

2

факультет

Эксплуатация  
теплоэнергетического  
оборудования

(Тепловые схемы АЭС)

# ***Надёжность теплоотвода от активной зоны***

Особенности ядерного топлива, используемого на АЭС, отражаются и в структуре РТС электростанции.

***Выделение тепла*** в активной зоне реактора продолжается ***и после прекращения*** управляемой ***цепной реакции*** деления ядер топлива.

***Тепловая схема АЭС*** должна предусматривать возможность ***надёжного и достаточного теплоотвода от активной зоны реактора во всех режимах работы***, включая переходные режимы и аварийные ситуации.

# ***Отличия тепловых схем***

РТС вне реакторного контура АЭС

*(второго контура или контура рабочего тела на двухконтурной АЭС)*

состоит из тех же основных систем, что и РТС ТЭС с некоторыми отличиями.

Отличия заключаются прежде всего в установке дополнительного паросбросного и пароприемного оборудования и трубопроводов, ***предназначенных для расхолаживания реактора*** и входящих в состав пусковых схем АЭС.

# ***Одноконтурные АЭС***

***На одноконтурной АЭС, кроме того, имеются дополнительные системы, связанные с:***

- уплотнениями турбины,
- отсосом и
- переработкой неконденсирующихся радиоактивных и радиолитических газов из регенеративных подогревателей и других емкостей.

# ***Основными составляющими РТС реакторного контура АЭС являются системы:***

- циркуляции теплоносителя;
- подачи и вывода раствора борной кислоты, используемой для регулирования мощности реактора;
- охлаждения стержней управления и защиты реактора;
- продувки-подпитки реактора;
- сбора и переработки организованных протечек, трапных вод и других потоков;
- компенсации объема теплоносителя; аварийного охлаждения реактора;
- сбора и переработки газовых сдувок;
- технического водоснабжения;
- дезактивации и переработки радиоактивных отходов;
- баков «грязного» и «чистого» конденсата и др.

# ***Проблемы большой мощности***

На АЭС с ***водным теплоносителем*** в настоящее время ***число ПГ превышает число турбин.***

Это объясняется тем, что ***концентрация большой мощности*** в одном парогенерирующем агрегате ограниченных размеров при конвективном теплообмене ***представляет большие, часто неразрешимые трудности.***

# **Соотношение ПГ и турбина**

На АЭС с реактором ВВЭР-440 *три ПГ работают на одну турбину.*

*Схема главных паропроводов здесь представляет собой секционную схему с одной переключательной магистралью 4 (на рис. ниже).*

При закрытии запорных задвижек 3 ПГ подключаются к турбине по блочной схеме.

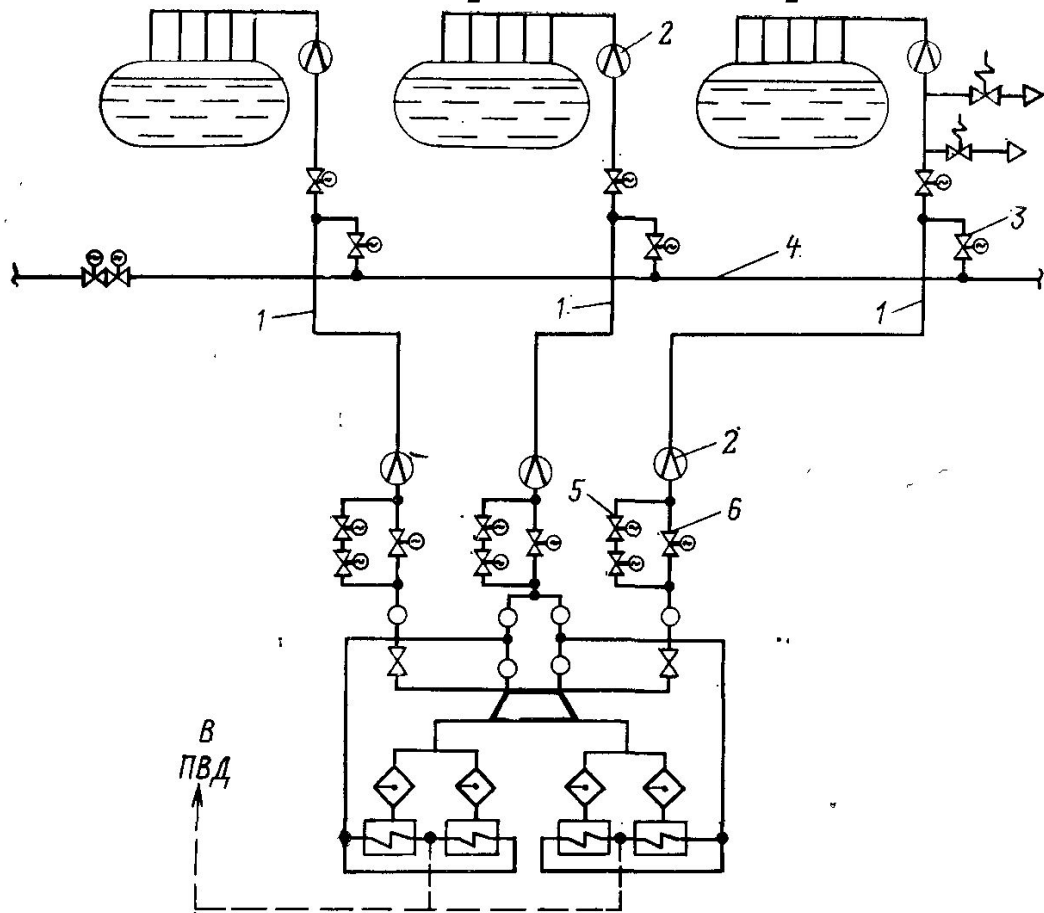
Переключательная магистраль общая для блока (на две турбины К-220-44), но имеет сдвоенные разделительные задвижки с электроприводом для надежного отключения системы паропроводов одной турбины.

*Переключательная магистраль позволяет подавать пар к турбине от любого из ПГ по любому паропроводу 1.*

При открытых разделительных задвижках переброс пара может осуществляться по всей переключательной магистрали.

Это позволяет обеспечить работу турбин при различных неполадках как в системе ПГ, так и в системе

# Секционная схема (с переключательной магистралью) главных паропроводов на АЭС с реактором ВВЭР-440



- 1 — паропровод  
острого пара;
- 2 — измерительное  
устройство;
- 3 — запорная  
задвижка;
- 4 —  
переключательная  
магистраль;
- 5 — дроссельный  
клапан;
- 6 — главная паровая



# ***ВВЭР-1000***

*При блочной схеме общая масса паропроводов и количество арматуры уменьшаются.*

На АЭС с реактором ***ВВЭР-1000*** два ПГ работают на одну турбину, составляя дубль-блок.

Здесь принята блочная схема главных паропроводов (на рис. ниже).

***Главные паропроводы снабжены минимальным количеством арматуры***, обеспечивающим, однако, возможность включения и отключения каждой магистрали автономно, что позволяет турбине ***работать и на одном ПГ***.

***Прогрев паропроводов*** перед пуском турбины ***выполняется постепенно***, для чего ***по длине паