во время аварии. Быстродействующие задвижки начинают автоматически закрываться при понижении уровня в ГЕ до 1200 мм.

Состав пассивной части

САОЗ:

1 - Реактор, 1 шт.

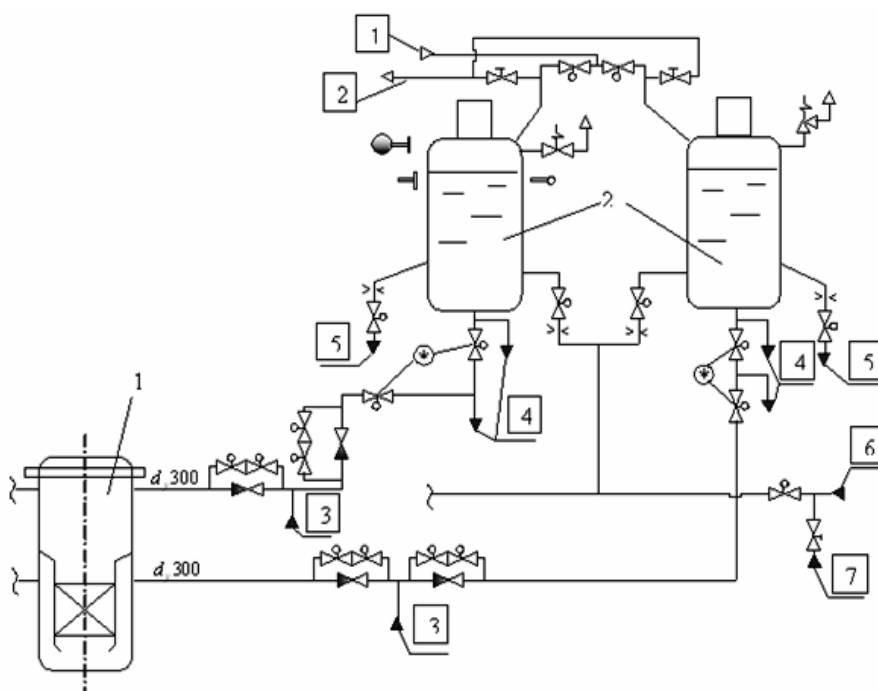
2 - Гидроемкость САОЗ, ГАЕ (ГЕ), 4шт с уровнем 6500±100мм, $V=60\text{м}^3$, $V_{\text{раб}}=50\text{м}^3$
 $\rho_{\text{раб}}=55-60\text{кгс/см}^2$, $t_{\text{раб}}=20-60^\circ\text{C}$,

$C_{\text{бор}}=12-16\text{г/кг}$

3- Трубопроводы и арматура

Линии связи пассивной части

САОЗ:



[1] – подача N_2 высокого давления

[2] – газовая сдувка

[3] – от насоса аварийного расхолаживания (низкого давления)

[4] – в т/о оргпротечек

[5] – отбор проб

[6] – на заполнение ГЕ от насосов ППН (подпиточных предвключенных)

[7] – от насоса гидроиспытаний

/ * Три из четырех ГАЕ (ГЕ) САОЗ имеют в номинальном режиме открытую быстродействующую арматуру.

Давление в ГЕ создается газовой подушкой (азот)-10м³ Вода может подаваться сверху и снизу АЗ. При снижении давления ниже 60атм открываются обратные клапаны и раствор поступает в реактор. При снижении уровня до 250мм закрываются быстродействующие задвижки, чтобы не допустить попадания азота в АЗ. При нормальной закрытии, емкости отсекаются от р-ра при Н=0.8м

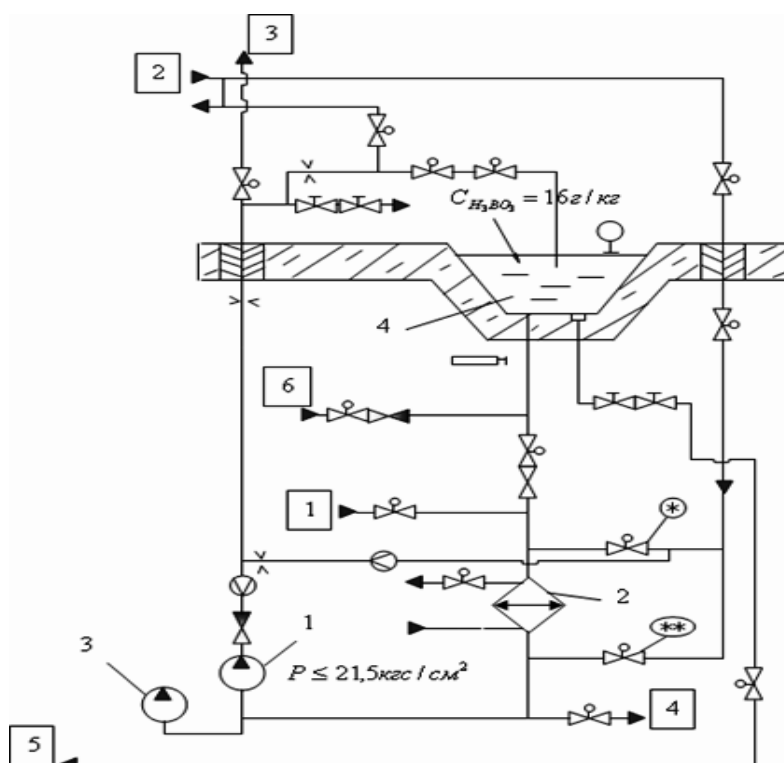
Пассивная- такая система, которая для функционирования не требует подвода энергии извне. Ее работа заложена на физических принципах заложенных в ее конструкции. Более надежна чем активная.

8. Система аварийного и планового расхолаживания ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы. САПР – активная часть САОЗ

Назначение САОЗ заключается в следующем:

- 1) аварийное охлаждение активной зоны и последующий отвод остаточных тепловыделений при авариях, связанных с разуплотнением первого контура,
- 2) плановое расхолаживание во время останова реакторной установки (РУ) и отвод остаточного тепла активной зоны при проведении перегрузки,
- 3) отвод остаточного тепла при проведении ремонтных работ на оборудовании РУ со снижением уровня теплоносителя в реакторе до оси патрубков «холодных» ниток петель без выгрузки зоны.
- 4) Таким образом, САОЗ должна частично или полностью компенсировать утечку теплоносителя из активной зоны в начальный момент аварии, обеспечивать отвод остаточного тепловыделения в активной зоне после остановки реактора, иметь резервирование для повышения надежности, иметь надежное электропитание для приводов насосов.
- 5) САОЗ должна обеспечивать при разгерметизации первого контура (максимальный проектный предел повреждения твэлов):
- 6) температуру оболочек твэлов не более 1200 С;
- 7) локальную глубину окисления оболочек твэлов не более 18 % первоначальной толщины стенки;
- 8) долю прореагировавшего циркония не более 1 % его массы и активной зоне.
- 9) При этом должна быть обеспечена сохранность геометрии активной зоны и возможность выгрузки активной зоны после аварии с разгерметизацией первого контура.

В соответствии с требованиями принципа единичного отказа и необнаруженного отказа система аварийного и планового расхолаживания выполнена трехканальной. Каждый из каналов может выполнить функцию всей системы. Все три канала подсоединены к баку аварийного запаса раствора борной кислоты. Принципиальная технологическая схема



одного канала

Состав САПР:

САПР состоит из трех параллельных идентичных каналов, бака аварийного запаса бора, ($V = 690 \text{ м}^3$, $\tilde{N}_{\text{H}_3\text{BO}_4} = 16 \text{ г/кг}$) и 3 комплектов насосов аварийного расхолаживания ЦНР 800-230 и Т/О аварийного расхолаживания.

Элементы САПР:

1 - насос аварийного и планового расхолаживания ($G = 800 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 20,5 \text{ атм}$)

2 - теплообменник аварийного и планового расхолаживания ($F = 935 \text{ м}^2$)

3 - спринклерный насос

4 - бак-прямо́к ($V = 700 \text{ м}^3$ заполнен не менее чем на 500 м^3 , $C_{\text{H}_2\text{VO}_3} = 16 \text{ г/кг}$, один на все три канала)

Линии связи САПР:

[1] - линия рециркуляции от спринклерного насоса

[2] - к петле №4

[3] - аварийная подача воды при авариях с разгерметизацией

[4] - линия связи с САВБ

[5] - на СВО №4

[6] - с СВО №4

Назначение САПР:

а) для равномерного расхолаживания АЗ и последующего длительного отвода остаточного тепловыделения при авариях с разрывом 1-го контура включая максимальную проектную аварию

б) для планового расхолаживания реактора при останове и отвод остаточного тепловыделения при перегрузке топлива

в) для отвода остаточного тепловыделения с АЗ при проведении ремонтных работ и при снижении уровня теплоносителя ниже холодных патрубков без снятия крышки реактора.

Режимы работы САПР:

1) Режим планового расхолаживания.

При $\downarrow P$ до 20 атм вода из петли №4 по [2] проходит через 2 и насосом 1 подаётся в петлю №4. 15°C/ч - нормальная скорость планового расхолаживания. Скорость расхолаживания поддерживается и регулируется с помощью клапанов * и **. Эти клапаны позволяют изменять расход через теплообменник.

2) Режим аварийного расхолаживания.

Вода из 4 через 2 и 1 подаётся в реактор. Включаются все 3 канала. Вода через петлю №1 и через линии гидроёмкостей охлаждает АЗ и выливается в месте разрыва в гермооболочку из неё в 4 и снова поступает на всас 1 через 2. Тем самым обеспечивается длительный отвод тепла.

/ * При $P < 60$ атм. вода подаётся из гидроёмкостей.

В основу проекта системы аварийного и планового расхолаживания активной зоны положены следующие основные критерии:

- обеспечить подачу в первый контур раствор борной кислоты с расходом $250\text{-}300 \text{ м}^3/\text{час}$ при давлении в первом контуре 2 МПа (21 кгс/см^2) и $700\text{-}750 \text{ м}^3/\text{час}$ при давлении в первом контуре 0,1 МПа (1 кгс/см^2) с температурой $\geq 20^\circ\text{C}$,
- обеспечить подачу в первый контур раствора борной кислоты с концентрацией не менее 16 г/кг в начальный момент,

- обеспечить подачу раствора борной кислоты в аварийных ситуациях не позднее, чем через 40-45 секунд с момента достижения в первом контуре давления 2 МПа (21 кгс/см²),
- должна допускать возможность поканального опробования при работе блока на мощности и при этом не терять своих функциональных свойств,
- система должна работать как во время аварии, так и в послеварийный период,

система должна допускать возможность кратковременного вывода в ремонт ее элементов в составе одного канала при работе реактора на мощности.

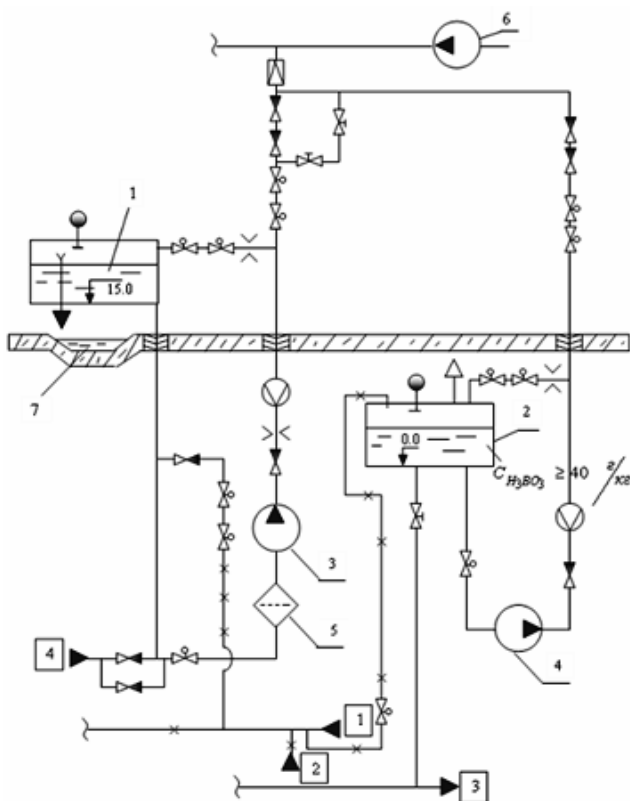
Включение системы аварийного и планового расхолаживания автоматически происходит по следующим сигналам:

- обесточивание, т.е. снижение напряжения на секциях надежного питания 6 кВ до 0,25 номинального напряжения,
- разрывная защита первого контура $P_{ГО} > 1,3$ кгс/см², когда давление в гермооболочке повышается до 1,3 кгс/см²,
- разрывная защита первого контура $t_s 10$, когда разность температуры насыщения первого контура и температуры теплоносителя горячей нитки петли первого контура меньше 10⁰С,
- разрывная защита второго контура $t_s 75$, когда при уменьшении давления в паропроводе до 4,9 МПа (50 кгс/см²) и ниже разность температуры насыщения первого контура и температуры насыщения второго контура увеличивается до 75⁰С и более, и температура первого контура более 200⁰С.

При этом автоматически включается насос аварийного и планового расхолаживания, открывается соответствующая арматура, и если давление из-за течи первого контура упадет ниже 2,25 МПа (23 кгс/см²), то начнется циркуляция раствора борной кислоты по схеме:

течь первого контура **→** **гермооболочка** **→** **бак-прямок**
→ теплообменник **→ насос** **→ первый контур** **→ и т.д.**

9. Система аварийного ввода бора ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.



Элементы САББ:

1 – бак аварийного запаса раствора бора системы аварийного ввода бора высокого давления, 2 – бак аварийного запаса раствора бора системы аварийного впрыска бора высокого давления, 3 – насос системы аварийного ввода бора высокого давления ЦН 150-110, 4 – насос системы аварийного впрыска бора высокого давления ПТ 160/6-С, 5 – механический фильтр, 6 – ГЦН, 7 – бак-приямок.

Линии связи: 1 от спецводоочистки, 2 - от системы боросодержащей воды и борного концентрата 3 - в систему боросодержащей воды и борного концентрата, 4 - от теплообменника

аварийного и планового расхолаживания.

Назначение САББ: Для экстренного ввода раствора борной кислоты в реактор, связанных с разуплотнением первого контура и подавления положительной реактивности высвобождающейся при резком расхолаживании АЗ при разрыве трубопроводов «малого диаметра» ($Dy \leq 180\text{мм}$).

Состав САББ:

Система аварийного ввода бора состоит из трех идентичных каналов. Каждый канал состоит из двух групп: системы аварийного ввода бора высокого давления и системы аварийного впрыска бора высокого давления. Каждый канал системы в состоянии выполнить функцию всей системы. Система аварийного ввода бора относится к защитным системам безопасности и имеет первую категорию сейсмостойкости.

В основу проекта группы аварийного ввода бора высокого давления положены следующие критерии и требования:

обеспечить подачу в первый контур раствора борной кислоты с начальной концентрацией 40 г/кг с расходом не менее $130 \text{ м}^3/\text{час}$ при давлении в первом контуре 1,5 – 8,8 МПа ($15 - 90 \text{ кгс/см}^2$), а при давлении в первом контуре 9, 8 МПа (100 кгс/см^2) – не менее $100 \text{ м}^3/\text{час}$,

обеспечить возможность работы насоса аварийного ввода бора высокого давления от бака-приямка при авариях, связанных с потерей теплоносителя в течение времени, необходимого для расхолаживания реактора и отвода остаточных тепловыделений,

она должна допускать возможность поканального опробования при работе блока на мощности и при этом не терять своих функциональных свойств,

в аварийной ситуации она должна обеспечить подачу борного раствора в первый контур не позднее, чем через 35-40 секунд с момента достижения давления в первом контуре 8,8 МПа (90 кгс/см²).

Система аварийного впрыска бора высокого давления должна удовлетворять следующим требованиям:

обеспечить подачу в первый контур раствора борной кислоты с концентрацией 40 г/кг с расходом 6 м³/час при давлении в первом контуре 0 – 15,7 МПа (0 – 160 кгс/см²),

она должна допускать возможность поканального опробования при работе блока на мощности и при этом не терять своих функциональных свойств,

в аварийной ситуации она должна обеспечить подачу борного раствора в первый контур не позднее, чем через 5 минут.

Система аварийного ввода бора высокого давления:

бак аварийного запаса концентрированного раствора борной кислоты объемом 15 м³ с концентрацией борной кислоты 40 г/кг,

насосный агрегат аварийного ввода бора высокого давления (тип ЦН 150-110), трубопроводы, арматуру, КИП.

Система аварийного впрыска бора высокого давления:

бак аварийного запаса концентрированного раствора борной кислоты объемом 15 м³ с концентрацией борной кислоты 40 г/кг,

насосный агрегат аварийного ввода бора высокого давления (тип ПТ 160/6-С), трубопроводы, арматуру, КИП.

Порядок работы САВБ:

При аварии основным видом управления для насосов аварийного ввода бора высокого давления является автоматическое управление по командам защит САОЗ. Включение системы аварийного ввода бора высокого давления автоматически происходит по тем же сигналам, что и для системы аварийного и планового расхолаживания, т.е.

обесточивание, т.е. снижение напряжения на секциях надежного питания 6 кВ до 0,25 номинального напряжения,

разрывная защита первого контура $P_{ГО} > 1,3 \text{ кгс/см}^2$, когда давление в гермооболочке повышается до 1,3 кгс/см²,

разрывная защита первого контура $t_s 10$, когда разность температуры насыщения первого контура и температуры теплоносителя горячей нитки петли первого контура меньше 10⁰С,

разрывная защита второго контура $t_s 75$, когда при уменьшении давления в паропроводе до 4,9 МПа (50 кгс/см²) и ниже разность температуры насыщения первого контура и температуры насыщения второго контура увеличивается до 75⁰С и более, и температура первого контура более 200⁰С.

При срабатывании любой из этих защит автоматически включаются насосы аварийного ввода бора, открывается напорная арматура, и если давление в первом контуре из-за течи упадет ниже 10,8 МПа (110 кгс/см²), то начнется поступление борированной воды в первый контур. В случае исчерпания запаса раствора борной кислоты в баках аварийного запаса раствора бора предусмотрена работа насосов аварийного ввода бора высокого давления от бака-приямка с открытием соответствующей арматуры на всасе насоса.

10. Спринклерная система ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.

Назначение СС:

Подача спринклерного раствора в гермооболочку при авариях с разрывом Iк для:

- а) $\downarrow P$ в гермооболочке.
- б) связывания радиоактивных аэрозолей.
- в) уменьшения вероятности образования вторичных крит. масс за пределами реактора.

Состав СС:

Спринклерная система состоит из трёх параллельных идентичных каналов

Элементы СС:

- 1- спринклерный насос ($G = 200 - 760 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 12,5 - 16 \text{ атм}$)
- 2- водоструйный насос ($G = 10 - 50 \text{ м}^3/\text{ч}$)
- 3- бак спринклерного раствора (борат калия K_3BO_3 $120 \div 140 \text{ г/л}$ + ПАВ)
- 4- насос системы аварийного и планового расхолаживания

5- насос перемешивания спринкерного раствора (1 на три канала) – в растворе выпадает осадок

Линии связи СС:

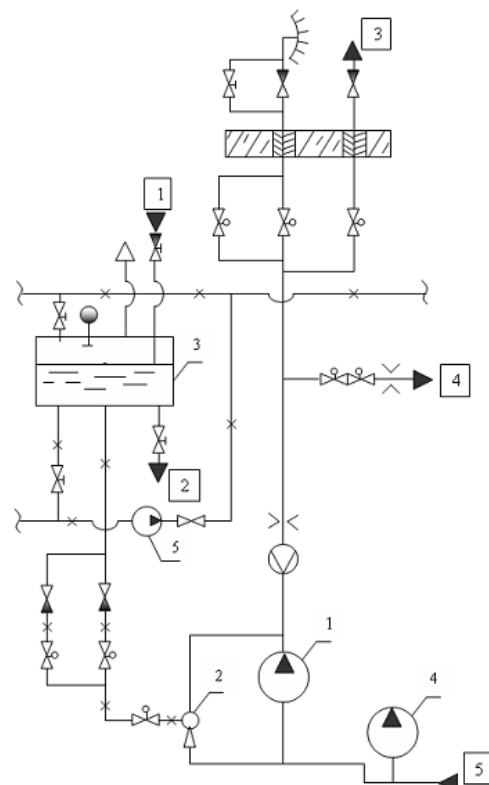
- [1] - подача спринклерного раствора
- [2] - линия дренажей
- [3] - связь с бассейном выдержки и перегрузки
- [4] - линия рециркуляции
- [5] - связь с САПР

Работа

Включение спринклерной системы автоматически происходит по следующим сигналам:

- потеря питания, т.е. потеря собственных нужд,
- разрывная защита 1 контура, сигнал $t_{,10}$, т.е. когда разность температуры насыщения 1 к и температуры горячей нитки 1 к меньше 10 градусов,
- разрывная защита 1 контура, когда давление в гермооболочке более 1,3 ата,
- разрывная защита 2 контура, сигнал $t_{,75}$, т.е. когда разность температуры насыщения 1 к и температуры насыщения 2 к больше 75 градусов и давление в паропроводе уменьшается до 50 ата.

При срабатывании любой из защит автоматически включается спринклерный насос. Подача воды на орошение осуществляется только после открытия задвижек на напорной линии. Они открываются при повышении давления в гермооболочке до 1,3 ата. Эта блокировка выполнена независимой. До открытия линии на орошение насос работает на рециркуляцию.



11. Система аварийной питательной воды парогенераторов блока ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.

Назначение - для подачи обессоленной воды в парогенераторы для снятия остаточного тепла и расхолаживания реакторной установки в режиме обесточивания энергоблока, а также при авариях и неисправностях системы питательной воды. При обесточивании энергоблока система обеспечивает подачу воды в парогенераторы в течение 6-7 часов для аварийного расхолаживания.

Требования, предъявляемые к системе:- обеспечить подачу воды не менее, чем в два парогенератора;- обеспечить подачу воды в парогенератор с момента аварии за промежуток времени не более двух минут;- при давлении в парогенераторе 6,3 МПа (64 кгс/см²) обеспечить подачу питательной воды с расходом 150 м³/ч;- должна допускать возможность опробования (поканально) при работе блока на мощности и при этом не терять своих функциональных свойств;- должна иметься возможность вывода в ремонт одного канала на время до 72 часов при работе реакторной установки. Система аварийной питательной воды парогенераторов относится к защитным системам безопасности.

Состав системы - из трех независимых каналов, каждый из которых в отдельности обеспечивает расхолаживание энергоблока. Каждый канал включает в себя следующее оборудование:

- бак запаса обессоленной воды объемом 500 м³;- аварийный питательный насос производительностью 150 м³/ч и напором 9 МПа;- трубопроводы, арматуру, КИП.

Каждый аварийный питательный насос подключен к своему баку запаса обессоленной воды. Для возможности работы насоса из смежных баков все три бака объединены между собой трубопроводами Ду300 с отсекающей электроприводной арматурой. Заполнение и подпитка баков осуществляется из линии подачи химически обессоленной воды.

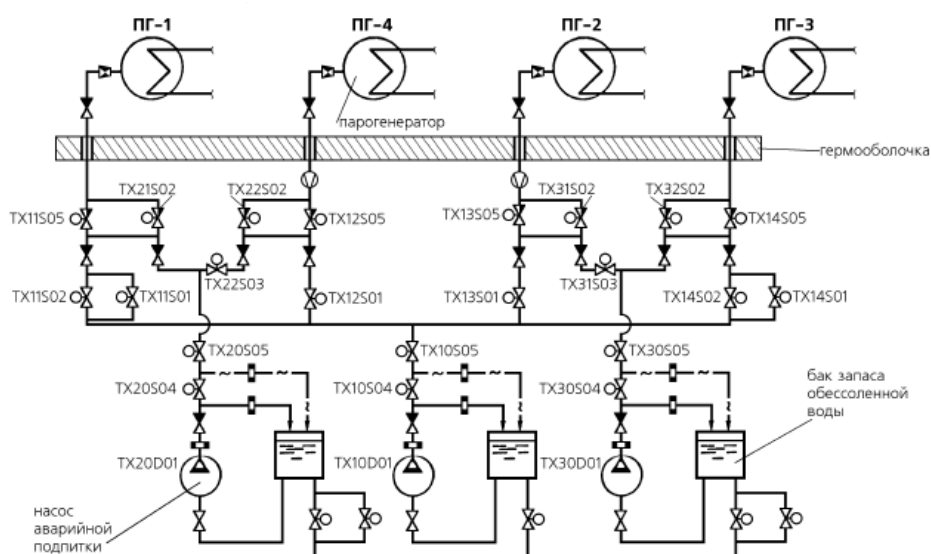


Рис. 6.16. Схема системы аварийной питательной воды парогенераторов.

Два аварийных питательных насоса включены в технологическую схему так, что каждый из насосов снабжает водой по два парогенератора. Третий аварийный питательный насос подает воду ко всем четырем парогенераторам. При этом на подводе к двум парогенераторам (неотключенные парогенераторы ПГ 2,4) задвижки нормально открытые, а к двум другим – нормально закрыты (отключенные парогенераторы ПГ 1,3).

Такая схема подключения аварийных питательных насосов к парогенераторам реализована с учетом следующих обстоятельств:

- при течи трубопровода аварийной питательной воды «неотключенного» парогенератора по импульсу падения уровня в этом ПГ и увеличению расхода питательной воды к нему парогенератор отключается (закрывается задвижка к нему), и открывается задвижка на подводе воды к «отключенному» парогенератору. Таким образом обеспечивается подача воды не менее, чем к трем парогенераторам;
- в случае совпадения незапуска одного из аварийных питательных насосов, подключенных к двум парогенераторам, и упомянутой выше течи обеспечивается подача воды к двум парогенераторам;
- при течи напорного трубопровода аварийной питательной воды «отключенного» парогенератора и включении в работу всех аварийных питательных насосов подача воды от насоса, подключенного к парогенератору с течью, будет производиться в течь, от остальных двух насосов – в оставшиеся три ПГ. В аналогичной ситуации и невключении одного из двух насосов, третий насос будет подавать воду в два парогенератора.

При нормальной работе энергоблока система аварийной питательной воды находится в режиме дежурства, т.е. в состоянии полной готовности выполнить свои функции. Система включается в работу по командам защит САОЗ, включение системы происходит автоматически. Кроме автоматического управления предусмотрено индивидуальное управление насосами и арматурой непосредственно с БЩУ и РЩУ.

Система аварийной питательной воды парогенераторов также включается автоматически при совпадении следующих сигналов:

- снижение уровня в любом парогенераторе на 750 мм от номинального;
- температура теплоносителя первого контура выше 150⁰С в любой из петель;
- отсутствует сигнал из ступенчатого пуска на запрет действия блокировок нормальной эксплуатации.

При работе защит САОЗ или программы ступенчатого пуска налагается запрет на дистанционное отключение насосов аварийной подпитки.

12. Система продувки дренажей ПГ ВВЭР-1000; назначение, состав, принцип работы.

Система продувки парогенератора предназначена для поддержания норм водно-химического режима котловой воды парогенератора. Продувка заключается в отборе части котловой воды из мест наиболее вероятного скопления шлама, продуктов коррозии, солей, очистка воды и последующий возврат ее в контур.

Система продувки парогенераторов является системой нормальной эксплуатации

Требования к системе продувки ПГ.

- система должна обеспечить непрерывную продувку с расходом 7,5 т/ч от каждого парогенератора;
- система должна обеспечить возможность проведения периодической продувки с расходом 30 т/ч, при этом суммарный расход продувочной воды от всех четырех парогенераторов должен составлять 60 т/ч;
- система должна обеспечить возможность дренирования каждого парогенератора с расходом не менее 30 т/ч при температуре котловой воды менее 100⁰С и атмосферном давлении.

Продувка ПГ

Продувка парогенератора осуществляется по двум линиям: из солевых отсеков и из зазоров между коллекторами и патрубками парогенератора («карманы» коллекторов) по трубопроводам Ø28x3 ;

Непрерывная продувка осуществляется по обеим линиям и объединяется в коллектор Ø159x9. Установленные на трубопроводах дроссельные шайбы обеспечивают заданный расход продувки 30 т/ч.

Периодическая продувка осуществляется также по обеим линиям и объединяется в коллектор 13 Ø89x6. С помощью дроссельных шайб расход периодической продувки ограничивается величиной 30 т/ч.

Продувочная вода из ПГ поступает в расширитель продувки. В расширителе продувки давление поддерживается на уровне 0,79 МПа (8 кгс/см²).

\За счет расширения и центробежного эффекта происходит вскипание и разделение продувочной воды на пар и воду.

Пар направляется в коллектор греющего пара деаэратора, а вода поступает сначала в регенеративный теплообменник продувки, а затем в доохладитель продувки и на СВО-5.

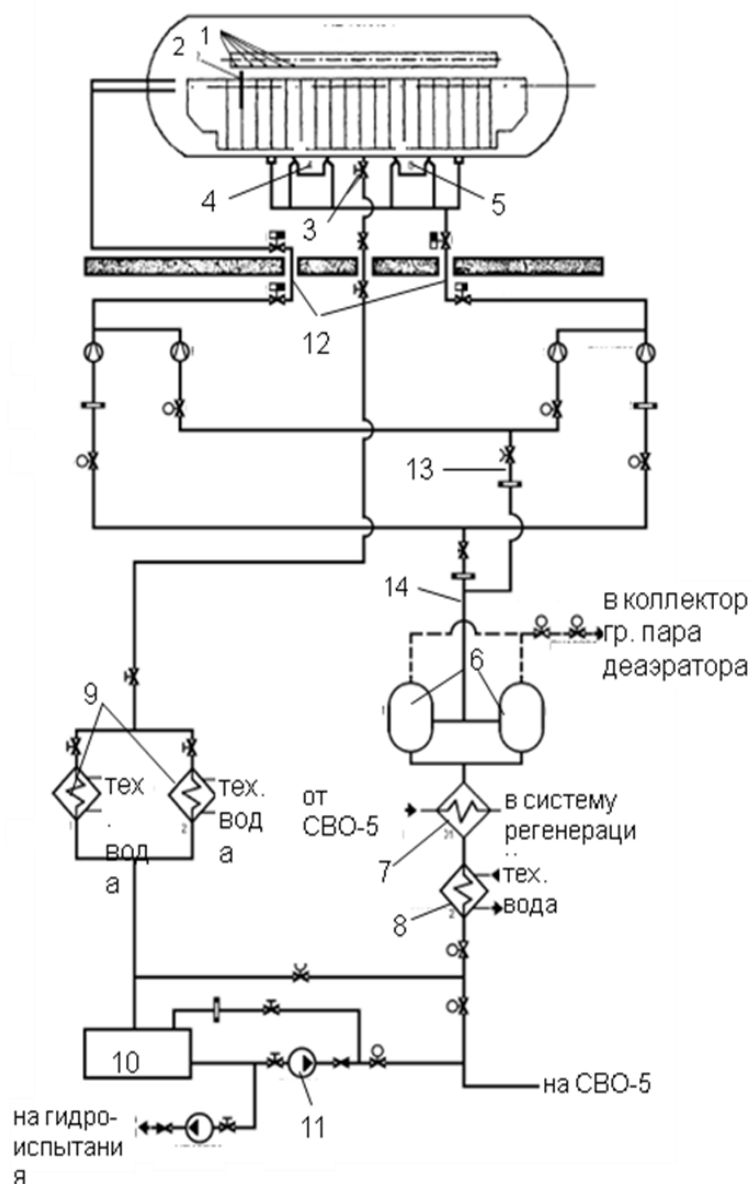
Регенеративный теплообменник – горизонтальный, кожухотрубный теплообменный аппарат, одноходовой по обеим средам.

Состоит из двух секций, по шесть корпусов в каждой. Поверхность теплообмена набрана из трубок Ø18x1,4 мм.

Продувочная вода – в трубках, вода после СВО-5 – в межтрубном пространстве.

После регенеративного теплообменника продувочная вода направляется в доохладитель продувки, где охлаждается технической водой до температуры не выше 55⁰С (по условию работы СВО-5). После СВО-5 продувочная вода проходит

через регенеративный теплообменник, где нагревается за счет теплоты прямого потока, а потом возвращается в систему регенеративного подогрева.



1 – «заглушен»

коллекторы питательной воды, 2 – перегородка «солевого» отсека, 3 – дренаж ПГ, 4 – холодный коллектор ПГ, 5 – горячий коллектор ПГ, 6 – расширители продувки, 7 – регенеративный теплообменник, 8 – доохладитель продувки, 9 – охладитель дренажей, 10 – бак дренажей, 11 – насос бака дренажей, 12 – трубопровод $\varnothing 28 \times 3$, 13 – трубопровод $\varnothing 89 \times 6$, 14 – трубопровод $\varnothing 159 \times 9$.

Дренаж ПГ

Дренирование парогенератора осуществляется через штуцер $Dy100$, расположенный снизу в средней части каждого парогенератора.

Охладители дренажа – четырехкорпусные, горизонтальные кожухотрубные теплообменники, одноходовые, с противоточным движением сред. Предназначены для охлаждения котловой воды при дренировании парогенератора. Поверхность теплообмена каждого корпуса состоит из 18 трубок $\varnothing 18 \times 1,4$. Котловая вода проходит в межтрубном пространстве, а охлаждающая вода – в трубках.

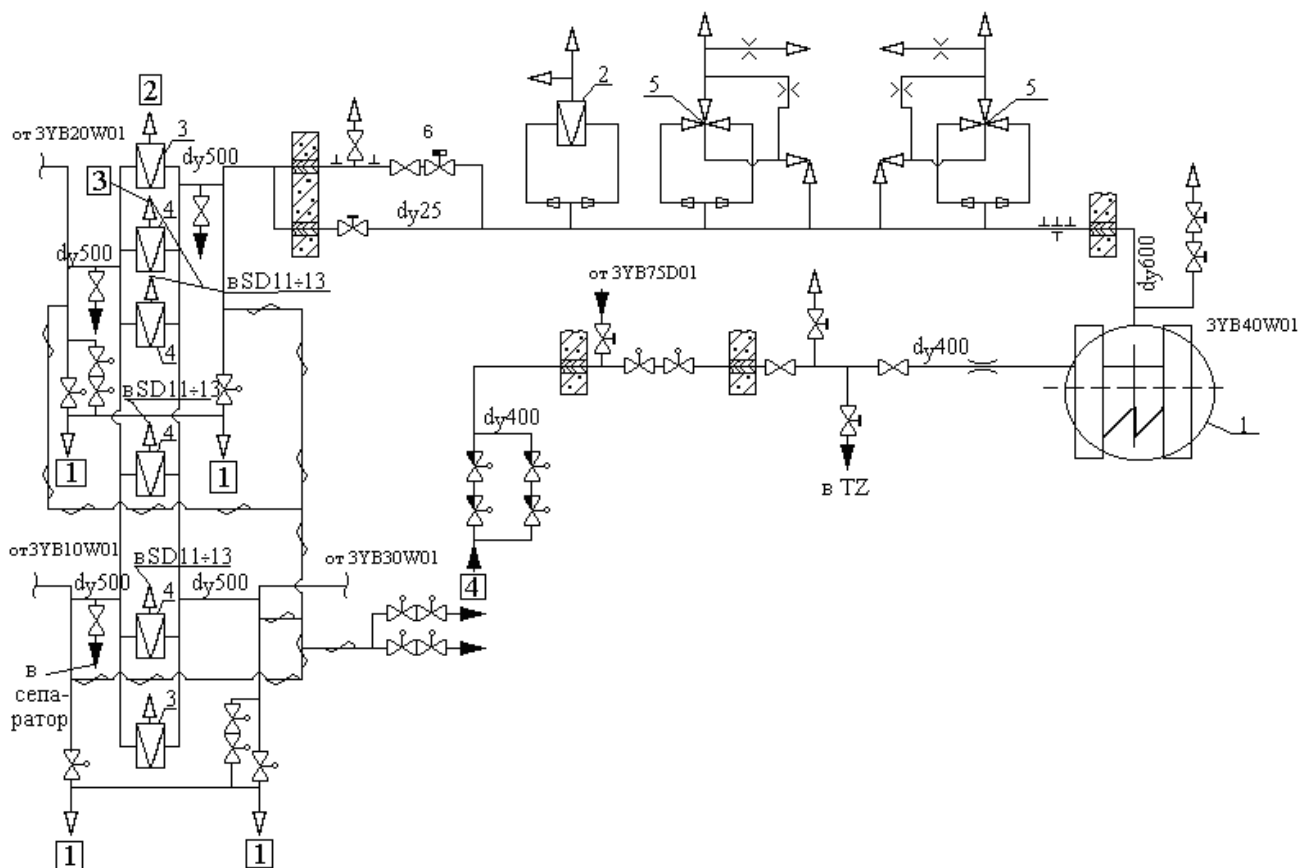
13. Паропроводы острого пара двухконтурной ЯЭУ и защита ПГ и второго контура от превышения давления.

Система паропроводов свежего (острого) пара предназначена для транспортировки насыщенного пара от парогенераторов к ЦВД турбины.

С помощью БРУ-К, БРУ-СН предусмотрен отвод пара соответственно в конденсатор турбины и в коллектор собственных нужд.

Система паропроводов свежего пара относится к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности.

Система состоит из четырех ниток паропроводов $\varnothing 630 \times 25$, выполненных из стали 20.



1 – парогенератор (ПГ) 2 – бру сброса пара в атмосферу (БРУ-А) 3 – бру собственных нужд (БРУ-СН) 4 – бру сброса пара в конденсатор (БРУ-К) 5 – предохранительный клапан ПГ (ПК ПГ) 6 – быстродействующий запорно-отсечной клапан (БЗОК)

Состав системы На отметке 31,3 м в обстройке реакторного отделения на каждом паропроводе выполнены отводы $\varnothing 426 \times 24$ для установки двух предохранительных клапанов и БРУ-А.

Предохранительные клапаны предназначены для защиты парогенератора от повышения давления сверх допустимого. Первый ПК (контрольный) настраивается на давление открытия 8,24 МПа (84 кгс/см^2), второй (рабочий) - на 8,44 МПа (86 кгс/см^2).

БРУ-А - быстродействующая редуцирующая установка, предназначенная для сброса острого пара из основного паропровода в атмосферу.

После БРУ-А на каждом паропроводе последовательно установлены БЗОК - для быстрого перекрытия сечения трубопровода при его разрыве от БЗОК до турбины, и обратный клапан (поворотный, тарельчатого типа) - во избежание обратного потока пара при разрывах паропровода от ПГ до обратного клапана.

На отметке 21,3 м в машинном зале на каждом паропроводе выполнены отводы Ø530x28, которые объединяются двумя паровыми коллекторами.

Оба коллектора объединены четырьмя перемычками Ø325x19 и двумя Ø219x13 мм, на которых установлены четыре БРУ-К и две БРУ-СН - быстродействующие редуцирующие установки для отвода свежего пара соответственно в конденсатор турбины и коллектор собственных нужд энергоблока.

На отметке 10 м на горизонтальных участках паропроводов установлены главные паровые задвижки - ГПЗ - для отключения турбины от парогенераторов

БРУ-К

Система сброса пара в конденсатор турбины обеспечивает отвод через БРУ-К пара, вырабатываемого парогенераторами, в конденсатор при пусках, сбросах электрической нагрузки, остановках и расхолаживании энергоблока.

Быстродействующая редуцирующая установка (БРУ-К) осуществляет дросселирование давления пропускаемого острого пара из основного паропровода в конденсатор совместно с дроссельными устройствами, устанавливаемыми последовательно за клапаном.

БРУ-К открывается при повышении давления в ПГ до 6,67 МПа (68 кгс/см²).

Закрытие БРУ-К происходит при давлении 6,28 МПа (64 кгс/см²).

БРУ-А

БРУ-А - быстродействующая редуцирующая установка, предназначенная для сброса острого пара из основного паропровода в атмосферу

Открывается БРУ-А при повышении давления в паропроводах острого пара до 7,16 МПа (73 кгс/см²)

Пропускная способность БРУ-А составляет 900 т/ч при давлении срабатывания.

БРУ-А закрывается автоматически при снижении давления до 6,67 МПа (68 кгс/см²)

БРУ-СН

Система паропроводов собственных нужд предназначена для обеспечения паром потребителей:- деаэраторов - пиковых бойлеров ТФУ - уплотнений турбины - эжекторов турбоагрегата - турбопривода ПН и др.

Для коллектора собственных нужд имеются три источника пара:

- пуско-резервная котельная (ПРК) - БРУ-СН - третий отбор турбины.

БРУ-СН обеспечивает подачу пара в КСН при пусках блока, сбросах нагрузки, при давлении в третьем отборе ниже 0,8 МПа, а также отвод пара при расхолаживании блока.

БЗОКБыстродействующий запорно-отсечной клапан предназначен для быстрого перекрытия сечения трубопровода при его разрыве от БЗОК до турбины.

Он срабатывает по разрывным сигналам второго контура.

14. Реакторная установка РБМК-1000. Состав, основные технические характеристики. Схема КМЩ.

Реактор РБМК-1000 - гетерогенный, уранграфитовый, кипящего типа, на тепловых нейтронах предназначен для выработки насыщенного пара давлением 70 кг/см². Представляет собой систему металлоконструкций, окружающих графитовую кладку. Графитовая кладка цилиндрической формы, служащая замедлителем нейтронов, состоит из 2488 графитовых колонн, набранных из графитовых блоков. Теплоноситель - кипящая вода.

Общие комментарии: Технологическая схема реактора РБМК-1000 одноконтурная, построена по принципу дубль-блока (две турбины на один реактор). Реактор представляет собой систему параллельных каналов, установленных в колоннах графитовой кладки. Каждая колонна набирается из 14 графитовых блоков, установленных друг на друга. Графитовый блок представляет собой прямоугольный параллелепипед квадратного поперечного сечения размером 250x250 мм и высотой 600, 500, 300 и 200 мм. Основное количество графитовых блоков имеет высоту 600 мм. Укороченные блоки устанавливаются только первыми и последними по порядку и обеспечивают общую высоту графитовой кладки 8 м. Графитовые блоки имеют осевое отверстие диаметром 114 мм, образующее в колонне тракт для размещения топливного канала, канала СУЗ. В отверстия колонн бокового отражателя устанавливаются графитовые стержни или тракты каналов охлаждения отражателя. В топливные каналы загружаются тепловыделяющие кассеты с ТВЭлами. Крепление графитовой кладки от перемещения в радиальном направлении осуществляется штангами, расположенными в периферийных колоннах бокового отражателя. Боковой отражатель, имеющий среднюю толщину 880 мм, состоит из графитовых колонн квадратного сечения. Нижний и верхний отражатели имеют толщину 500 мм. Масса графитовой кладки около 1700 т.

Состав РУ РБМК-1000:

- контур многократной принудительной циркуляции (КМЩ)
- система продувки и расхолаживания (СПиР)
- газовый контур (ГК)
- система охлаждения каналов управления и защиты
- система аварийного охлаждения реактора (САОР)
- система локализации аварии (СЛА)

Основные характеристики реактора РБМК-1000	
Мощность	
Электрическая	1000
Тепловая	3200
Размеры активной зоны, мм	
Эквивалентный диаметр	11 800

Высота	7 000
Шаг топливных каналов, мм	250
Число топливных каналов	1693
Максимальная мощность топливного канала, кВт	3000
Тип ТВЭЛа	стержневой
Материал оболочки	циркониевый сплав
Паропроизводительность реактора, т/ч	5800
Параметры пара перед турбиной	
Давление, МПа	6.38
Температура, град С	280
Температура теплоносителя в каналах реактора	
Вход	270
Выход	284
Расход воды через реактор, т/ч	37 500
Среднее массовое паросодержание на выходе, %	14,5

КМЩ.

Назначение:

Предназначен для непрерывной подачи в ТК теплоносителя, отводящего тепло от АЗ, генерации пароводяной смеси и получения сухого насыщенного пара для работы в турбине. КМЩ состоит из двух петель, оборудование которых расположено симметрично относительно вертикальной осевой плоскости реактора. Каждая петля осуществляет охлаждение половины топливных каналов реактора. Связь между петлями по воде отсутствует.

Режим работы:

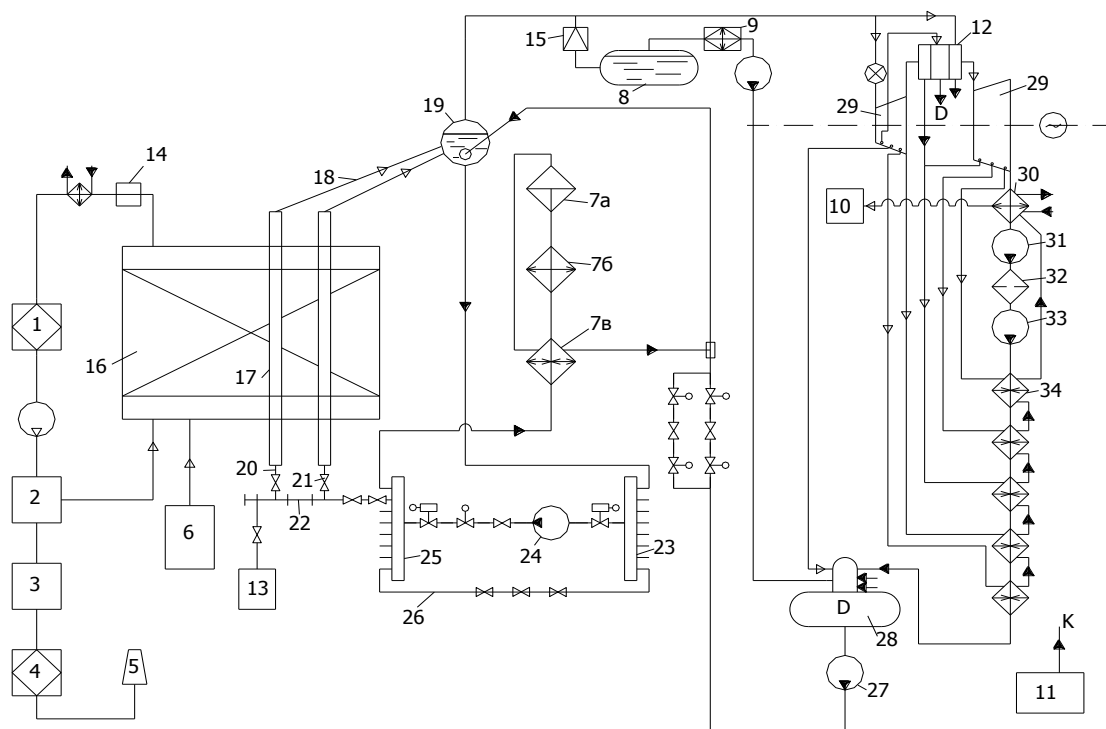
В режиме нормальной эксплуатации работает 3 ГЦН. После ГЦН вода с $t=270$ С и $p=8.1$ МПа, по опорным трубопроводам подается в напорный коллектор ГЦН, на напорных трубопроводах последовательно установлены: обратный клапан, запорная задвижка, дроссельно-регулирующий клапан. Из напорного коллектора вода поступает в РГК. На входе установлены обратные клапана. Расход т/н ч/з ТК регулируется с помощью ЗРК. Проходя ч/з ТК вода нагревается до t_s , частично испаряется и по пароводяным коммуникациям с $t=284$ С, $p=7$ МПа и $x=14.5$ % поступает в БС. Для поддержания одинакового уровня в БС, они соединены по пару и в воде перемычками. Насыщенный пар ч/з паровые коллектора и трубопроводы острого пара направляется к турбине. Отсепарированная в БС вода, смешивается с питательной водой из деаэратора и по опускным трубопроводам (12 шт.) ч/з герметичные прокладки во всасывающий коллектор ГЦН. Температура воды во всасывающем коллекторе зависит от паропроизводительности установки. Со снижением паропроизв. t возрастает за счет изменения соотношения забираемого пара и подаваемой “холодной” питательной воды. При снижении мощности, расход по КМЩ регулируется дроссельными регулирующими клапанами, таким образом, чтобы обеспечить необходимый запас до кавитации.

Между напорным и всасывающим коллекторами выполнена перемычка (d=750мм). Она необходима для обеспечения ЕЦ, когда ГЦН откл. На перемычке установлен обратный клапан и запорная задвижка.

Одна циркуляционная петля включает:

- два барабана – сепаратора пара (БС);
- опускные трубопроводы $\varnothing 325 \times 15$ мм (24 шт.);
- четыре главных циркуляционных насоса (ГЦН) типа ЦВН-8;
- всасывающий (ВК) и напорный (НК) коллекторы ГЦН Ду 900;
- раздаточные групповые коллекторы (РГК) $\varnothing 325 \times 15$ мм (22 шт.);
- трубы нижних водяных коммуникаций (НВК) $\varnothing 57 \times 3.5$ мм с запорно-регулирующими клапанами (ЗРК) и расходомерами;
- технологические (топливные) каналы (ТК);
- трубы верхних пароводяных коммуникаций (ПВК) $\varnothing 76 \times 4$ мм.
- Всасывающий и напорный коллекторы ГЦН соединены байпасной линией – трубопроводом диаметром 836x42 мм, на котором установлены нормально открытая задвижка и обратный клапан.
- Байпасы предназначены для обеспечения естественной циркуляции теплоносителя через реактор при аварийном отключении ГЦН.

Схема(1 петля):



1- аэрозольный и йодный фильтр(очистка газа), **2-** адсорбер(дополнит очистка) CO_2 , CO , H_2 , NH_3 (УОГ – установка очистки гелия), **3-** газгольдер для выдержки газа(снижение активности(250раз) перед выбросом в атмосф.), **4-** аэрозольный фильтр(очистка газа), **5-** вентиляционная труба(выброс газообр.продукт.), **6-**

азотная установка(установка подпитки газового конт.), **7а**- фильтр СПИР(система продувки и расхолажив.р-ра.),
7б – доохладитель продувки, **7в** - регенеративный теплообменник системы продувки,
8- бак-барботер(для приема и конденсации пара при авар.режим.),
9- технологический конденсатор(для конденсации пара), **10**- газоочистка (очистка газа из конденсатора),
11- химически очищенная вода(для компенсации потерь,добавл.в конден.),**12**-сепаратор-пароперегреватель(поддерж.качества теплоносит. ,поддерж.материал.баланса), **13**- от гидробаллонов и САОР (активная часть)(когда по штатной системе р-р не охлажд.),
14- система КЦТК(контроль целостности техн.канал., отслежив. гермет),
15 – быстродействующая редуцирующая установка(снижен.Рпара,больш.гидродин.сопрот),
16 – графитовая кладка(реактор(реактор,осущ.цепная р-я деления и выдел.энергия),
17 – технологический канал(1661шт в них ТВС), **18** – верхние пароводяные коммуникации(отвод пароводян.смеси от ТК), **19** – барабан-сепаратор(разделение смеси на пар и воду), **20** – нижние водяные коммуникации(подвод теплонос. к ТК),
21 – запорно-регулирующий клапан(регулируем.расход(мощность)в каждом ТК), **22** – раздаточный групповой коллектор(распред.расхода по НВК,44шт), **23** – всасывающий коллектор ГЦН, **24** – ГЦН(организ.циркул. теплоносит. б/р/запас),
25 – напорный коллектор ГЦН, **26** – байпасная линия(организ.естеств.циркул.теплон.при остан.ГЦН), **27** – питательный насос, **28** – деаэратор основной(удаление газообразных примесей; регенер.подогрев; запас пит.воды), **29** – турбина(преобраз.кинет.энергия раб.тела в мех.энергию вращ.ротора), **30** – конденсатор основной(для полной конденс.отраб. в турбине пара и возврата конденсата в цикл), **31, 33** – конденсатный насос первого и второго подъема(для прокачки конденсата от КД до деаэрат), **32** – блочная обессоливающая установка (БОУ) (конденсато- очистка,для очистки конденсата), **34**- подогреватель низкого давления (ПНД 5шт,для подогр. конденс.,увелич.КПД)

15. Схема металлоконструкций реактора типа РБМК-1000.

Реактор РБМК-1000 - гетерогенный, уранграфитовый, кипящего типа, на тепловых нейтронах Теплоноситель - кипящая вода. Реактор состоит из набора вертикальных каналов, вставленных в цилиндрические отверстия графитовых колонн, и верхней и нижней защитных плит. Легкий цилиндрический корпус (кожух) замыкает полость графитовой кладки.

Передача усилий от веса внутренних узлов, сборок и коммуникаций реактора на бетон, а также герметизация внутренней полости реактора осуществляется с помощью сварных МК, одновременно выполняющих роль **биозащиты**. Все МК изготовлены из ст.10ХН1М, за исключением защитных плит ст.3 и сб.11 (ЖБСЦК- железобарий серпентинитовый цементный камень) облицованной листовой нержавеющей сталью. К металлоконструкциям относятся следующие конструктивные элементы : Схемы «С», «ОР», «КЖ», «Л» и «Д», «Е», «Г», плитный настил, «Э»,.

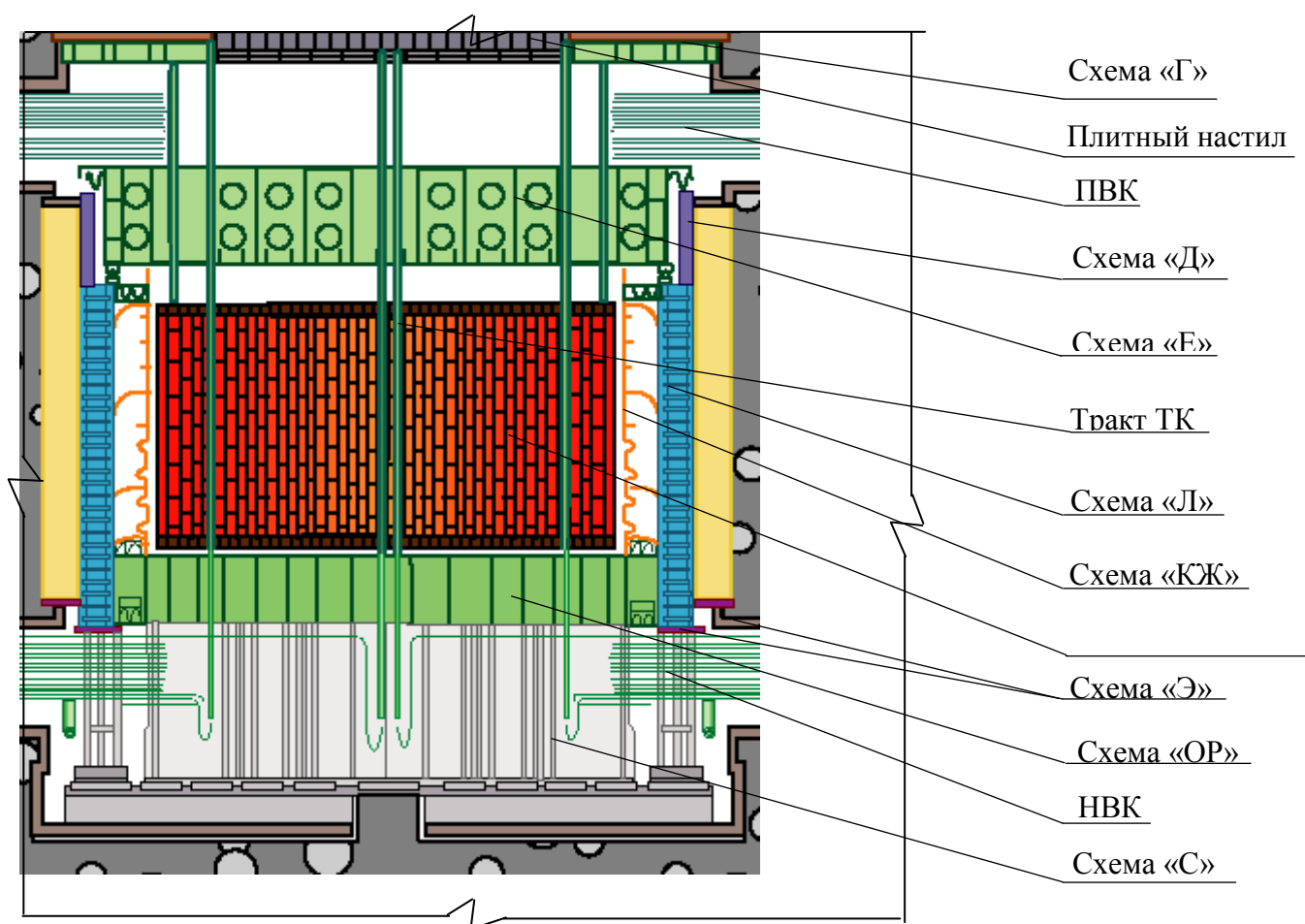


Рисунок 1 Схема реактора РБМК-1000

1.1.1 Металлоконструкция схемы "С"

Металлоконструкция схемы "С" является основной опорной металлоконструкцией для схемы "ОР". Выполнена в виде креста из двух плит высотой 5,3 м, усиленных вертикальными ребрами жесткости. Передает вес от нижней металлоконструкции схемы "ОР", графитовой кладки и НВК на закладные части крестообразной фундаментной плиты из жаропрочного железобетона на отм.+11,21 м. Две отдельно стоящие стойки служат опорами боковой биозащиты.

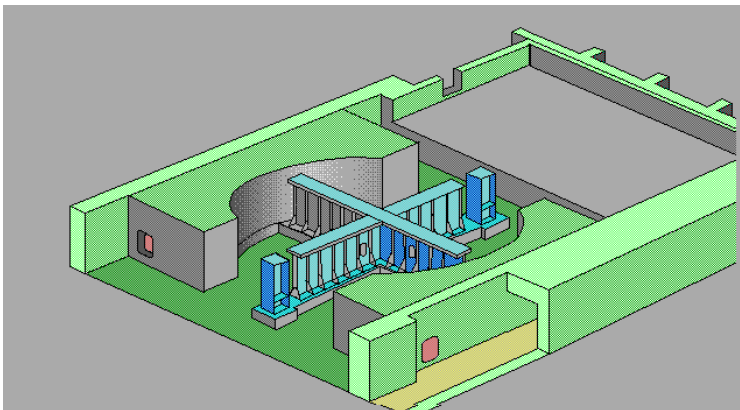
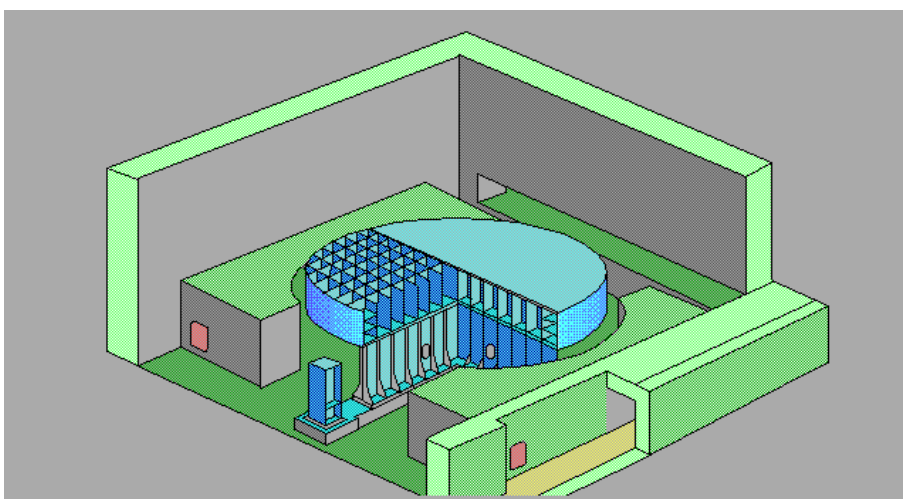


Схема "С" собирается с помощью фланцевых болтовых соединений из балок-стоек высотой 5 м, расположенных по двум взаимно перпендикулярным плоскостям в виде креста. Верхняя часть схемы "С" имеет выступы и подогнана по поверхности контакта с нижней плитой схемы "ОР". Все детали изготовлены из стали 10ХСНД, поверхности металлизированы алюминием (0,15-0,25 мм.) и окрашиваются органосиликатным покрытием АС-8а. Окружающая среда - воздух с относительной влажностью до 80%, и температурой до 270°C.

1.1.2 Металлоконструкция схемы "ОР"

Металлоконструкция схемы "ОР" выполнена в виде барабана диаметром 14,5 м и высотой 2 м, собрана из трубных плит и обечайки. Служит опорой для графитовой кладки, схемы "КЖ" и коммуникаций низа реактора, является нижней биологической защитой реактора. Ребра жесткости образующие центральный крест - совпадают с аналогичными ребрами МК схемы "С"

Металлоконструкция схемы "ОР" соединена с корпусом боковой биозащиты двумя (верхним и нижним) сильфонными компенсаторами, обеспечивающими



компенсацию температурных расширений конструкций и герметичность N_2 -He и N_2 полостей.

В МК схемы "ОР" расположены :

- нижние тракты технологических и специальных каналов;
- гильзы термопар МК сб.160;
- трубы подвода N_2 -He смеси во внутреннюю полость реактора;
- трубы отвода ПГС из полости реактора;
- дренажные трубы с верхней плиты;
- трубы подвода и отвода N_2 (сб.171) из внутренней полости МК схемы

"ОР".

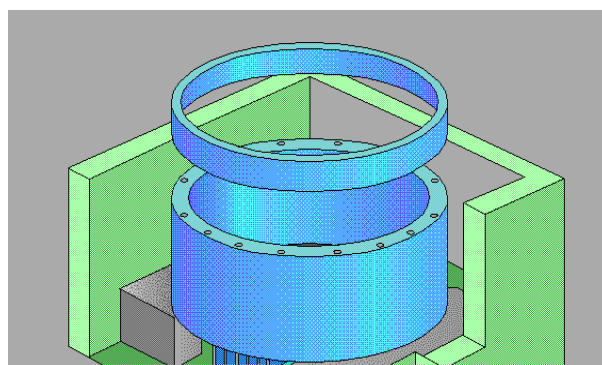
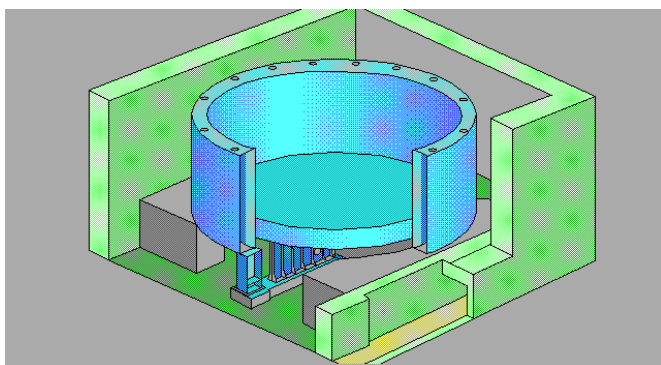
Все детали МК схемы "ОР" изготовлены из стали 10ХСНД.

Условия работы МК:

- температура нижней плиты - до 270 °С;
- температура верхней плиты- до 350 °С с местным нагревом до 380 °С;
- окружающая среда для нижней плиты воздух с относительной влажностью. до 80%, для верхней плиты – N_2 -He смесь.

1.1.3 Металлоконструкции схем «Л и Д»

Металлоконструкции схем "Л и Д" являются боковой биозащитой реактора,



снижают потоки излучения на бетон шахты; служат тепловым экраном; способствуют охлаждению кожуха реактора. Металлоконструкция схемы "Л" является также опорной конструкцией для схемы "Е".

Металлоконструкции схем "Л и Д" имеют форму полых кольцевых резервуаров, заполненных водой и разделенных перегородками на 16 отсеков. Металлоконструкция схемы "Д" является верхней частью биозащиты и опирается на металлоконструкцию схемы "Л".

- Наружный диаметр блоков схем "Л и Д" - 19 м.
- Внутренний диаметр блоков схемы "Л" - 16,6 м.
- Внутренний диаметр блоков МК схемы "Д" = 17,8 м.
- Высота блоков МК схемы "Л" = 11,05 м.
- Высота блоков МК схемы "Д" = 3,2 м.
- Все элементы МК схемы "Л и Д" изготовлены из стали 10ХСНД.
- В металлоконструкциях схем "Л и Д" размещены .
- Каналы РИК и ПИК.

■ Дренажные трубы и гильзы термопар сб.172 (по 1-й на каждый отсек) для замера температуры воды в отсеках.

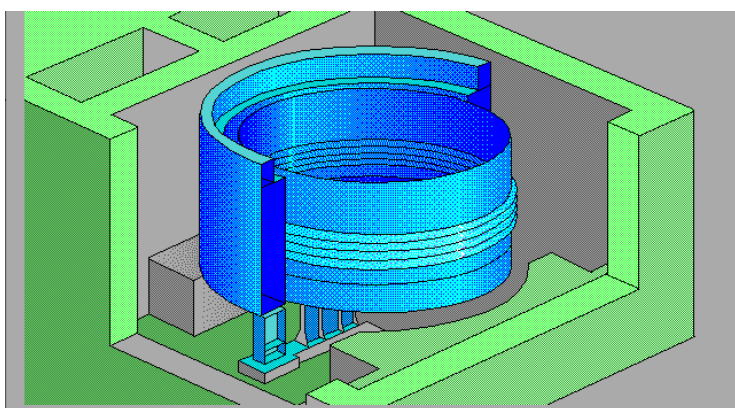
Водные объемы МК связаны между собой, подвод охлаждающей воды производится в нижнюю часть блоков МК схемы "Л", а отвод - из верхней части блоков МК сх."Д". Пространство между внутренним цилиндром МК схемы "Л" и МК схемы "КЖ" заполнено азотом. Монтажное пространство, образованное внешним цилиндром МК схем "Л и Д" и шахтой реактора заполнено песком, который служит дополнительной биозащитой. Нижняя часть монтажного пространства заполнена щебнем (200-400 мм) для исключения попадания песка в отверстия дренажной трубы Ду 150.

Условия работы МК:

- температура воды в МК схем - до 60 °С, но не более 90 °С;
- окружающая среда со стороны МК схемы "КЖ" - азот с относительной влажностью не более 80%;
- окружающая среда со стороны шахты реактора - воздух с относительной влажностью не более 80%.

1.1.4 Металлоконструкция схемы "КЖ"

Металлоконструкция схемы "КЖ" вместе с нижней плитой схемы "Е" и верхней плитой схемы "ОР" образуют вокруг кладки реактора герметичную полость - **реакторное пространство**, в котором удерживается N₂-He смесь.



Конструкция схемы "КЖ" выполнена в виде цилиндрического сварного кожуха диаметром 14,5 м из листового проката ст.10ХСНД толщиной 16 мм с 4-мя кольцевыми компенсаторами из той же стали толщиной 8 мм. По наружной поверхности кожуха приварены кольцевые ребра жесткости. Для уменьшения напряжения в

компенсаторах при работе реактора схема "КЖ" приварена к нижней плите схемы "Е" и верхней плите схемы "ОР" с предварительным натягом.

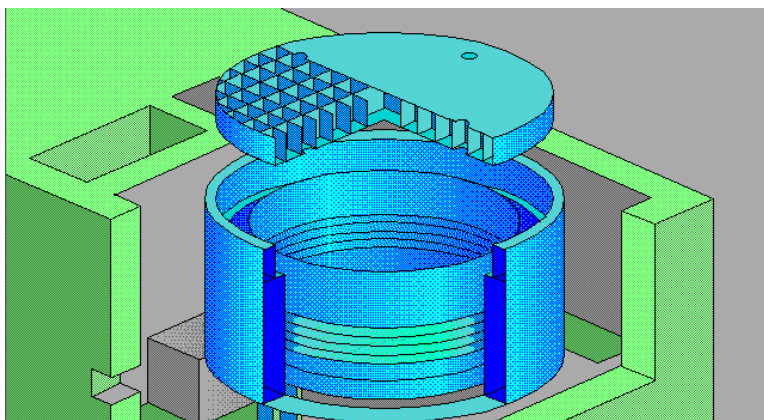
Условия работы МК:

- температура кожуха - до 350 °С;
- окружающая среда внутри -N₂-He смесь с давлением 150 мм.вод.ст., снаружи – N₂ с давлением 200-250 мм.вод.ст.

1.1.5 Металлоконструкция схемы "Е"

Металлоконструкция схемы "Е" служит верхней биозащитой реактора и опорой для ТК, спец. каналов, плитного настила и трубопроводов коммуникаций верха реактора. Представляет собой барабан диаметром 17м и высотой 3м, собрана из трубных плит объединенных цилиндрической обечайкой и внутренними

вертикальными ребрами жесткости, верхней и нижней плит толщиной 40 мм. Материал МК - сталь 10ХСНД.



В металлоконструкцию схемы "Е" сварены :

- верхние части трактов технологических и специальных каналов (кроме каналов РИК и ПИК);
- тракты телевизионных камер сб.45;
- гильзы термопар МК сб.160;
- трубы отвода ПГС из внутренней полости реактора;
- трубы подвода и отвода азота сб.171.

Внутренняя полость заполнена серпентениновой засыпкой (60% по массе) и гали (40%). МК схемы опирается с помощью 16 катковых опор сб.08 на боковую биозащиту МК сх. "Л и Д", каждая из которых рассчитана на нагрузку 750 т. К МК схемы "Е" относятся также верхний и нижний горизонтальные компенсаторы, обеспечивающие температурные расширения при сохранении герметичности N_2 -He и N_2 полостей. Герметичность внутренней полости МК схемы "Е" обеспечивается сваркой с проверкой швов на He- плотность.

Условия работы МК :

- "Т" нижней плиты до 350 °С с местным нагревом до 370 °С,
- "Т" верхней плиты - до 290 °С,

окружающая среда над верхней плитой - воздух влажностью до 80%, под нижней плитой – N_2 -He смесь.

- 6 - Компрессор газового контура
- 7 - Аппарат контактный (АК)
- 8 - Холодильник АК
- 9 - Ожижитель газового контура
- 10 - Фильтр-адсорбер блока очистки
- 11 - Адсорбер блока очистки (АБО)
- 12 - Узел регенерации АБО
- 13 - Теплообменник блока очистки
- 14 - Холодильник блока очистки
- 15 - Теплообменник основной холодной блока
- 16 - Дефлегматор основного блока
- 17 - Очиститель пара дефлегматора
- 18 - Узел приема пара при опорожнении ГК и очистке ГК
- 19 - Редуктор
- 20 - Гидрозатвор линии дренажей с верхней плиты схемы ОР

Линии связи:

- [1] – Кислород на контактный аппарат
- [2] – Жидкий азот для промывки
- [3] – В бак дренажей
- [4] – Азот для создания избыточного давления вокруг РП
- [5] – В венттрубу

Основные характеристики контура:

- расход гелиево-азотной смеси в РП 350-400
- давление смеси на входе в РП – до 500 мм. в. ст.
- температура смеси на входе в реактор $+ 35 \pm 10^\circ\text{C}$
- допустимое содержание примесей (по H_2 , O_2 , NH_3 , CH_4 , Cl_2 , CO , CO_2)

Состав систем ГК:

- замкнутая система циркуляции смеси через РП и блок очистки и осушки;
- система подачи чистого азота от АКС;
- система подачи жидкого азота на дефлегматоры;
- система подпитки контура гелием;
- система защиты РП от недопустимого повышения давления;
- система реципиентов (емкостей) для сбора смеси при опорожнении ГК;
- система регенерации адсорбента;
- система первоначального снижения активности газовых сбросов;
- УПАК;

Режим работы ГК:

Основной конденсатор (КГКР), $F_{\text{то}} = 2,5\text{м}^2 \rightarrow$ охладитель конденсата (ОК)
 \rightarrow
 $\downarrow \rightarrow$ бак мерного конденсата
 на блок фильтров (колонки фильтровальные йодные) через электрокалориферы \rightarrow
 на компрессоры (КГ) \rightarrow на ресивер \rightarrow на блок контактных аппаратов для

каталитического гидратирования (дожижение H_2 и CO в присутствии O_2) → холодильник аппарата контактного → на теплообменник-ожижитель (ОГК) → на блок комплексной очистки (на осушку от H_2O , очистку от CO_2 и др. примесей / адсорберы блока очистки (АБО) /цеолит – кристаллическая структура алюмосиликата / теплообменники-стабилизаторы температуры)

В нормальном режиме система циркуляции газа через кладку работает следующим образом. Газ подается после узла редуцирования 19 в реакторное пространство снизу по четырем трубопроводам диаметром 300 мм. С помощью диафрагмы происходит выравнивание расхода газа по сечению входа в кладку реактора. Затем газ проходит по зазорам между поверхностями отверстий в графитовых блоках, канальных труб и колец. Газовые тракты специальных каналов образованы зазорами между кладкой и графитовыми втулками, надетыми на канал. Пройдя кладку, газ на выходе из реактора попадает в индивидуальные для каждого канала импульсные трубки, расположенные в надреакторном пространстве, которые через проходные барабаны выведены в помещение КЦТК.

Далее газ поступает в систему КЦТК, где осуществляется контроль температуры в каждой импульсной трубке и групповой контроль влажности прокачиваемой смеси. Все импульсные трубки разделены на 26 групп, трубки каждой группы подсоединены к своему групповому клапану (коллектору). По коллектору вентиляции или коллектору усиленного отсоса (в зависимости от режима работы системы КЦТК) газ поступает в технологическую часть газового контура реактора и в первую очередь в узел конденсаторов и фильтров. Здесь происходит конденсация водяного пара, попавшего в азотно-гелиевую смесь в случае разгерметизации технологического канала (каналов), а также очистка газовой смеси от йода. Пройдя узел конденсаторов и фильтров газовая смесь поступает на компрессор газового контура. Компрессор обеспечивает циркуляцию азотно-гелиевой смеси через реакторное пространство по замкнутому контуру. После компрессоров газ поступает на установку очистки гелия (УОГ). Эта установка предназначена для трехступенчатой очистки газовой смеси от примесей. В состав УОГ входят блок контактных аппаратов, где происходит дожигание водорода и оксида углерода, блок очистки и осушки для удаления примесей (CO_2 , NH_3 , углерода, паров воды) и блок глубокой очистки (холодный блок). В холодном блоке происходит охлаждение азотно-гелиевой смеси до температуры жидкого азота. Происходит частичная конденсация азота, конденсация других примесей. Очищенная азотно-гелиевая смесь далее поступает в ожижитель газового контура, после него на блок редуцирования и далее в реактор.

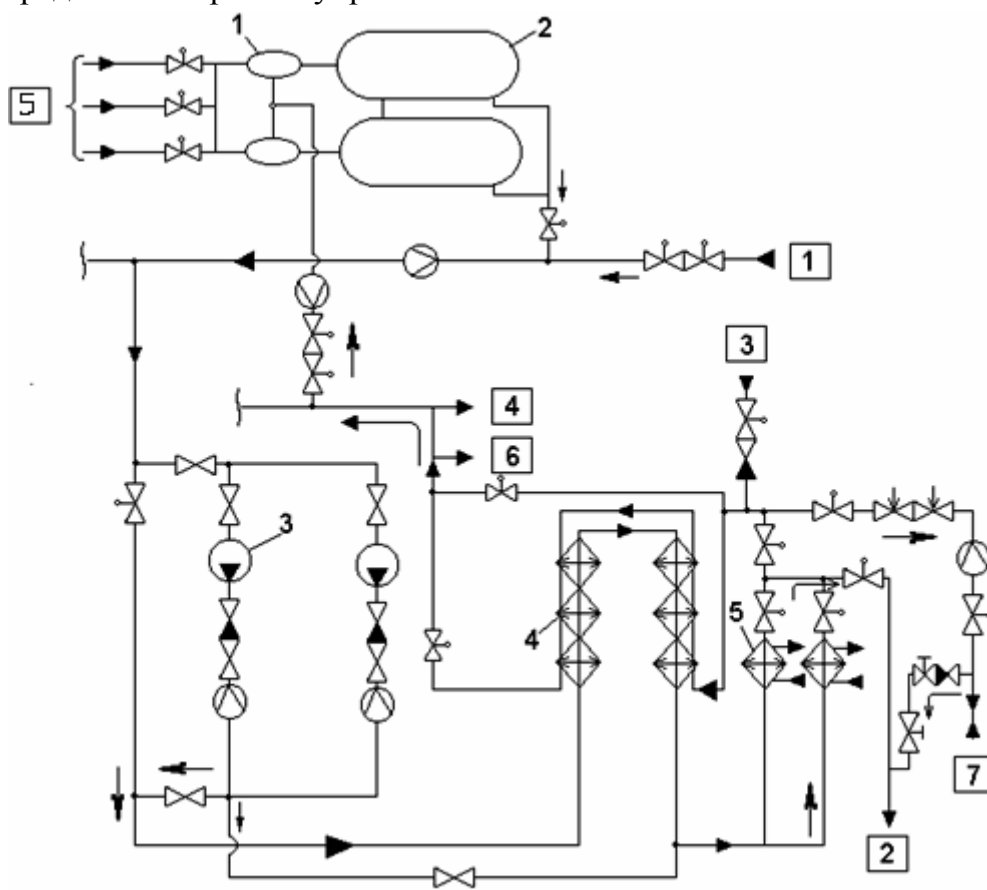
17. Система продувки и расхолаживания РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.

Назначение:

- в нормальном режиме – для охлаждения продувочной воды контура КМПЦ перед очисткой с последующим подогревом ее перед возвратом в контур;
- в режиме расхолаживания КМПЦ – для отвода тепла из КМПЦ при плановом останове блока со скоростью не более $10^{\circ}\text{C}/\text{ч}$; в аварийных случаях допускается скорость расхолаживания до $30^{\circ}\text{C}/\text{ч}$;
- в пусковых режимах – для поддержания скорости разогрева КМПЦ от ГЦН не более $10^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ и для сброса дебалансных вод из контура.

Состав:

- насосная установка с двумя насосами НР-1,2 тип ЦНР – 500 – 115
- теплообменная установка:
 - 1) шестисекционный регенератор ПР – РГ1
 - 2) доохладитель продувки ПР – Д2
 - 3) двухсекционный малый доохладитель продувки ПР – Д1
- соединительные трубопроводы и арматура
- средства контроля и управления



Элементы СПиР:

- 1 – смеситель (4шт. на блоке) 2 – барабан-сепаратор, $D = 1438$ т/час, $P = 69$ кгс/см²

3 – насос расхолаживания, тип 2НР – 1.2: $Q = 800 \text{ м}^3/\text{час}$; $H = 10 \text{ кгс/см}^2$ – регенератор шестисекционный, $P_p = 92 \text{ кгс/см}^2$, $t_p = 269/284^\circ\text{C}$ (2шт.) 5 - большой доохладитель продувки ПР-Д1.

5* – двухсекционный малый доохладитель продувки ПР – Д2(2шт.)

Линии связи СПиР:

[1] - от напорного коллектора ГЦН (насосная №2) [2] - на спец. хим. водоотчиску (СХВО) [3] - от СХВО [4] - в бак опорожнения основного контура [5] - от питательных электронасосов (ПЭН) [6] - в САОР [7] - сброс и возврат контура КМПЦ при пуске

Регенератор продувки ПР-РГ1 предназначен для охлаждения продувочной воды перед подачей ее в доохладитель и нагрева очищенной на фильтрах СВО воды перед возвратом ее в контур. Малый доохладитель продувки ПР-Д2 предназначен для дальнейшего охлаждения продувочной воды после регенератора с 68°C – на входе до $45\div 50^\circ\text{C}$ на выходе перед подачей ее на фильтры СВО.

Режимы работы СПиР:

Система продувки и расхолаживания предусматривает два режима работы:

- режим продувки;- режим расхолаживания..

В режиме продувки СПиР работает в следующих случаях:

- при ядерном разогреве КМПЦ;- при работе блока в номинальном режиме;- при останове блока до перевода системы в режим расхолаживания.

В режиме расхолаживания СПиР работает в следующих случаях:

- при разогреве КМПЦ от ГЦН;- при расхолаживании блока для останова;- на остановленном блоке.

В номинальном режиме теплоноситель КМПЦ расходом 200 т/час (по 100 т/час с каждой петли) под напором ГЦН поступает в регенератор ПР-РГ1, где охлаждается с 270°C до 68°C за счет отвода тепла обратному потоку, а затем дополнительно охлаждается водой промконтура в доохладителе продувки ПР-РД1 до 50°C и поступает на систему очистки контурной воды. Очищенная вода, проходя регенератор ПР-РГ1 в обратном направлении, нагревается с 50°C до 250°C и возвращается в барабаны-сепараторы через смесители на трубопроводах питательной воды.

В режиме расхолаживания блока СПиР обеспечивает снижение температуры воды в КМПЦ, начиная со 180°C до величины, требуемой по условиям ремонта блока. Циркуляция осуществляется при этом по тракту: барабаны-сепараторы – насосы расхолаживания – большой доохладитель – смесители.

СПиР может также использоваться для отвода остаточных тепловыделений реактора в режиме обесточивания собственных нужд энергоблока. Схема работы в этом режиме такая же, как и в режиме расхолаживания.

СПиР также используется для поддержания заданной температуры в КМПЦ при проведении ремонтных работ.

18. Система аварийного охлаждения реактора РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.

1. НАЗНАЧЕНИЕ Система САОР предназначена:

для своевременной подачи воды в активную зону реактора при авариях с разрывами КМППЦ, что исключает перегрев и разгерметизацию оболочек ТВЭЛ сверх допустимых проектом пределов;
для подачи воды насосами САОР (НОНП) в реактор в ситуациях связанных с невозможностью подачи воды штатными питательными насосами;
для подачи воды от СПИР через один из коллекторов САОР для ускоренного расхолаживания ТВС.

2. СОСТАВ По своему функциональному назначению и степени

быстродействия САОР подразделяется на подсистемы:

-быстродействующая, которая состоит из:

(1)баллонной подсистемы (2 группы по 6 баллонов),

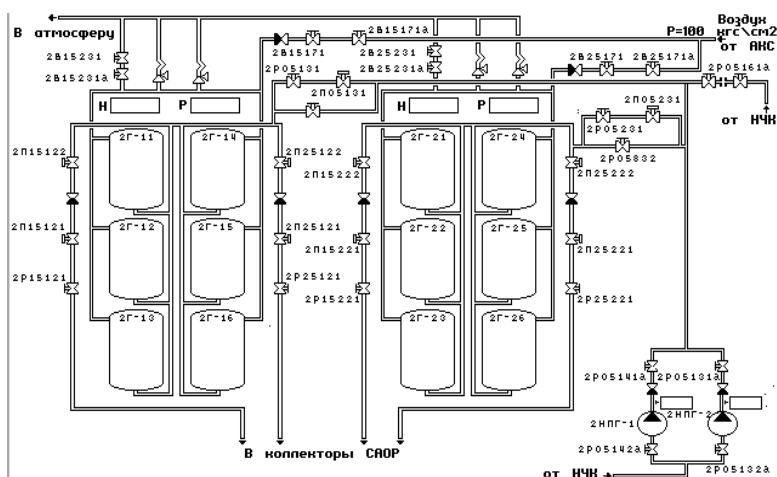
-(2)подсистемы подачи воды в САОР от ПЭН;

-подсистема длительного расхолаживания, состоящая из:

-(3)подсистемы насосов охлаждения аварийной половины реактора НОАП (3-подсистемы),

-(4)подсистемы насосов охлаждения неаварийной половины реактора НОНП (3-подсистемы).

(1)Баллонная подсистема



Баллонная подсистема предназначена для обеспечения подачи воды в ТК активной зоны в течение первых 90 сек с момента начала аварий, связанных с разрывами трубопроводов КМППЦ, до момента, когда вступают в работу насосные подсистемы.

(2)Подсистема подачи воды в САОР от ПЭН

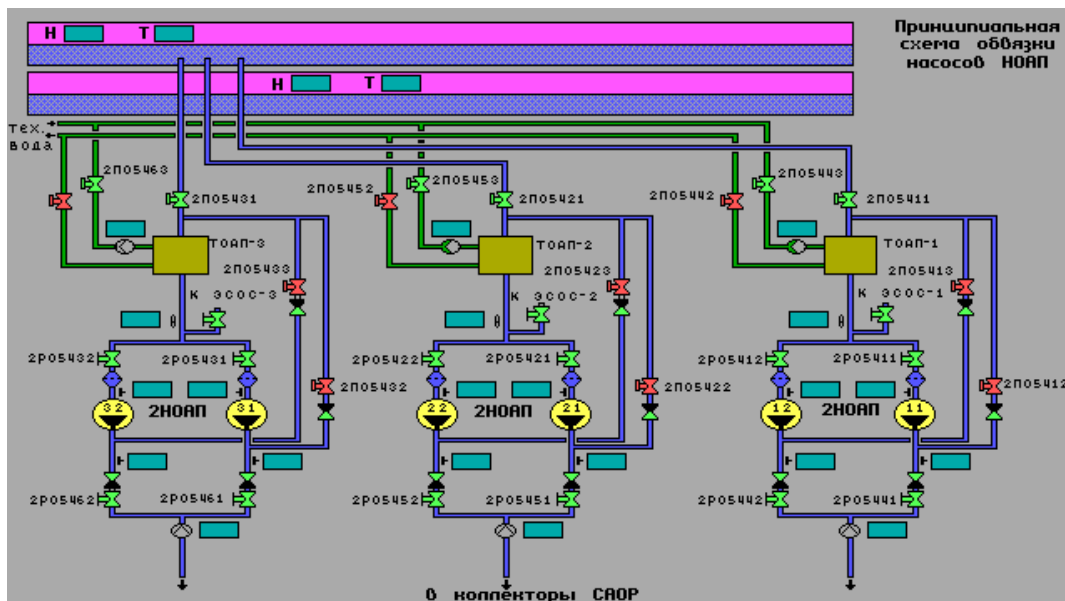
Подсистема предназначена для подачи воды от ПЭН в аварийную половину реактора при авариях, связанных с разрывами трубопроводов КМППЦ в течении первых 45 сек., до момента включения насосных подсистем.

В состав подсистемы входят:

- насосы типа СПЭ-1650-75 в количестве 5 штук;
- быстродействующие задвижки.

(3)Подсистема насосов охлаждения аварийной половины

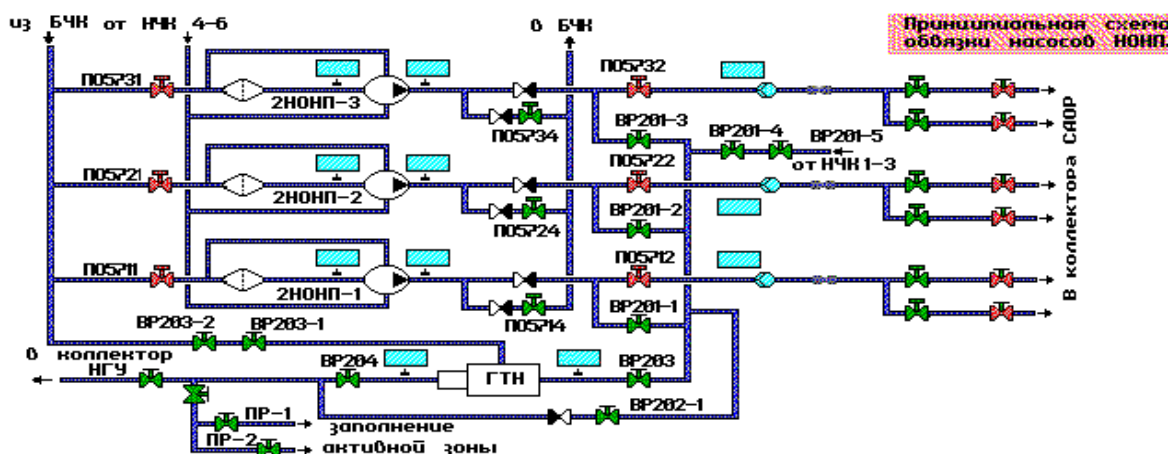
Подсистема НОАП предназначена для длительной подачи воды в аварийную половину реактора с момента исчерпания запаса воды в баллонной подсистеме и отключения подсистемы подачи воды от ПЭН.



Принципиальная схема обвязки НОАП

(4) Подсистемы насосов охлаждения неаварийной половины

Подсистема НОНП предназначена для подачи воды при разрывах трубопроводов КМПЦ по сигналу МПА в неаварийную половину реактора и включает в себя 3 насоса.



Принципиальная схема обвязки НОНП

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ

При возникновении МПА выполняется следующее:

- 1) Срабатывает световая сигнализация по сигналам формирования;
- 2) Через 1,2-1,5 сек. с момента формирования МПА открываются БДЗ и срабатывают БП и от ПЭН в САОР на аварийную половину реактора;
- 3) Выполняется алгоритм срабатывания подсистем МПА согласно схеме с включением и подачей воды от подсистем НОАП, НОНП, а также включения оборудования систем, связанных с МПА.

Сигналы срабатывания

- 1) Повышение давления в помещениях КМПЦ свыше 1.2 атм.;
- 2) Снижение уровня в БС на 800 мм. От номинального значения;
- 3) Снижение перепада давления между ГЦН и БС ниже 3 атм..

Где: 1) – сигнал аварии, а 2) и 3) – сигнал выбора аварийной половины.

Условия вывода из работы САОР

- 1) Допускается работа реактора на уровне мощности выше 50% $N_{ном.т.}$ при отказе или выводе из работы 1-го независимого канала САОР на время не более 2-х часов.
- 2) Допускается работа реактора на уровне мощности не выше 50% $N_{ном.}$ при отказе или выводе из работы 1-го независимого канала быстродействующей подсистемы САОР.

САОР должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- автоматически включаться в работу по сигналу МПА и отличать аварийную половину реактора от неаварийной;
- обеспечить подачу воды в аварийную и неаварийную половины реактора с расходами, обеспечивающими отсутствие плавления, массового перегрева и разгерметизации твэлов;
- быстродействие САОР должно быть таким, чтобы перерыв в подаче воды в аварийную половину реактора при возникновении МПА не превышал 3,5 с;
- система должна состоять из нескольких независимых каналов и обеспечивать требуемую эффективность при независимом от исходного события отказе любого одного канала этой системы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

САОР – система аварийного охлаждения реактора;

КМПЦ – контур многократной принудительной циркуляции;

НОНП – насосы охлаждения неаварийной половины;

СПИР – система продувки и расхолаживания;

НОАП – насосы охлаждения аварийной половины;

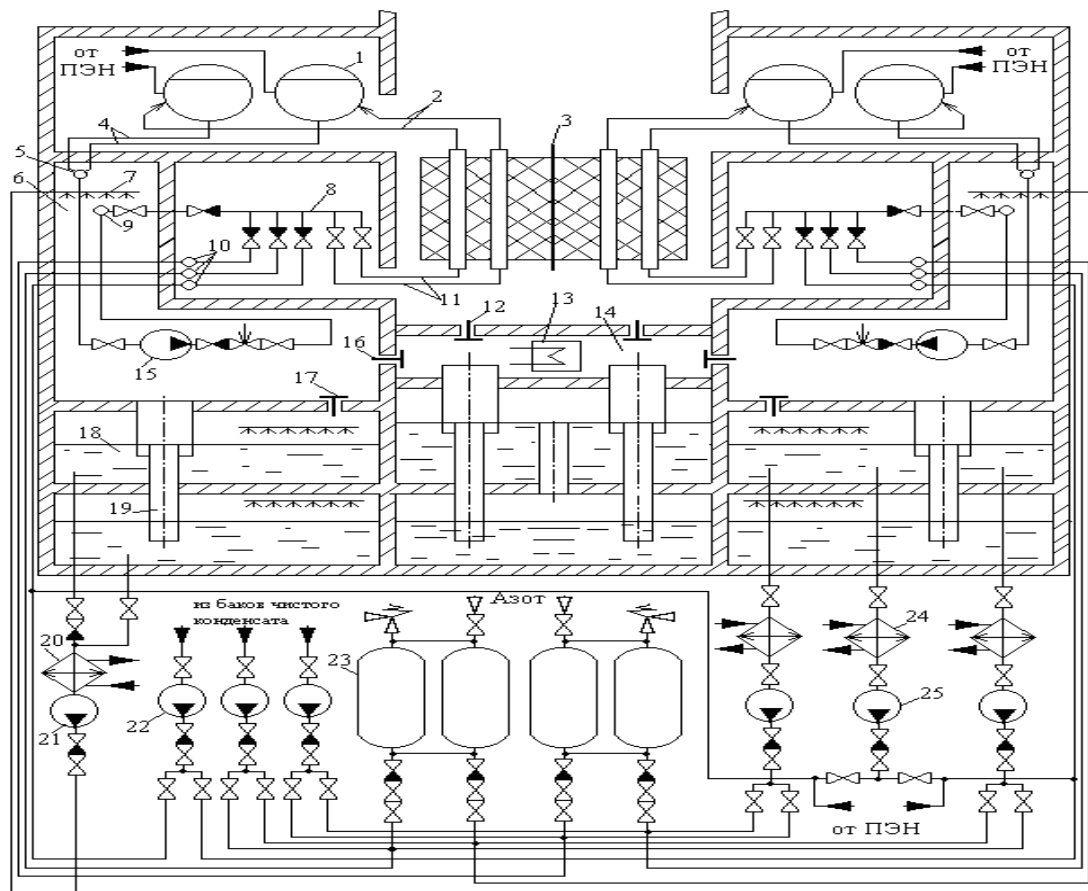
ГЦН – главный циркуляционный насос;

БС – барабан-сепаратор;

МПА – максимальная проектная авария;

БДЗ – быстродействующая задвижка.

19. Система локализации аварий РБМК-1000. Назначение, состав, принцип работы.



Описание:

1-БС (барабан-сепаратор) 2-ПВК (пароводяные коммуникации) 3-Канал СУЗ 4-Опускные трубы БС 5-ВК (всасывающий коллектор ГЦН) 6-ППБ (плотно-прочный бокс) 7-Разбрызгиватели СОС (спринклерно-охладительной системы) 8-РГК (раздаточно-групповой коллектор) 9-НК (напорный коллектор ГЦН) 10-Коллекторы САОР 11-Водяные коммуникации 12-Предохранительный клапан водяных коммуникаций 13-Поверхностные конденсаторы 14-Парораспределительный коридор 15-ГЦН 16-Обратный клапан ППБ 17-Обратный клапан 18-Бассейн-барботер ($V=3300 \text{ m}^3$) 19-Барботажно-конденсационное устройство 20-ТО (теплообменник) СОС 21-Спринклерный насос 22-НОНП (насосы охлаждения неаварийной половины) 23-Гидробаллон САОР ($V=25 \text{ m}^3$, $V_{\text{воды}}=12,9 \text{ m}^3$, $P_{\text{раб}}=9,8 \text{ МПа}$, $t_{\text{раб}}= 20-40\text{C}^0$) 24-ТО САОР 25-НОАП ($G=250 \text{ m}^3/\text{час}$, напор 82 атм)

Назначение СЛА РБМК-1000:

Предназначена для предотвращения (или ограничения распространения) выделяющихся при авариях радиоактивных веществ и излучений за установленные проектом границы и выхода их в окружающую среду.

Состав систем СЛА РБМК-1000:

- система прочно плотных боксов (ППБ) :

Прочно- плотный бокс левый, состоящий из боксов баков ГЦН, шахт опускных трубопроводов и паро-сбросного коридора;

Прочно- плотный бокс правый

-Бассейн- барботер(ББ) с боксом сброса парогазовой смеси.-Помещение НВК, состоящее из подапаратного помещения и боксов НВК

-Парораспределительный коридор.

-Боксы предохранительных клапанов ППБ

ЛСБ(линии сброса пара) являются основным элементом системы обеспечения безопасности АЭС и предназначены для:

- локализации радиоактивных выбросов в помещениях реакторного отделения (входящих в состав ЛСБ) при авариях, связанных с разрывами трубопроводов КМПЦ (кроме верхних трактов ТК, ПВК и опускных трубопроводов, расположенных в помещениях БС);
- приема парогазовой смеси из реакторного пространства при разгерметизации ТК или канала СУЗ;
- приема пара при срабатывании ГПК;
- использование запаса воды для подачи воды в аварийную половину КМПЦ при срабатывании САОР.

Барботажно- конденсационное устройство предназначено для выполнения следующих основных функций:

- приема паро-воздушной смеси и конденсации пара при авариях, связанных с разрывом трубопроводов КМПЦ, расположенных в пом. ППБ, НВК;
- приема парогазовой смеси и конденсации пара при авариях связанных с разрывом технологических каналов в РП;
- для приема и конденсации паровых протечек через ГПК, пара, подаваемого на паро-воздушные эжекторы срыва вакуума в трубопроводах системы сброса пара после ГПК в режиме нормальной эксплуатации блока;
- для приема пара при опробовании ГПК и в режиме аварийного сброса пара от ГПК.

Барботажно- конденсационное устройство включает в себя:

- Бассейн-барботер;
- блоки паро-сбросных труб;
- трубопроводы сброса парогазовой смеси из РП;
- трубопроводы заполнения, опорожнения и поддержания уровня воды Б-Б;
- трубопроводы системы спец водоочистки Б-Б;
- трубопроводы сброса конденсата из ПРК в боковые отсеки Б-Б;
- переливные трубы с верхнего этажа на нижний;
- Конденсаторы поверхностного типа.

Система отвода тепла из гермопомещений включает в себя:

- 3 независимые подсистемы НТУ СОС, в каждую из которых входит теплообменник, центробежный насос, водоструйный эжектор, фильтр, ручная и электрифицированная арматура;
- эжекционные охладители ППБ;
- охлаждаемые проходки РГК;
- спринклеры ББ.

Парораспределительный коридор:

Парораспределительный коридор является составным элементом СЛА и предназначен для:

- приема, частичной конденсации и направления в ББ паровоздушной смеси при разрывах КМПЦ;
- приема и направления в ББ газовой смеси

Прочно-плотный бокс:

Прочно-плотный бокс предназначен для локализации парогазовых выбросов в пределах СЛА при разрывах трубопроводов КМПЦ большого диаметра. Левый и правый ППБ разделены между собой ПРК. При авариях связь между обеими сторонами осуществляется через ББ. ППБ рассчитан на $P_{изб.} - 4,5 \text{ кгс/см}^2$.

Все помещения ППБ облицованы углеродистой сталью толщиной 4-6 мм.

Проходки труб, кабелей, штоков, крышки

Помещения НВК:

Помещения НВК предназначены для локализации парогазовых выбросов в пределах зоны СЛА при разрывах трубопроводов НВК и РГК.

В состав пом. НВК входят :

- боксы НВК;
- подаппаратное помещение.

Помещения НВК рассчитаны на $P_{изб.}$ до $0,8 \text{ кгс/см}^2$.

В подаппаратном помещении располагаются 8 шахт мембранных обратных клапанов помещений

Бассейн-барботер:

Бассейн-барботер - является составным элементом СЛА и предназначен для:

- приема и конденсации парогазовой смеси, сбрасываемой в него из ППБ и ПРК при разрывах трубопроводов КМПЦ;
- приема пара при срабатывании ГПК;
- приема протечек ГПК;
- создания запаса воды для подачи в аварийную половину КМПЦ при срабатывании САОР.

Режимы работы:

1. Разрыв в помещении нижних водяных коммуникаций.

Парогазовая смесь через блоки обратных клапанов 13 сбрасывается в парораспределительный коридор 6. Там пар конденсируется на поверхности Т/О 12. А сброс пара через паросбросные трубы в ББ.

2. Авария в помещениях ППБ.

Парогазовая смесь через паросбросные трубы поступает в ББ. Часть пара поступает в парораспределительный коридор, где конденсируется на поверхностных конденсаторах и дополнительно сбрасывается в ББ через паросбросные трубы. Если в результате разогрева воздушного объема в ББ, давление возрастает, то часть газа через 16 поступает в объем неаварийной половины.

3. Аварии с разрывом трубопроводов в помещениях БС.

Это прямые потери воды, все идет в окружающую среду. Вода поступает на орошение воздушного ППБ и ББ из СОС.

СУВ - система удаления водорода – для создания постоянного разряжения в помещениях локализации аварии (ПЛА), а также для удаления водорода и предотвращения образования гремучей смеси в помещениях НВК и ППБ (прочноплотного бокса).

СОС - спринклерная охлаждающая система – для расхолаживания газовой и водяной сред ББ и ППБ в стационарном режиме и при МПА.

Состав: – насос НСОС, 3 шт. $Q = 1080 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 68 \text{ м. вод. ст.}$

– теплообменник, 3 шт. $F_{\text{то}} = 843 \text{ м}^3$

– объем труб системы СОС = 350 м^3 (по среде ББ).

ББ - объем по воде: – 1 ярус – 1650 м^3 ; 2 ярус – 2650 м^3

Состав: – трубопроводы отвода ПГС из РП (в парогазовую выгородку ББ)

– обратные клапаны помещений НВК

– перепускные клапаны в проемах перекрытий между ППБ и ББ, а также ПРК и бокса сброса ПГС

– панели обратных клапанов между ППБ и ПРК

– поверхностные конденсаторы в ПРК (п.12)

– трубопроводы сброса пара после ТПК (п. 10), часть ССП

– предохранительные клапаны ППБ

20. Конденсационная установка. Назначение, состав и принципиальная схема.

Конденсационная установка предназначена:

- На АЭС реализуется цикл Ренкина, предполагающий конденсацию всего пара, отработавшего в ТУ. Этот процесс и осуществляется в конденсационной установке (КУ).
- Основные задачи КУ: установка и поддержание вакуума на выхлопе ТУ; получение чистого конденсата.

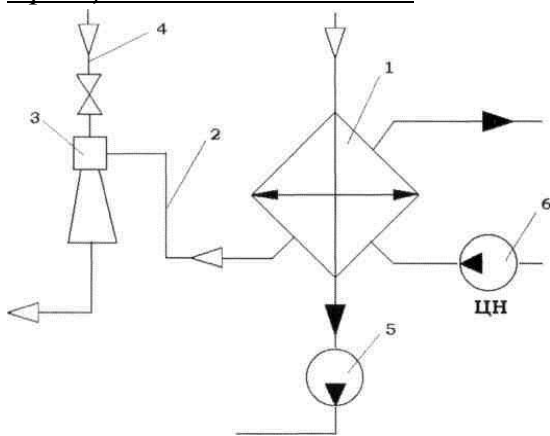
Состав КУ:

- теплообменник-конденсатор, насосы циркуляционной воды, конденсатные насосы, воздухоотсасывающие устройства (эжекторы), трубопроводы связи.

Конденсатор – поверхностный теплообменник с нисходящим потоком пара. Конденсаторы подключаются к каждому выхлопу турбины, пар из турбины конденсируется в межтрубном пространстве, в трубках течёт охлаждающая вода технического качества. В конденсаторах имеется запас уровня конденсата для бескавитационной работы конденсатных насосов. Для выравнивания уровней конденсата конденсаторы сообщаются перепускными линиями.

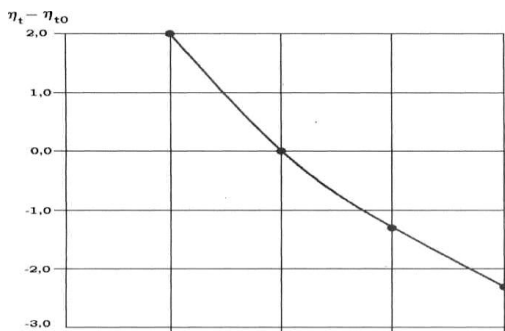
Из конденсаторов осуществляется непрерывный отсос неконденсирующихся газов при помощи эжекторов, выполняемых, как правило, двух- или трёхступенчатыми.

Принципиальная схема КУ:



1. конденсатор
2. отсос паровоздушной смеси;
3. пароструйный эжектор;
4. рабочий пар на эжектор (из отбора, выпар деаэратора или острый пар при пуске);
5. конденсатный насос;
6. циркуляционный насос технической воды.

Воздух повышает давление в конденсаторе, тем самым ухудшая вакуум, что ведет к снижению КПД.



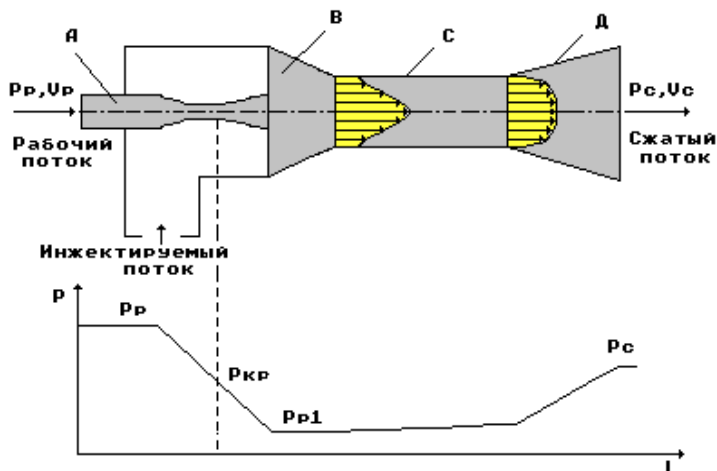
Наличие газов в конденсаторе влияет на теплоотдачу и стимулирует процессы коррозии. Для одноконтурных станций помимо присоса в конденсаторе необходимо учитывать поступление водорода и кислорода, образовавшихся в процессе радиолиза. Также необходимо учитывать газы, поступающие

через оболочку твэлов.

Для двухконтурных АЭС необходимо учитывать поступление газообразных осколков деления(при наличии течи в ПГ)

Удаление газов происходит при помощи эжекторов.

Принцип работы эжектора:

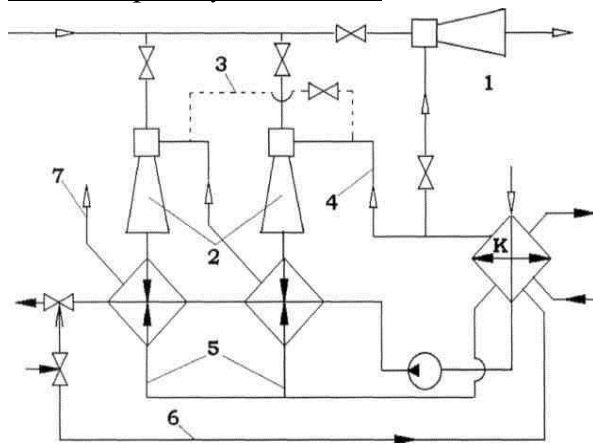


А- сопло В-С-камера смешения, Д-диффузор

Пароструйный эжектор - это струйный насос, в котором рабочим телом является пар с давлением 0.4-0.7 МПа. В комбинированном сопле рабочий пар расширяется до сверхзвуковой скорости - на выходе из сопла скорость пара более 1000 м/с. Одновременно понижается давление рабочего пара. Обычно на выходе из сопла создается давление на 1...2 мм.рт.столба ниже, чем в паровом пространстве конденсатора. В камере смешения струя пара, выходящая из сопла со сверхзвуковой скоростью, подсасывает (эжектирует) паровоздушную смесь и перемешивается с ней. В результате образуется смесь рабочего пара и паровоздушной смеси. В диффузоре (расширяющийся канал) давление смеси пара и воздуха поднимается до состояния несколько выше атмосферного.

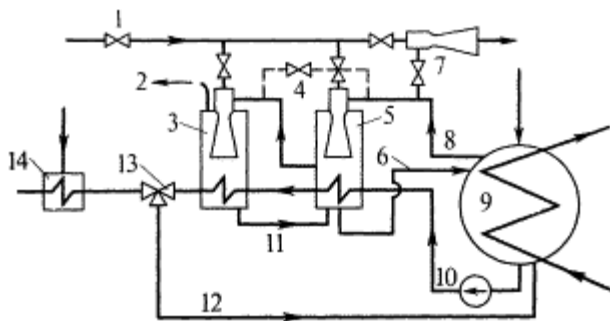
Обычно используют трехступенчатые эжекторы.

Эжекторная установка:



1. пусковой эжектор;
2. - основной эжектор;
3. - переключка при работе одной ступени;
4. - отсос паровоздушной смеси;
5. - каскадный сброс конденсата эжекторов;
6. - трубопровод рециркуляции при пуске с клапаном поддержания уровня в К;
7. - выхлоп;

**Схема конденсационной
установки.**



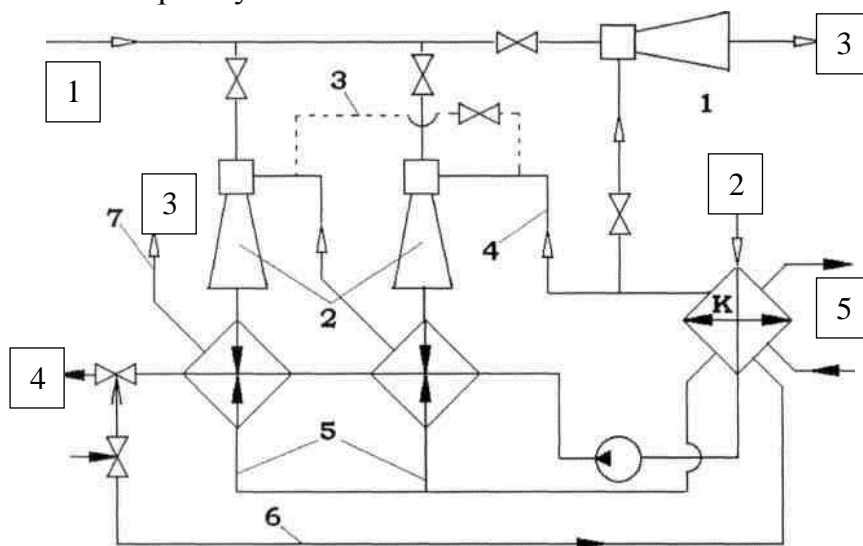
- 1 - подвод рабочего пара;
- 2 - выпуск воздуха;
- 3 - вторая ступень основного эжектора;
- 4 - переключатель для возможности работы одной второй ступени при

пуске турбины;

- 5 - первая ступень основного эжектора;
- 6 - отвод конденсата в паровой объем конденсатора;
- 7 - пусковой эжектор;
- 8 - отсос воздуха из конденсатора;
- 9 - конденсатор турбины;
- 10 - конденсатный насос;
- 11 - перепуск конденсата рабочего пара эжекторов из холодильника второй ступени в холодильник первой ступени;
- 12 - трубопровод для рециркуляции конденсата турбины при ее пуске;
- 13 - клапан рециркуляции и поддержания уровня в конденсаторе;
- 14 - регенеративный подогреватель низкого давления.

21. Необходимость отсоса неконденсирующихся газов из конденсатора.

Эжекторная установка



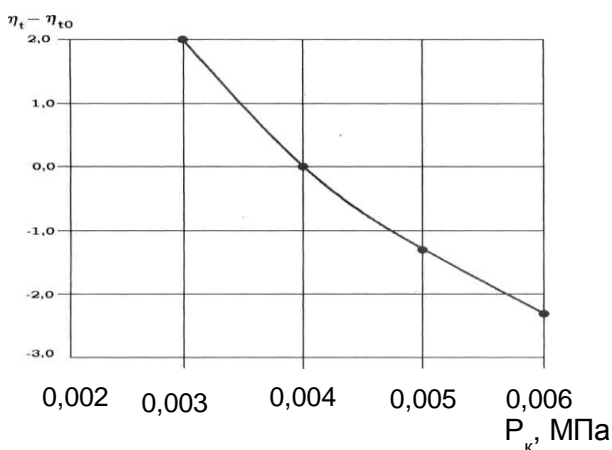
1. пусковой эжектор;
2. основной эжектор;
3. перемычка при работе одной ступени;
4. отсос паровоздушной смеси;
5. каскадный сброс конденсата эжекторов;
6. трубопровод рециркуляции при пуске с клапаном поддержания уровня в К;
7. выхлоп;

Линии связи: 1. Рабочий пар на эжектора. 2. Отработавший пар с турбины. 3. Выброс неконденсирующихся газов. 4. В систему регенеративного подогрева. 5. Циркуляция тех. воды.

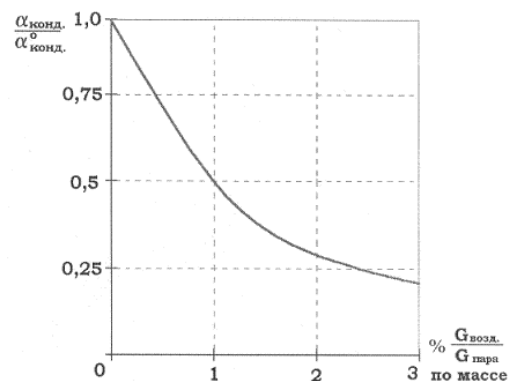
В конденсатор поступает не только влажный пар из последних ступеней турбины, но и воздух через неплотности в соединениях корпуса конденсатора с выхлопным патрубком турбины, а также через линии отборного пара и конденсата, находящиеся под разрежением. Для одноконтурных станций необходимо иметь в виду поступление с паром определенного количества продуктов радиолиза, а также радиоактивных благородных газов, проникающих в теплоноситель через неплотности в оболочках ТВЭЛОВ.

Поступление в конденсатор неконденсирующихся газов приводит к увеличению давления в конденсаторе и ухудшению вакуума, уменьшению коэффициента теплоотдачи при конденсации пара, а также к интенсификации коррозионных процессов. Удаление неконденсирующихся газов из конденсатора осуществляется пароструйными эжекторами.

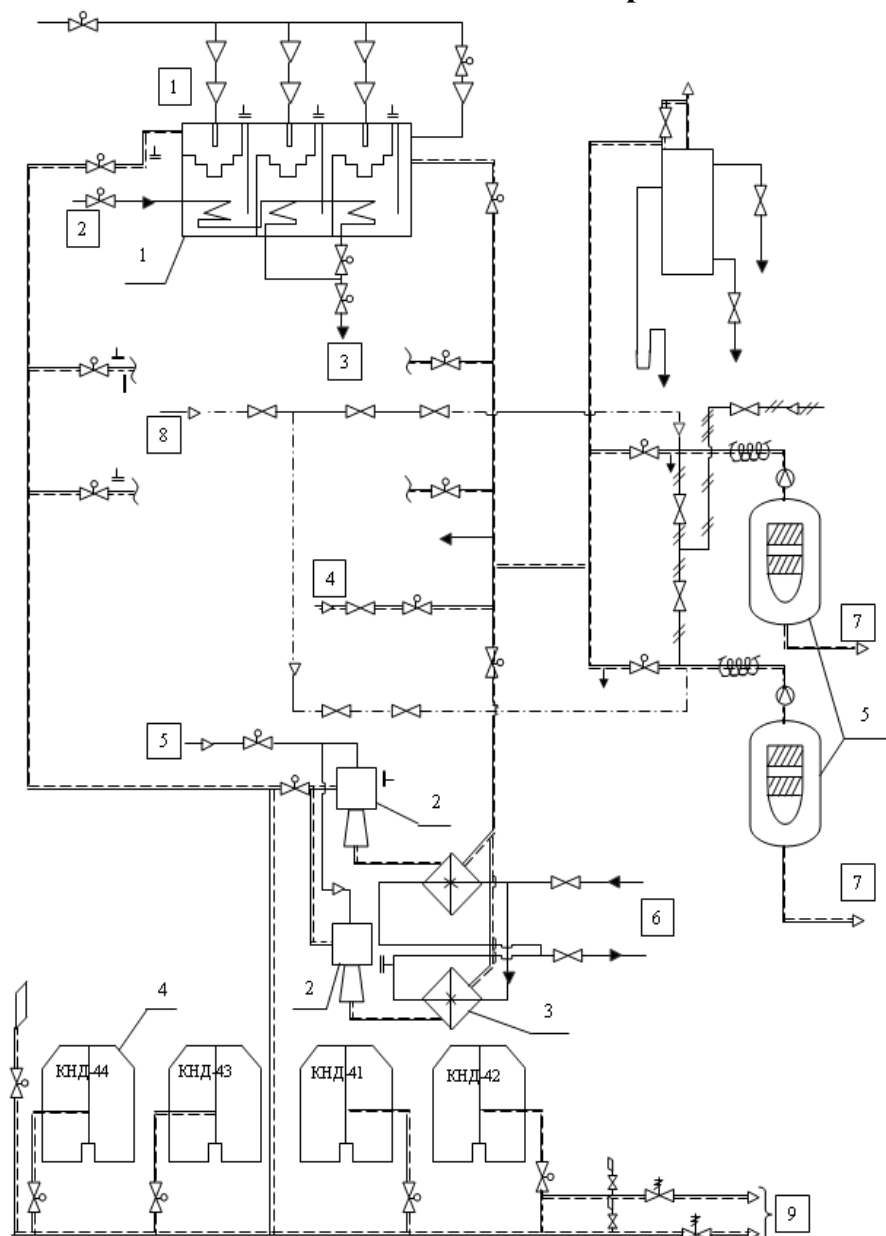
Влияние вакуума в конденсаторе на КПД цикла



Влияние газовых примесей в конденсаторе на коэффициент теплоотдачи при конденсации



22. Схема включения основных эжекторов.



Оборудование:

- 1 - ЭО
- 2 - ЭП
- 3 - охладитель ЭП
- 4 - основные конденсаторы
- 5 - контактный аппарат

Линии связи:

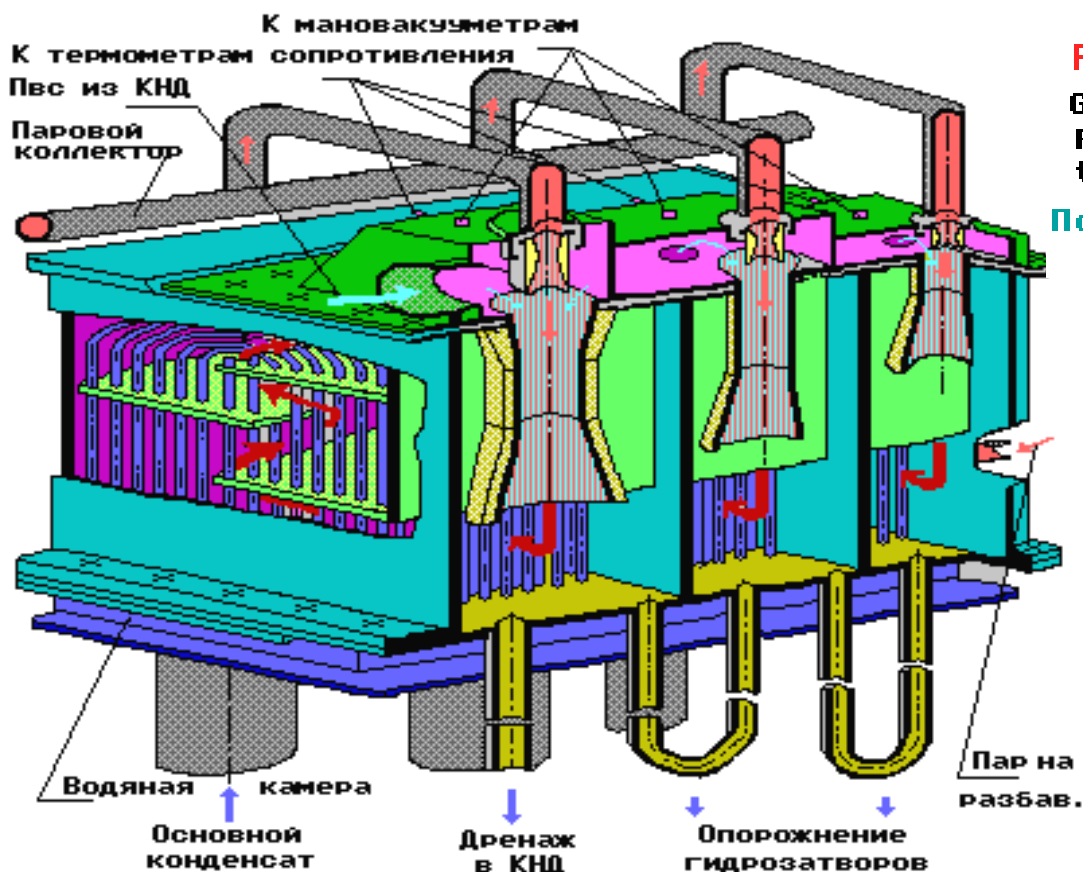
- [1] - от Д (выпар)
- [2] - от КН - I
- [3] - к КН - II
- [4] - от ТК (сдвка)
- [5] - пар от Н
- [6] - циркуляционный водовод
- [7] - на дезактивацию
- [8] - пар от Д
- [9] - срыв вакуума

Характеристики эжекторов:

- 1 ЭО - тип ЭП - 3 / 55 / 100 , 3 шт. (3-х ступенчатый)
 - расход на каждый эжектор , кг/ч - 3400
 - Ррат (перед соплами) , атм - 5 (≥ 4)
- 2 ЭП - тип ЭП - 1 -150 , 2 шт. (одноступенчатый)
 - расход на каждый эжектор , кг/ч - 1500
 - Ррат (перед соплами) , атм - 5 (≥ 4)
- 3 ЭЦС (эжекторы цирк.системы) , 2 шт.
 - расход на каждый эжектор , кг/ч - 490
 - Ррат (перед соплами) , мм.в.ст. - 50

/* С помощью пускового эжектора невозможно создать разрежение ниже 600 мм.рт.ст.

Общий вид основного эжектора.



Рабочий пар

$G=341 \text{ кг/ч}$

$P=5 \text{ ата}$

$t=156 \text{ гр.С}$

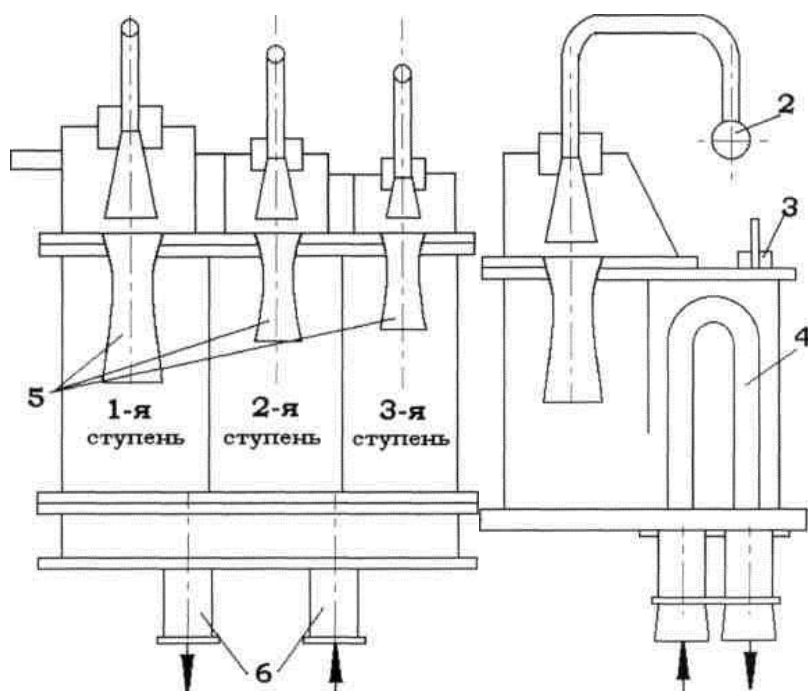
Паровоздушная смесь

$G=55 \text{ кг/ч}$

$t=21 \text{ гр.С}$

$P=0,036 \text{ ата}$

$P=1,25 \text{ ата}$



Принципиальная схема основного трехступенчатого эжектора.

1 – вход парогазовой смеси, 2 – подвод рабочего пара, 3 – выхлоп эжектора, 4 – трубная система охлаждения эжектора, 5 – диффузоры, 6 – вход-выход основного конденсата.

23. Система технического водоснабжения. Типы систем тех. водоснабжения. Основные потребители тех. воды.

Техническая вода – химически неочищенная вода, забираемая из окружающей среды и используемая для отвода избыточного тепла от систем и оборудования станции.

Назначение системы ТВ: отвод тепла от основных и вспомогательных агрегатов АЭС в окружающую среду, подпитка систем АЭС водой.

Типы систем тех водоснабжения.

- Прямоточная – вода используется однократно.

Прямоточной можно считать схему, когда температура сбрасываемой воды не влияет на температуру забираемой (когда используются реки, большие озера, моря, океаны).

Техническая вода забирается из водоёма и после использования сбрасывается обратно. Для АЭС этот способ используется редко, так как необходим высокий расход воды. При достаточном расходе эта схема обеспечивает самую низкую температуру в конденсаторе и обладает самой низкой стоимостью реализации. При незначительном недостатке расхода в реке часть отработавшей воды направляют на рециркуляцию, что увеличивает расход через конденсатор, теплообмен улучшается и минимальный температурный напор снижается, но повышается температура охлаждающей воды. Суммарный эффект позволяет несколько понизить температуру в конденсаторе.

Достоинства и ограничения прямоточной системы техводоснабжения

- - минимальные капитальные затраты;
 - - глубокий вакуум в конденсаторе;
 - - простота;
 - при сбросе нагретой воды в источник техводы повышение температуры в источнике не должно превышать 5 градусов летом и 3 градуса зимой. Следовательно, необходимо иметь мощность источника в 3÷4 раза больше потребности АЭС.
 - Обратная – вода используется многократно. Такие системы позволяют организовать охлаждение для мощной электростанции, но стоимость их сооружения высока, эффективность ниже, чем у прямоточных систем, кроме того, они нуждаются в обслуживании. В обратных системах часть воды также испаряется и они нуждаются в подпитке сопоставимой с расходом пара через конденсатор. Таким образом, всё равно необходимо наличие постоянного источника воды.
 - Смешанная – часть тепла отводится по прямоточной схеме, часть – по обратной.
- Оборотные системы: Пруды-охладителями.** Из обратных систем обеспечивают самое лучшее охлаждение и требуют минимальную подпитку водой. Высокая стоимость сооружения, большая площадь земли отчуждается. Пруды-охладители имеют продолговатую форму, обеспечивающую минимум застойных зон, потоки

теплой и холодной воды разделяются дамбами. Для предотвращения образования льда на водозаборе часть тёплой воды поступает на рециркуляцию.

Градирни. Охлаждение хуже. Градирни представляют собой высокие трубы большого диаметра у основания и меньшего у вершины, как правило, сужение – по гиперболе. Охлаждаемая вода поступает сверху, падает вниз, где собирается и отправляется на повторное использование. Градирни обеспечивают перепад давления воздуха по высоте, вследствие чего в них возникает восходящее движение воздуха. Капли воды, двигаясь в противоток с воздухом охлаждаются частично за счёт конвекции, частично – за счёт испарения, что приводит к необходимости подпитки систем с градирнями. Расход воздуха через градирни регулируется поворотными щитами у основания. В современных градирнях применяют т.н. оросительные устройства – блоки полимерных матриц, которыми заполнена часть объёма градирни. По поверхности оросительных устройств вода стекает плёнками, а не свободно падает. Это улучшает теплоотдачу к воздуху и позволяет строить градирни меньших размеров.

Брызгальные бассейны. Обеспечивают худшее охлаждение. Представляют собой бассейны, поверх которых проложены ряды труб с разбрызгивающими соплами. Вода отдаёт тепло воздуху. Для хорошей работы системы необходимо обеспечить постоянный приток свежего воздуха. Очень велики потери воды на испарение. Большие гидродинамические потери.

Глубина вакуума при использовании схем с градирнями и брызгательными бассейнами \approx на 3% хуже, чем при прямоточном и прудовом водоснабжении.

Потребители технической воды: Контур охлаждающей циркуляционной воды (85 – 90% всего расхода) конденсаторы паровых турбин (основных и вспомогательных) маслоохладители и воздухоохладители ТГ

• **Техническая вода неответственных потребителей**

- подшипники неосновных насосов и других вспомогательных агрегатов
- теплообменники вентиляционных систем
- маслоохладители редукторов турбопитательных насосов
- охладитель выпара расширителя дренажей машзала
- маслоохладители трансформаторов
- теплообменник промконтра охлаждения проб машзала
- теплообменники доохлаждения продувочной воды ПГ

• **Техническая вода ответственных потребителей**

- теплообменники бассейнов выдержки и перегрузки
- теплообменники расхолаживания реактора
- теплообменники доохлаждения продувочной воды реактора
- теплообменники автономных контуров охлаждения ГЦН
- охладители радиоактивных проб воды и пара (для отбора анализа)
- санитарно-бытовые устройства (прачечные, душевые)
- система водоподготовки добавочной воды для I и II контуров
- система подпитки тепловой сети

24. Влияние температуры охлаждающей воды и кратности охлаждения на давление в конденсаторе.

Вакуум в конденсаторе оказывает большое влияние на экономичность конденсационной паровой турбины. Нагрев охлаждающей воды зависит от расхода пара в конденсатор и расхода охлаждающей воды через него. Запишем уравнение теплового баланса конденсатора: $D_{\text{п}} \cdot (h_{\text{п}} - h'_{\text{к}}) = G_{\text{в}} \cdot C_{\text{р}} \cdot (t_{\text{ввых}} - t_{\text{вх}})$. $h_{\text{п}}$ – энтальпия пара после турбины, $h'_{\text{к}}$ – энтальпия конденсата на линии насыщения после конденсации пара в конденсаторе, $t_{\text{ввых}}$ и $t_{\text{вх}}$ – температура охлаждающей воды на выходе и на входе в конденсатор, $D_{\text{п}}$ – расход пара из турбины в конденсатор, $G_{\text{в}}$ – расход охлаждающей воды. Параметр $G_{\text{в}}/D_{\text{п}} = m$ называется кратностью охлаждения.

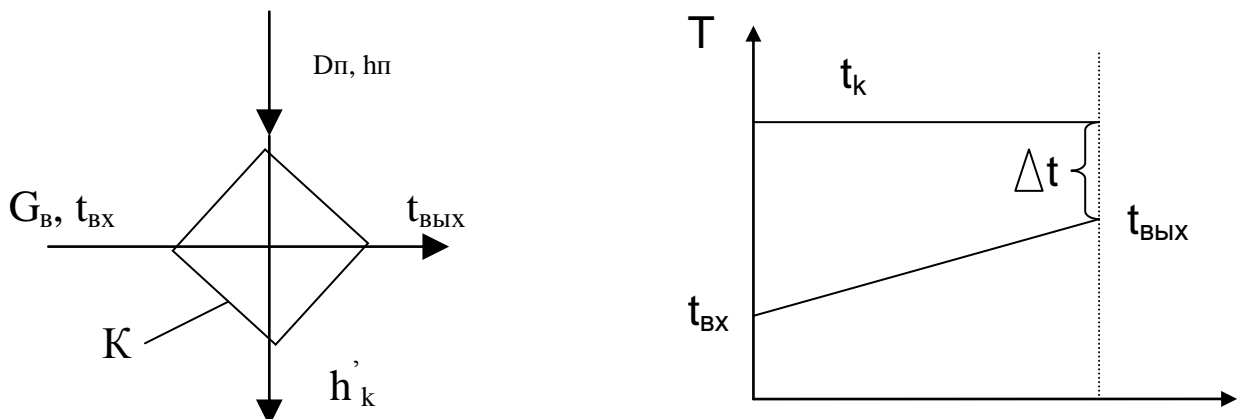


Рис. 9.4. Влияние параметров охлаждающей воды на давление в конденсаторе. Q

Из T-Q диаграммы конденсатора (рис. 9.4) и уравнения теплового баланса конденсатора получаем: $t_{\text{к}} = t_{\text{ввых}} + \Delta t = t_{\text{вх}} + (h_{\text{п}} - h'_{\text{к}})/(m \cdot C_{\text{р}}) + \Delta t$

Если подставить численные значения энтальпии пара и конденсата, а также теплоемкость воды, характерные для параметров пара после турбины, то можно записать: $t_{\text{к}} = t_{\text{вх}} + 525/m + \Delta t$. Давление в конденсаторе однозначно связано с температурой конденсации, $P_{\text{к}} = f(t_{\text{к}})$. Графически зависимость давления в конденсаторе от температуры охлаждающей воды $t_{\text{вх}}$ и кратности охлаждения m можно представить в следующем виде). кратность охлаждения $m > 80$ выбирать нецелесообразно. Расчетная кратность охлаждения выбирается на основании технико-экономических расчетов. Обычно основные конденсаторы турбины

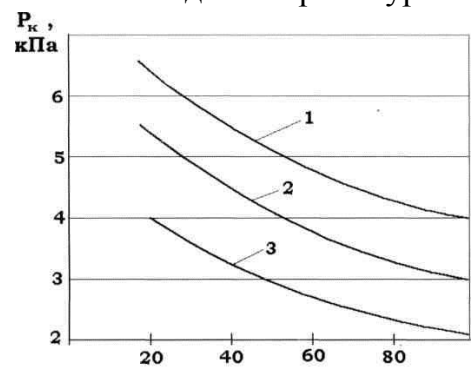


Рис. 3.

выбираются двухходовыми по охлаждающей воде кратностью охлаждения 50 – 65. Зависимость давления в конденсаторе от температуры охлаждающей воды и кратности охлаждения. 1 – $t_{\text{вх}1}$, 2 – $t_{\text{вх}2}$, 3 – $t_{\text{вх}3}$; $t_{\text{вх}1} > t_{\text{вх}2} > t_{\text{вх}3}$

25. Включение конденсатных насосов и БОУ в схему ЯЭУ.

Конденсатные насосы предназначены для откачки основного конденсата турбины из конденсатосборника конденсатора, подачи его через систему регенерации низкого давления в деаэратор и обеспечения работы теплообменников.

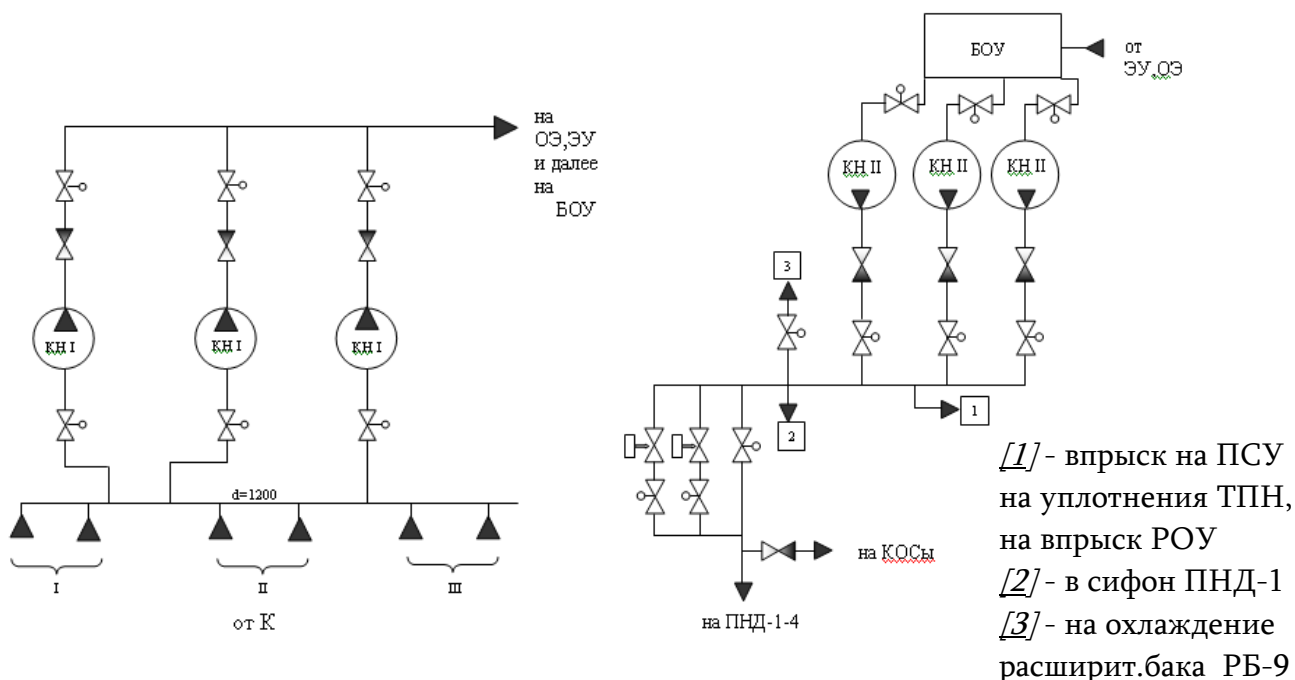
В турбоустановках АЭС, имеющих БОУ, устанавливаются две группы конденсатных насосов - первой ступени (КЭН-I) и второй ступени (КЭН-II).

Конденсатные насосы I ступени устанавливаются сразу после конденсатора от конденсатосборников и предназначены для прокачки основного конденсата (ОК) через холодильники эжекторов и фильтры БОУ, которые имеют большое гидравлическое сопротивление.

Холодильники эжекторов располагаются после КН-I и служат для конденсации пара, подающегося на эжекторы из РОУ или деаэратора.

БОУ - блочная обессоливающая установка, расположена после холодильников эжекторов и предназначена для удаления из конденсата механических примесей и растворенных в конденсате химических соединений, находящихся в ионной форме.

Конденсатные насосы II ступени (КН-II) служат для создания необходимого напора для прокачки основного конденсата через систему ПНД и подачи его в деаэратор.



Всего 3 насоса, 2 работают, 1 в резерве. Схема насосов двухступенчатая.

Конденсатные насосы 1-й ступени (КН-1): КСВ-1500-120.

Конденсатные насосы 2-й ступени (КН-2): КСВ-1500-240.

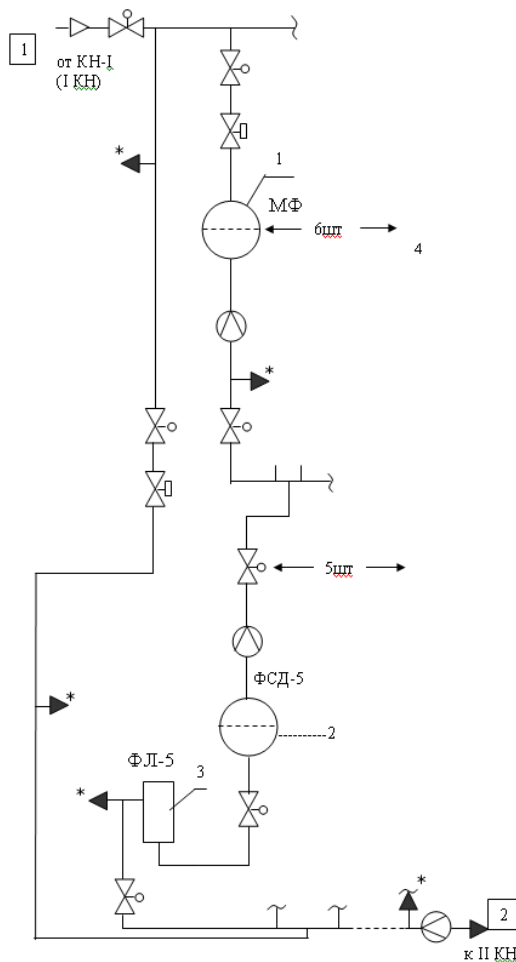
Из конденсатосборников конденсаторов от общего коллектора конденсат забирается 3-мя насосами 1-й ступени. КН-1 имеют меньшие обороты т.к. вода в конденсаторе при $T_{нас}$, и при понижении давления насос может стать причиной вскипания воды, следствие=кавитация и выход из строя насоса.

Полный напор так же разделяют на 2 ступени, чтобы не допустить вскипания. Между ними стоит БОУ. Насосы 2-й ступени обеспечивают прокачку до деаэратора. Их напор больше. Участок от конденсатора до деаэратора – основной конденсатный тракт.

Между КН-1 и КН-2 находятся ТО эжекторов и БОУ. Через ТО эжекторов конденсат качается для экономии. БОУ – только для очистки воды. БОУ разные для реакторов РБМК и ВВЭР, т.к. разные требования.

БОУ РБМК-1000:

1. Механические фильтры бшт.
2. Фильтры смешенного действия (ФСД) 5шт.
3. Фильтры ловушки (для удержания смолы, вынесенной из ФСД).



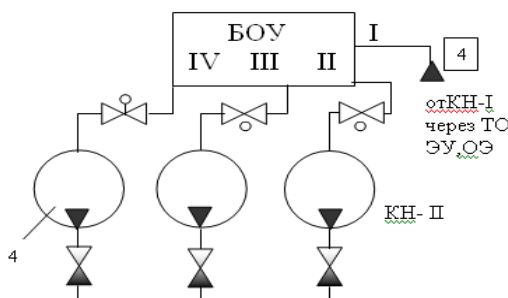
Оборудование:

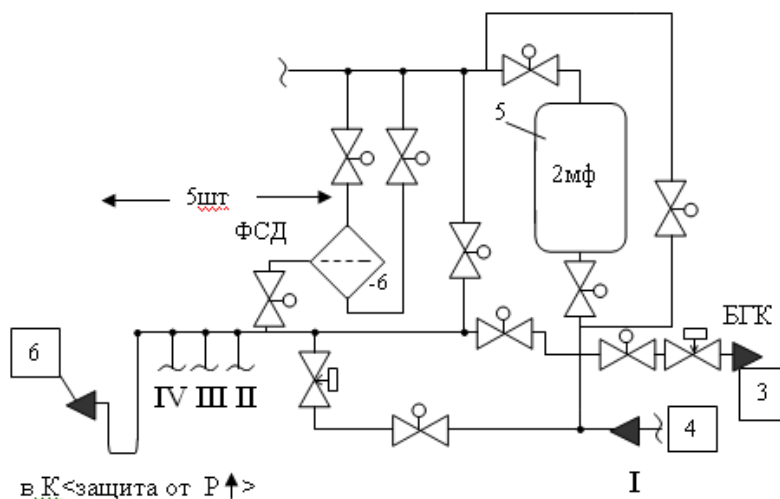
- 1 - механический фильтр (6 шт.)
- 2 - фильтр смешанного действия (5 шт.)
- 3 - фильтр-ловушка

Линии связи:

- [1] - от КН - I
- [2] - к КН - II

БОУ ВВЭР-1000. (Механический электромагнитный фильтр, за которым установлены параллельно 5 ФСД).





Элементы

- 4 – конденсатные насосы второй ступени
- 5 – электромагнитный фильтр
- 6 – фильтр смешанного действия (5 шт.)

Линии связи

- [3] – в бак грязного конденсата
- [4] – от КН-I

БОУ предназначена для обессоливания основного конденсата турбины перед подачей его в конденсатный тракт. Обессоливающая установка обеспечивает очистку 100% расхода конденсата. БОУ состоит из одного электромагнитного фильтра (ЭМФ) и пяти фильтров смешанного действия (ФСД). Фильтры БОУ размещены в машзале. Предусмотрен обвод (байпасирование) БОУ по основному конденсату. БОУ обслуживается персоналом химцеха.

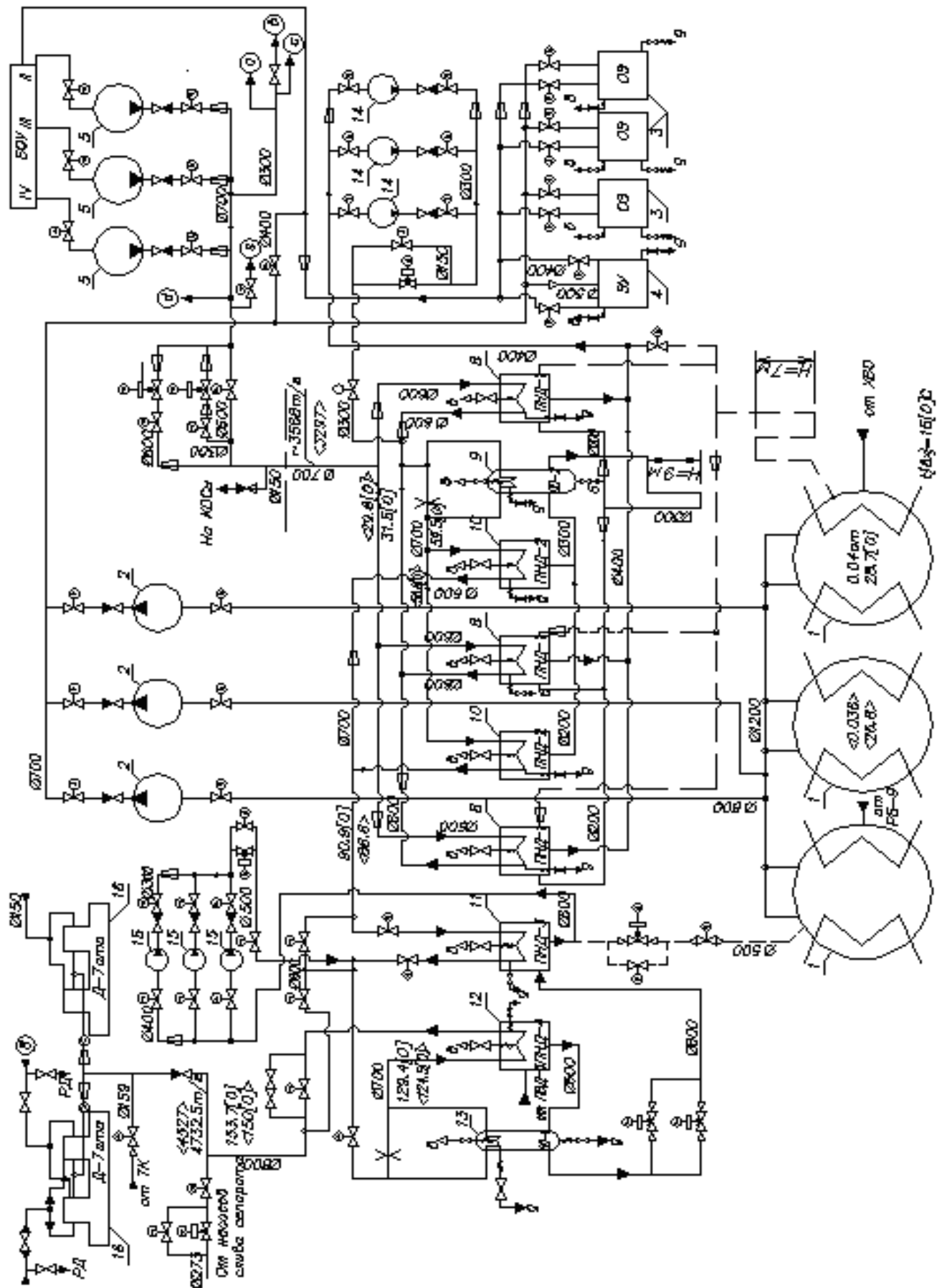
Загрязненный примесями конденсат турбины из конденсаторов конденсатными насосами первой ступени (КН-I) по трубопроводу диаметром 800 мм поступает на электромагнитный фильтр (ЭМФ), где очищается от механических примесей, продуктов коррозии конструкционных материалов.

ЭМФ загружен стальными мягкомагнитными шариками диаметром 6,3 мм. Корпус фильтра в районе шарикового заполнения окружен электромагнитной катушкой. При наложении магнитного поля в пространстве между шариками возникают высокие градиенты силовых линий, вследствие чего ферромагнитные загрязнения воды отлагаются на магнитных полюсах шариков. Немагнитные оксиды железа и других металлов и неметаллические загрязнения в большой мере адсорбируются отложившимися магнитными оксидами железа.

После ЭМФ конденсат поступает на ФСД для очистки от ионных и коллоидно-дисперсных примесей. Удаление задержанных на шариковой загрузке ферромагнитных и немагнитных оксидов железа производится путем промывки ЭМФ обессоленной водой снизу вверх при снятом напряжении на катушках и размагниченном состоянии шариков. Промывка ЭМФ производится при увеличении перепада давлений на входе - выходе более чем 0,137 МПа (1,5 кгс/см²).

ФСД загружены смесью ионообменных смол катионита и анионита. При подключении ФСД БОУ для очистки конденсата турбины при увеличении присосов охлаждающей воды в конденсаторе ТГ, эксплуатация дополнительно подключенных ФСД должна осуществляться в Н-ОН форме. Величина удельной электропроводимости пробы конденсата на выходе ФСД не должна превышать 0,2 мкСм/см, концентрация ионов натрия 1,5 мкг/дм³.



26. Система основного конденсата. Схемы слива конденсата греющего пара, их сравнение между собой.



араметры расчетные:

- без скобок для блока 1
- со скобками < > для блока 3.

Условные обозначения:

- трубопроводы основного конденсата
- - - - резервные линии КГП
-  регулирующий клапан
-  трубопроводы дренажа и воздухоудаления

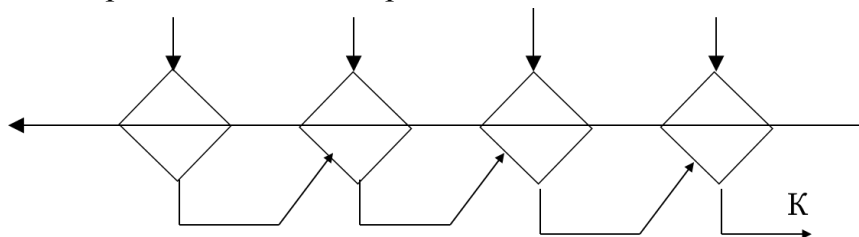
Состав оборудования:

N	маркировка	наименование	тип	шт.	характеристика
1	SD11+13	Конденсатор турбины	К-33160	3	$P_k=0.04 \text{ кгс/см}^2$
2	Rm 11+13 D01	Насос конденсатный 1 ст.	КСВ1500-120	3	$Q=1850 \text{ м}^3/\text{ч}$ $H=95 \text{ мм.в.ст.}$
3	SD21+23	Эжектор основной	ЭП03-150	3	$Q=2030 \text{ кг/ч}$
4	SD40W01	Эжектор уплотнений	ЭУ-15м	1	
5	RM41+43D01	Насос конденсатный 2 ст.	ЦН1500-240	3	$Q=1850 \text{ м}^3/\text{ч}$ $H=170 \text{ мм.в.ст.}$
6		Фильтр электромагнитный		1	
7		Фильтр смешанного действ.		5	
8	RH71+73W01	ПНД N1	ПН-1200-25-6-I А	3	$F=1200 \text{ м}^2$
9	RN 60 W01	ОД N2	ОДП-500-25-16-II А	1	$F=500 \text{ м}^2$
10	RH 61+62 W01	ПНД N2	ПН-1400-25-6-II А	2	$F=1400 \text{ м}^2$
11	RH 50 W01	ПНД N3	ПН 3000-25-16-III А	1	$F=3000 \text{ м}^2$
12	RH 40 W01	ПНД N4	ПН 3000-25-16-IV А	1	$F=3000 \text{ м}^2$
13	RN 40 W01	ОД N4	ОДП 500-25-16-IVA	1	$F=500 \text{ м}^2$
14	RN 72+74 D01	Насос сливной ПНД N1	КСВ-360-160	3	$Q=360 \text{ м}^3/\text{ч}$ $H=160 \text{ мм.в.ст.}$
15	RN 52+54 D01	Насос сливной ПНД N3	КСВ-630-125	3	$Q=630 \text{ м}^3/\text{ч}$ $H=125 \text{ мм.в.ст.}$
16	RL 21+22 B01	Деаэратор			7 ата

Линии связи:

- a) впрыск на ЦНД, ПСУ
- b) на уплотнения ТПН
- c) на впрыск РОУ
- d) в сифон ПНД-1
- e) на охлаждение РБ-9 \equiv РДТ (9 ата) SH10B01
- f) от уплотнений ТПН
- g) от СК
- h) очищенная продувка ПГ

По способу использования конденсата горячего пара схемы с поверхностными подогревателями делятся на: - схемы с каскадным сливом дренажа; - схемы с дренажными насосами; - комбинированные схемы.



Каскадная схема слива дренажа

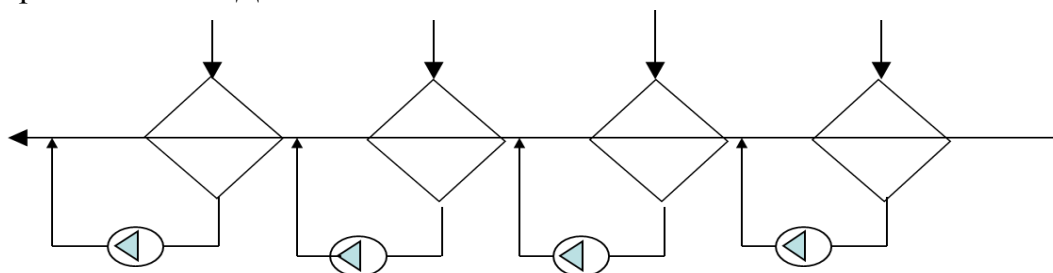
В схемах с каскадным сливом дренажа (рис. 10.4) конденсат греющего пара из вышестоящего подогревателя самотёком из-за разности давлений поступает в нижестоящий, где наряду с паром отбора отдаёт своё тепло основному конденсату. Далее охлажденный конденсат поступают в ПНД с ещё меньшим давлением и т.д. Из самого первого по потоку основного конденсата ПНД сумма расходов дренажей всех ПНД поступает самотеком в конденсатор.

Преимущества такой схемы:

- 1) простота (отсутствуют дренажные насосы и их обвязка);
- 2) 100% конденсата проходят через БОУ, что очень важно с точки зрения водно-химического режима.

Недостатки схемы каскадного слива:

- 1) дополнительный "горячий" поток в конденсатор (возрастают потери тепла);
- 2) из-за уменьшения расходов пара в отборы перегружаются лопатки последней ступени турбины;
- 3) горячий конденсат пара выше расположенного отбора вытесняет пар нижестоящего отбора с более низким потенциалом, в результате чего снижается термический КПД.

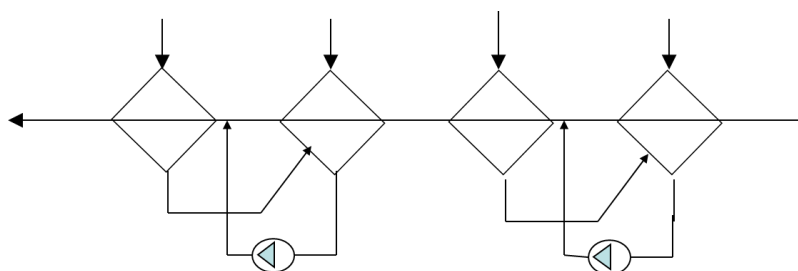


Съема слива дренажей с дренажными насосами

В схемах с дренажными насосами (рис. 10.5) дренаж каждого подогревателя закачивается дренажным насосом в конденсатный тракт за данный подогреватель. Преимущество - выше термодинамическая эффективность (вытесняется греющий пар выше расположенного отбора с более высоким потенциалом).

Недостаток - требуется большое количество дренажных насосов с их обвязкой.

Комбинированная схема слива дренажа (рис. 10.6) с одним - двумя дренажными насосами является компромиссом между схемой с каскадным сливом и схемой с дренажными насосами. Подогреватели связаны попарно каскадным сливом, а конденсат греющего пара (КГП) каждой пары подогревателей закачивается в тракт основного конденсата своим дренажным насосом.



Комбинированная схема

27. Деаэратор, назначение, типы, принцип термической деаэрации. Схема обвязки деаэрата.

Деаэрационно-питательная установка (ДПУ) включает в себя деаэрационную установку и систему питательной воды, и по своему назначению и влиянию на надежность работы реактора она может быть отнесена к основному теплоэнергетическому оборудованию блока. Основное назначение деаэрационной установки состоит в термической обработке турбинного конденсата с целью удаления из него коррозионно-активных газов (кислорода, углекислого газа) и в создании рабочего резерва питательной воды в аккумуляторных баках деаэраторов. Кроме того в тепловой схеме турбоустановки деаэраторы выполняют роль смешивающего подогревателя, а также являются местом сбора высокопотенциальных дренажей и источником рабочего пара основных эжекторов. Поступление газовых примесей в основной конденсат обусловлено присосами воздуха в вакуумную часть турбоустановки, радиолизом воды в реакторе (для одноконтурных АЭС) и вводом подпиточной воды в конденсаторы турбины.

Способы удаления:

1. Химическая деаэрация
2. Термическая деаэрация

При химической деаэрации происходит химическое связывание газовых примесей за счет подачи хим. реагентов в воду. Недостаток такого метода – избирательность. Термическая деаэрация основана на зависимости растворимости любого газа в воде от парциального давления данного газа над водой (по закону Генри, чем меньше парциальное давление газа, тем меньше его растворимость).

Условию минимального парциального давления кислорода, как и других растворенных в воде газов, отвечает состояние кипения воды, когда полное давление над водой практически равно парциальному давлению водяных паров. Следует иметь в виду, что нагрев воды до температуры кипения еще не обеспечивает полного удаления газов. Процесс термической деаэрации необходимо организовать таким образом, чтобы вода непрерывно контактировала с новыми порциями пара и обеспечивался отвод выпара.

В реальных условиях из-за ограниченности поверхности соприкосновения фаз вода-пар добиться полного удаления газов невозможно и питательная вода покидает деаэратор с определенным содержанием в ней газовых примесей.

Содержание газов в воде регламентируется.

Типы деаэраторов

Деаэраторы могут быть смешивающие, поверхностные или деаэраторы перегретой воды.

Основными являются смешивающие, где происходит смешение греющего пара и конденсата.

Поверхностные деаэраторы – это теплообменные аппараты, где удаление газов из основного конденсата проводится за счет передачи тепла через стенку.

В деаэраторах перегретой воды деаэрация происходит в 2 этапа: получение тепла в каком-либо теплообменнике и затем сброс воды на более низкое давление. Деаэраторы делятся на *вакуумные, атмосферные и повышенного давления*. Последние являются основными на АЭС. Терминология отражает рабочее давление деаэратора.

В зависимости от способа организации контакта пара и воды деаэраторы делятся на следующие основные типы:

1. струйно-капельные деаэраторы;
2. пленочные деаэраторы;
3. барботажные деаэраторы;
4. комбинированные деаэраторы.

Деаэратор состоит из деаэраторного бака и деаэрационной колонки. На одном баке может быть установлена одна или две деаэрационных колонки.

Струйно-капельные.

Основной конденсат поступает через патрубок в кольцевую камеру, откуда через порог переливается на первую тарелку.

Потоки "горячих" дренажей (от ПВД и др. узлов) подаются через дополнительные патрубки и разбрызгиваются над промежуточными тарелками через перфорированную трубу.

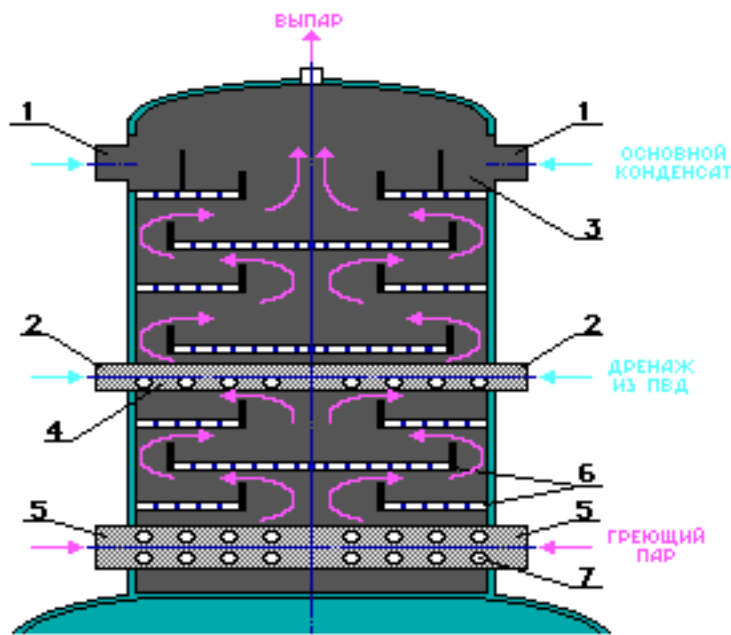
Навстречу струям воды, движется пар, который подводится к нижней части колонки. Характер обтекания паром струй - продольно-поперечный.

Расположение нескольких тарелок по высоте колонки увеличивает общее время пребывания воды в ней и обеспечивает прогрев ее до температуры насыщения.

Выпар отводится через патрубок, расположенный в верхней части колонки.

Недостатки

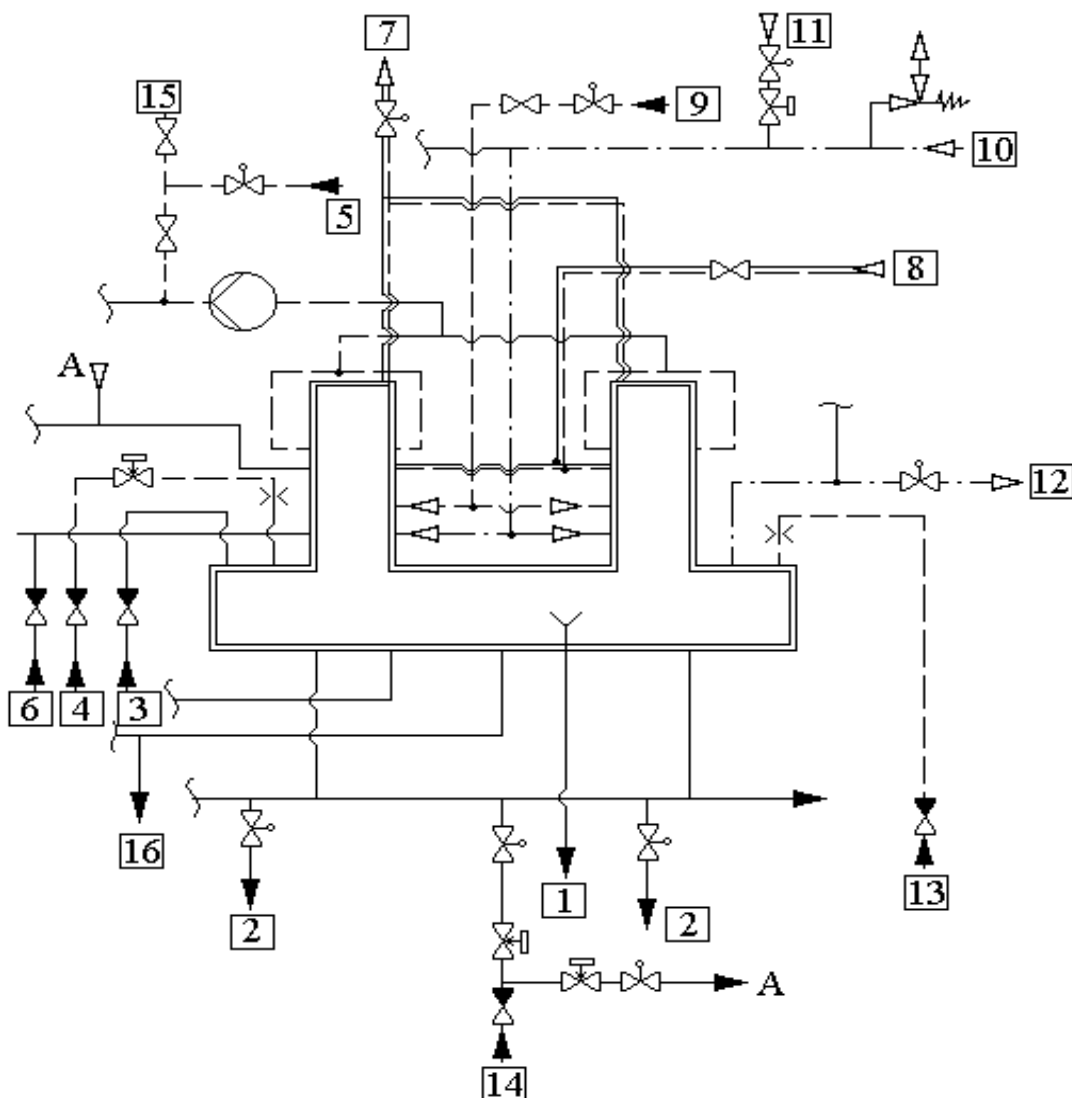
- большая высота деаэрационных колонок, превышающая 4 м;
- повышенная металлоемкость и сложность внутренних устройств;
- небольшой номинальный нагрев воды (10-15°C);
- эффективность деаэратора резко понижается как при небольших перегрузках (на 10-15%), так и при нагрузках менее 40%;
- Линии связи:
- [1] - в сбросной канал; сливной трубопровод охлаждающей воды ТПН. [2] - на всас ТПН и ВПЭН [3] - линия рециркуляции ТПН [4] - конденсат греющего пара с ПВД-6 и с КС-1 ст. [5] - от ТК (технологический конденсатор) [6] - линия рециркуляции ВПЭН [7] - выпар к эжекторам турбины (ОЭ) и эжекторам ТПН [8] - отсос воздушной смеси из ПВД-5 [9] - слив из уплотнений ТПН [10] - пар от ПРК (пуска - резервная котельная) или от расширителя продувки ПГ [11] - пар с коллектора СН [12] - пар на уплотнения ТУ [13] - конденсат греющего пара с КС- II ст. [14] - заполнение [15] - основной конденсат [16] - дренаж



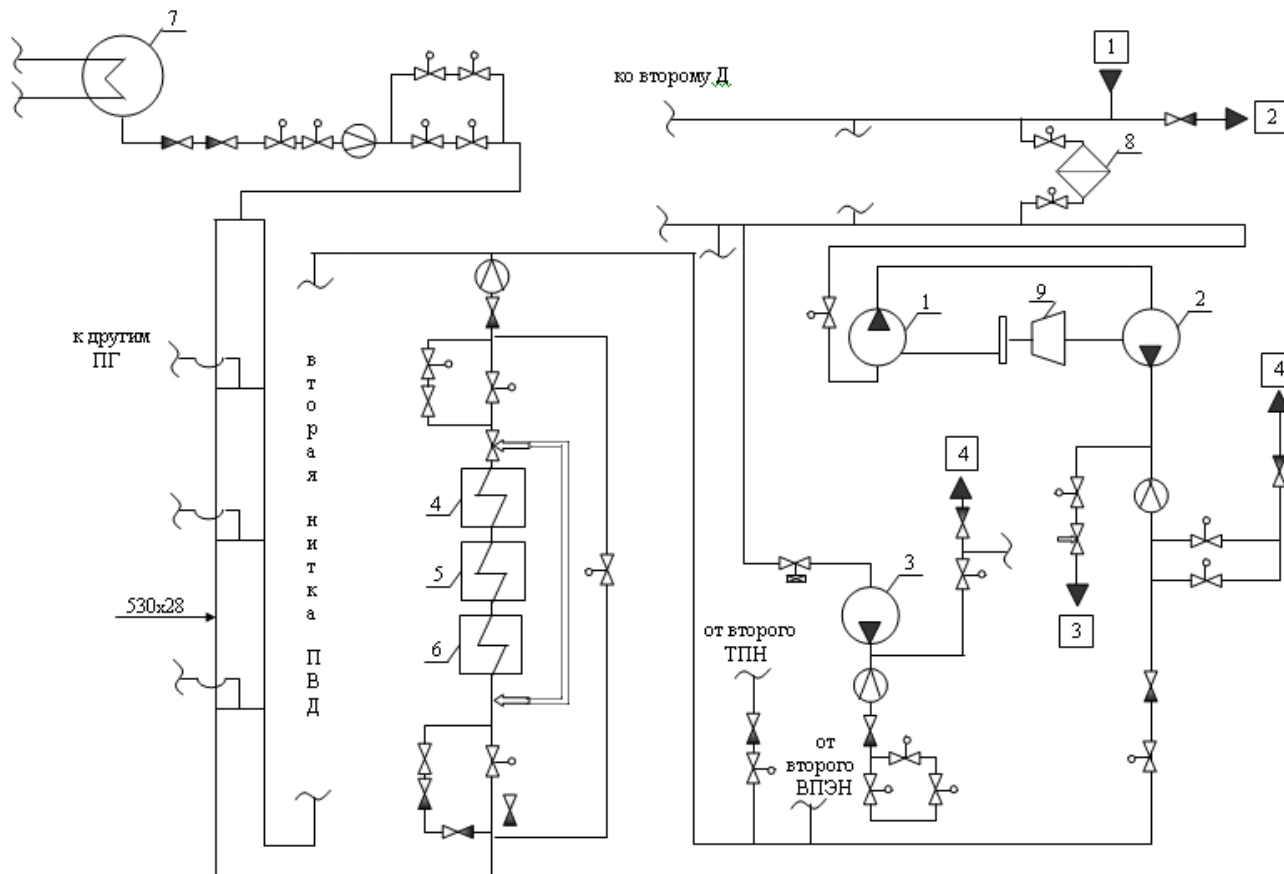
- 1 – патрубок подвода
основного конденсата;
- 2 – патрубок подвода
дренажей
- 3 – кольцевая камера
- 4 – перфорированная
труба
- 5 – подвод греющего пара

Принципиальное устройство деаэрационной колонки струйно-капельного типа

Схема обвязки



28. Система питательной воды



Назначение питательной установки:

Система питательной воды предназначена для подачи питательной воды в парогенераторы (ПГ) из деаэраторов повышенного давления (Д-7ата). Система работает в режиме планового или аварийного расхолаживания блока, служит для предварительного прогрева, деаэрации питательной воды и заполнения 2 контура и для отвода остаточного тепловыделения реактора при останове или при поддержании блока в горячем резерве.

Состав системы:

- 1 – предвключенный (бустерный) насос (ПД-3750-200), 2шт, $G=3815 \text{ м}^3/\text{г}$, $H=214 \text{ м.в.ст}$
- 2 - питательный насос с турбоприводом (ПТ-3750-75), 2шт, $G=3760 \text{ м}^3/\text{г}$, $H=808 \text{ м.в.ст}$
- 3 - вспомогательный питательный электронасос (ПЭ-150-85), 2шт, $G=150 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=910 \text{ м.в.ст}$
- 4 - ПВД, 2шт, (ПВ-2500-97-10А) $F=2500 \text{ м}^2$
- 5 - ПВД, 2шт, (ПВ-2500-97-18А) $F=2500 \text{ м}^2$
- 6 - ПВД, 2шт, (ПВ-2500-97-28А) $F=2500 \text{ м}^2$
- 7 - парогенератор (ПГВ-1000М), 4шт, $P=64 \text{ кгс/см}^2$, $G=1469 \text{ м}^3/\text{ч}$
- 8 - фильтр, 4шт, $\Delta P=1,5 \text{ м.в.ст}$, $G=2000 \text{ м}^3/\text{ч}$
- 9 – приводная турбина ПН, 2шт, (ОК-12А), $N=12 \text{ МВт}$

Линии связи: [1] – от Д [2] – на КОСт [3] – в расширитель дренажей (РД) машзала

[4] –линии рециркуляции в Д

Система питательной воды состоит из:

- - двух деаэраторов повышенного давления (Д-7ата) с деаэрационными колонками ДП - 1600;
- - четырех фильтров по питательной воде (3 находятся в работе постоянно, 1 - в резерве);
- - двух главных питательных насосов (ТПН) и двух вспомогательных питательных электронасосов (ВПЭН), системы регенерации высокого давления (две нитки ПВД);
- - узла питания, состоящего из регуляторов уровня парогенераторов (РУПГ) с основными линиями подачи питательной воды в ПГ и байпасными линиями подачи питательной воды в ПГ с отсекающими арматурами на этих линиях;
- трубопроводов и арматуры.

ПВД:

- Регенеративные подогреватели, которые расположены после питательного насоса, развивающего достаточно высокий напор (для АЭС \approx 80-90ата), называется подогревателями высокого давления (ПВД).
- Задача системы состоит в непрерывном восполнении убыли воды в парообразующей установке (ПГ), связанной прежде всего с расходом пара на турбину, а также с расходом пара прочим потребителям через коллектор собственных нужд (КСН), утечками во втором контуре (течи, парения) и т.д.

Узел питания ПГ:

- Узел питания парогенераторов состоит из:
- - задвижек на основных линиях подачи питательной воды в ПГ Ду 400
- - задвижек на байпасных линиях подачи питательной воды в ПГ Ду100.
- -регуляторов на основных линиях подачи питательной воды в ПГ Ду400
- -регуляторов на байпасных линиях подачи питательной воды в ПГ Ду100

Элементы узла питания ПГ:

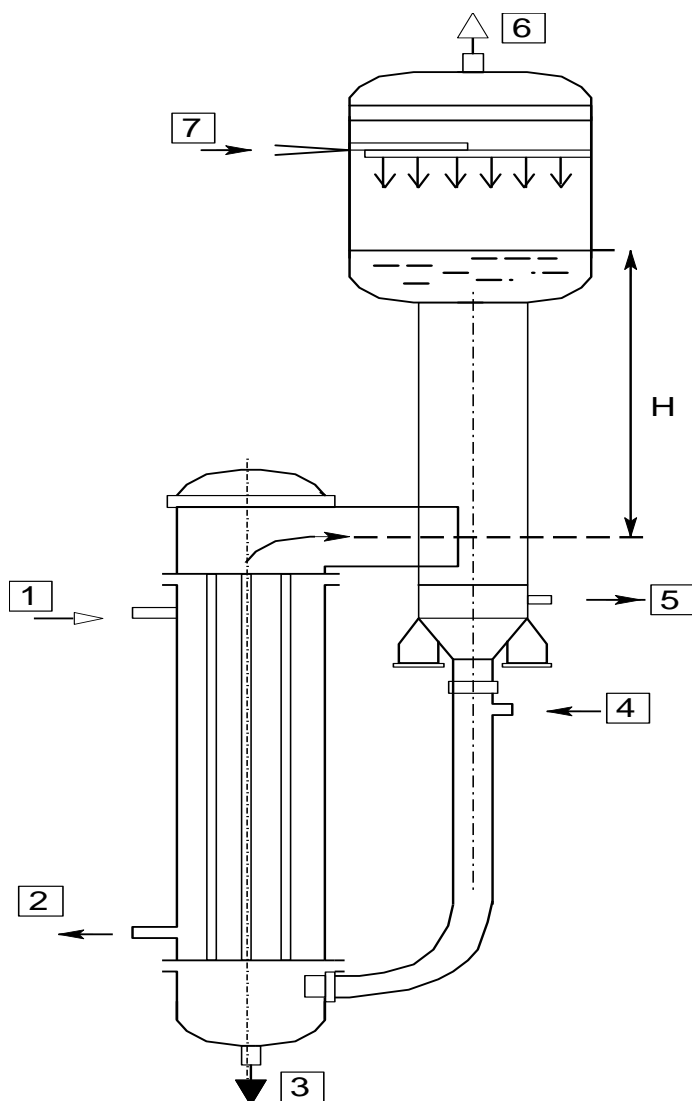
- Основные и байпасные задвижки на узле питания парогенераторов предназначены для установки в качестве запорной арматуры на трубопроводах питательной воды
- Регуляторы основные и байпасные на узле питания парогенераторов применяются для регулирования расходов питательной воды при пусковых операциях, при работе энергоблока на мощности, при остановках энергоблока.

29. Испарители в схемах АЭС.

В схеме предназначены для:

- Испарители в схемах ЯЭУ предназначены для:
 - - подготовки добавочной воды с целью восполнения потерь;
 - - получения относительно чистого (нерадиоактивного) пара для уплотнения турбины и на эжекторы (для одноконтурных блоков);
 - - переработки высокоминерализованной воды (выпарные аппараты).

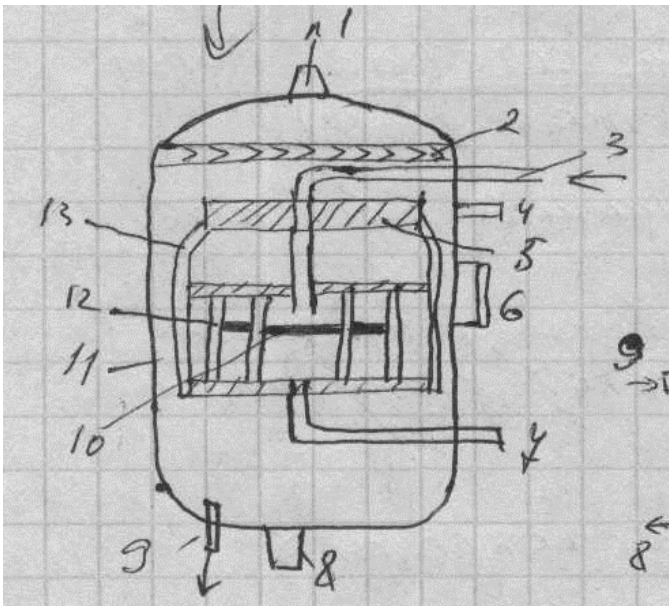
• Испаритель высокоминерализованных вод



Линии связи:

[1] - греющий пар
[2] - конденсат греющего пара
[3] - дренаж
[4] - питательная вода
[5] - непрерывная продувка
[6] - вторичный пар
[7] - вода паропромывки

- Высокоминерализованная вода – вода с большим содержанием примесей.
- При ее переработке нельзя допускать кипения на поверхности нагрева, чтобы избежать отложения примесей.
- В корпусе нагревателя происходит нагрев воды до температуры ниже температуры кипения при давлении в корпусе нагревателя.
- В корпусе испарителя происходит вскипание в большом объеме (без осаждения примесей на поверхности теплообмена).
- Для облегчения вскипания в корпус испарителя вводится затравка в виде мелкодисперсной взвеси (измельченный мел).
- Продувка необходима для вывода примесей из испарителя.

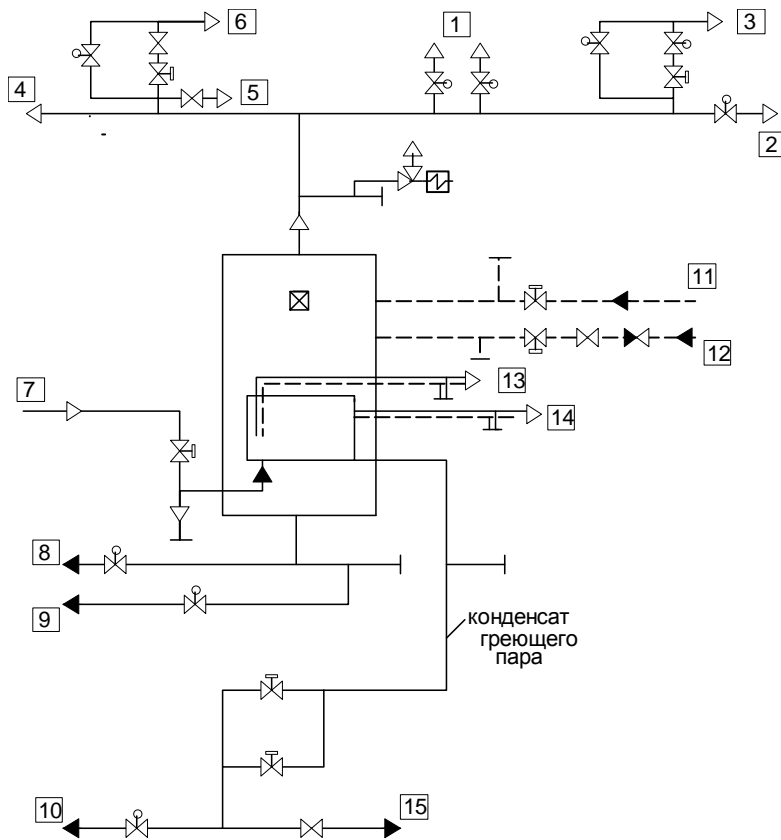


Испарительная установка для получения пара на уплотнение

- 1-отвод вторичного пара
- 2- сепаратор
- 3- подвод греющего пара
- 4-подвод питательной воды
- 5-промывочный лист
- 6-уровнеметр
- 7-отвод конденсата греющего пара
- 8-дренажный патрубок
- 9-непрерывная продувка
- 10-направляющая перегородка

- 11-корпус
- 12-трубки теплообменной поверхности
- 13-опускные трубки питательной воды.

Испаритель РБМК-1000 (2шт. параллельно).



Линии связи:

- [1] - на ЭУ (рабочий пар)
- [2] - на ЭП (рабочий пар)
- [3] - на уплотн. ЦНД - 1, 2
- [4] - на уплотн. ЦНД - 3, 4
- [5] - на уплотн. штоков СРК
- [6] - на уплотн. ЦВД
- [7] - пар от БРУ – Д, или 1, 2 отборов
- [8] - в КНД – 2 (пусковая)
- [9] - в ПНД - 4
- [10] - в ПНД - 5
- [11] - от 2 КН (КН 2-го подъема)
- [12] - питательная вода от Д
- [13] - в КНД - 1
- [14] - в КНД - 2

[15] - в охладитель канала пара

30. Вентиляционные установки. Основы проектирования вентиляции.

Системы вентиляции можно разделить на общеобменную и специальную технологическую. Задача общеобменной вентиляции – создание нормальных санитарно-гигиенических условий работы персонала. Задачи специальной технологической вентиляции

– удаление радиоактивных газов и аэрозолей из рабочих помещений АЭС и обеспечение радиационной безопасности, - исключение недопустимых выбросов ГРО в атмосферу.

Требования к спецвентиляции: Для очистки воздуха от радионуклидов применяют вентсистемы двух типов: рециркуляционную и приточно-вытяжную (прямоточную).

В рециркуляционных системах очищенный на фильтрах воздух вновь поступает в помещения. **Отсюда требования к фильтрам:** - сохранять рабочие свойства при повышенных температурах (до 100⁰С) - сохранять рабочие свойства при повышенной влажности (до 100%);

Коэффициент очистки воздуха в рециркуляционных системах невелик и составляет 20-30.

В прямоточных вентиляционных системах очищенный воздух выбрасывается в вентиляционную трубу, поэтому коэффициент очистки воздуха должен быть выше, чтобы обеспечить требования безопасности.

Основные правила проектирования спецвентиляции:

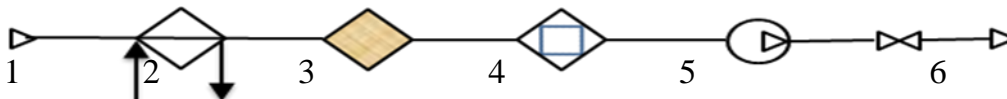
1. Спецвентиляция проектируется так, чтобы обеспечить разрежение в обслуживаемых помещениях; **2.** К одной и той же вентсистеме допустимо параллельное подключение разных помещений при равном уровне их радиоактивности; **3.** Чтобы уменьшить производительность вентиляционных установок, помещения с разными уровнями активности могут подключаться последовательно. При этом направление движения воздуха должно быть организовано так, чтобы воздух сначала поступал в более «чистые» помещения, а из них поступал в более «грязные», потом отсасывался вентиляционными агрегатами; **4.** Поступление приточного воздуха в помещение и удаление загрязненного воздуха в вытяжную систему должно быть организовано так, чтобы надежно вентилировалось всё помещение. Особенно важно это требование для помещений, где скапливается водород; **5.** Производительность вентиляционных установок должна обеспечить не менее, чем однократный обмен воздуха в час в вентилируемых помещениях, а в открытых дверных проемах помещений при ремонте скорость воздуха должна быть не менее 1 м/с; **6.** Вентиляционные агрегаты спецвентиляции имеют 100% резервирование с автоматическим включением резерва. **7.** Запрещается заводить в спецвентиляцию сдувки технологического оборудования. Они после очистки отдельными трубопроводами подаются непосредственно в вентиляционную трубу.

Особенности вентиляции гермообъемов: Вентиляция должна обеспечивать: - нормальные санитарно-гигиенические условия работы персонала, включая

непревышение допустимых концентраций радионуклидов; - создание разрежения в герметичных необслуживаемых помещениях для предотвращения перетока загрязненного воздуха в более «чистые» помещения; - поддержание допустимой температуры во всех технологических помещениях не выше 40⁰С в периодически обслуживаемых помещениях и не выше 60⁰С в необслуживаемых помещениях.

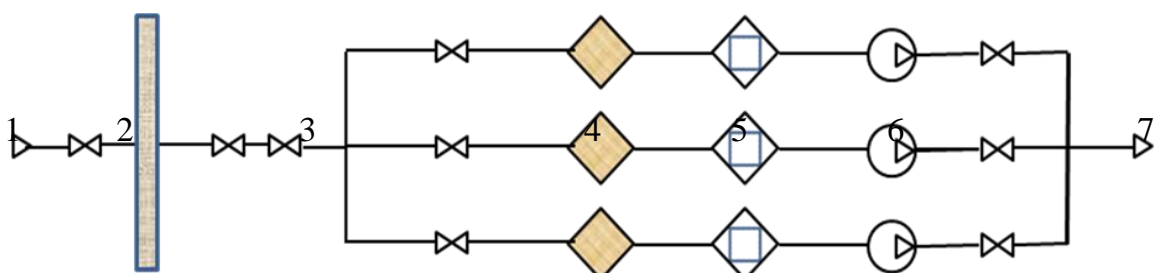
При работе энергоблока имеют место тепловые потери в ГО. По оценкам эти тепловые потери могут достигать до 4 МВт. Если это тепло не отводить, то через 3 суток температура в ГО повысится до 150⁰С, а давление возрастет более чем на 0.3 ата, т.е. реактор должен быть остановлен. Для охлаждения ГО проектом предусмотрено несколько рециркуляционных вентсистем. При работе реактора все они должны находиться в действии. Рециркуляционная вентиляция выполнена по замкнутой схеме с отводом тепла к воде в воздухоохладителях. Эти системы должны работать и в аварийных режимах. Поэтому к ним предъявляются повышенные требования. Вентиляционные агрегаты выполняются в сейсмостойком исполнении с эксплуатацией при температуре до 75⁰С и влажности до 100% с повышенным требованием по надежности (наработка на отказ не менее 10 000 часов). При потере собственных нужд они запитаны от дизель-генераторов. Кроме четырех рециркуляционных вентсистем, служащих для отвода тепла, предусмотрена также система для очистки воздуха боксов ГЦН, ПГ и центрального зала от радиоактивных загрязнений.

Система снабжена аэрозольными и йодными фильтрами. Очистка воздуха от радиоактивных аэрозолей и йода проводится фильтрами на основе активированного угля и ткани Петрянова. Применение рециркуляционных систем для отвода тепла и очистки воздуха в помещениях ГО позволяет существенно снизить количество радиоактивных выбросов в окружающую среду



Упрощенная схема системы очистки воздуха от радиоактивных загрязнений
1- забор воздуха, 2 – калорифер, 3 – аэрозольный фильтр, 4 – йодный фильтр, 5 – вентилятор, 6 – выброс воздуха

Система вытяжной вентиляции ГО: Для создания и поддержания необходимого разрежения в ГО во время работы энергоблока, обеспечения минимального воздухообмена и предотвращения скопления водорода в верхней части ГО предусмотрена вытяжная система вентиляции. Коэффициент очистки воздуха перед выбросом составляет 200-250.



Упрощенная схема системы вытяжной вентиляции

1 – забор воздуха из ГО, 2 – защитная оболочка, 3 – быстродействующий отсечной клапан, 4 – аэрозольный фильтр, 5 – йодный фильтр, 6 – вентилятор, 7 – выброс воздуха в вентиляционную трубу. Воздуховоды вентсистемы пересекают стены гермооболочки. При аварии для герметизации оболочки на воздуховодах установлены отсечные клапаны (3).

При аварии с разуплотнением первого контура закрытие герметизирующих клапанов происходит автоматически по сигналу роста давления под гермооболочкой. Помимо вентсистем нормальной эксплуатации для создания нормальных условий в ГО в режиме перегрузки и производства ремонтных работ, а также для очистки воздуха в возможный послеаварийный период предусмотрены специальные ремонтно-аварийные вытяжная и приточная системы.

Обращение с газообразными радиоактивными отходами на АЭС.

При работе АЭС радиоактивные газы и аэрозоли возникают как результат технологического процесса производства электроэнергии и должны удаляться из помещений и оборудования непрерывно или периодически. По источникам образования радиоактивные газоаэрозольные выбросы можно разделить на две группы: технологические сдувки и вентиляция производственных помещений, в которых расположено оборудование с радиоактивными средами.

Технологические сдувки – большая радиоактивность, но относительно малый расход сдуваемого воздуха или газа. Вентиляция – малая активность воздуха, но очень большой его расход. Различные объемы и уровни загрязненности групп ГРО требуют разного подхода к их очистке. В настоящее время для проектируемых АЭС допустимый уровень радиационного воздействия на население от газоаэрозольных выбросов уменьшен в 4 раза (с 200 до 50 мкЗВ/год). Технологический процесс на АЭС требует постоянного удаления из контура теплоносителя и технологического оборудования газов (не только радиоактивных). Эти газы и образуют технологические сдувки. На АЭС с ВВЭР расход этих газов достигает 70 куб.м/час. Активность этих газов велика, поэтому перед выбросом в атмосферу они должны подвергаться очистке.

Аэрозоли образуются в результате неорганизованных протечек в помещения станции, в которых расположено оборудование радиоактивных контуров. Наибольший вклад в дозу облучения населения вносят инертные радиоактивные газы (ИРГ) – аргон, криптон, ксенон и радионуклиды ^{131}I йода, ^{60}Co кобальта, ^{134}Cs цезия, ^{137}Cs цезия.

Среди нуклидов, попадающих в помещения, из-за биологической значимости выделяют йод, который может находиться в различных физико-химических и агрегатных состояниях.

Способы снижения активности ГРО: Основные классы ГРО: - инертные радиоактивные газы (ИРГ) - радионуклиды йода - аэрозоли.

Снижение активности:

ИРГ – выдержка некоторое время для распада короткоживущих нуклидов

Йод - улавливание радионуклидов активированным углем, а также выведение его путем химических реакций с фильтрующими материалами

Аэрозоли – очистка на аэрозольных (тонковолокнистых) фильтрах

Снижение активности ИРГ:

От ИРГ очищают в первую очередь технологические сдувки. В воздухе вентиляционных систем ИРГ мало.

Для уменьшения активности ИРГ используют: - проточные камеры выдержки (герметичный объем, внутри которого для газового потока организован лабиринт);

- ресиверы (газгольдеры) для выдержки газов (емкости для хранения и выдержки высокоактивных газов); - радиохроматография или газовая хроматография (процесс разделения газовых смесей при пропускании их через твердое активное вещество с развитой поверхностью. При прохождении газа через колонну с сорбентом газ адсорбируется, т.е. физически «прилипает» на поверхности сорбента. Кроме процесса адсорбции происходит и процесс десорбции, т.е. отрыв молекул газа и перемещение по колонне. В итоге время прохождения газа через колонну довольно велико. В качестве сорбента выступает активированный уголь)

Очистка от йода: От йода очищается как газ технологических сдувок, так и вентиляционный воздух. Для очистки от йода в аэрозольной форме используются аэрозольные фильтры, молекулярный йод удаляется на угольных фильтрах, йод в составе органических соединений – на угольных фильтрах со специальной обработкой веществами, которые могут вступать в химическое взаимодействие с йодом, например, AgNO_3 . Для АЭС характерны аэрозольная и молекулярная формы йода

Очистка от аэрозолей: Очистке от аэрозолей подвергается прежде всего вентиляционный воздух технологических помещений, но при необходимости и технологические сдувки. Для аэрозольных фильтров используются тонковолокнистые ткани из волокон перхлорвинила (ФПП) и ацетилцеллюлозы (ФПА). Очистка воздуха аэрозольными фильтрами происходит в результате осаждения аэрозолей на волокнах, электростатического осаждения и прилипания частиц в поверхностном слое фильтра.

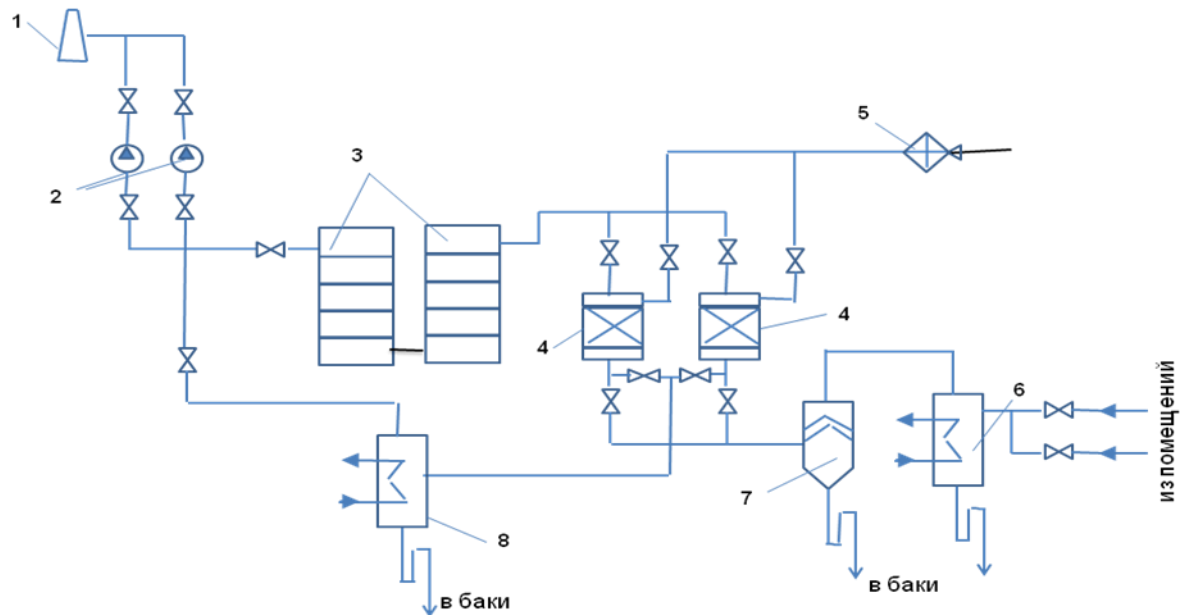
Степень очистки достигает 99,99%

Очистка газов: осуществляется на двух ступенях. Сначала воздух охлаждается до $20-30^{\circ}\text{C}$ в теплообменнике (6) и происходит грубая очистка на фильтрах (7).

Фильтрующий элемент в (7) – стекловолокно. Здесь улавливаются аэрозоли и мелкие капельки влаги. Поэтому фильтр оборудован дренажем. На второй ступени для очистки воздуха от ИРГ используются фильтры-адсорберы (3) с активированным углем. Здесь также сорбируется и радиоактивный йод. Хуже сорбируется йод, находящийся в виде соединений. Перед подачей воздуха на фильтры-адсорберы его осушают от влаги, т.к. при увлажнении активированного угля ухудшаются его сорбционные свойства. Для поглощения влаги из воздуха используются цеолитовые фильтры (4). Желательно чтобы цеолит поглощал влагу

и не поглощал ИРГ. По мере поглощения влаги из воздуха фильтр насыщается и его эффективность падает. При этом включается резервный фильтр, а рабочий ставится на регенерацию. Регенерация цеолитового фильтра осуществляется продувкой его воздухом с температурой 400-450⁰С. После регенерации воздух охлаждается и выбрасывается в вентиляционную трубу.

Канал спецгазоочистки



1- Вентиляционная труба, 2 – газодувка, 3- фильтр-адсорбер, 4- цеолитовый фильтр, 5- нагреватель контура регенерации, 6- теплообменники, 7- самоочищающийся фильтр, 8- теплообменник контура регенерации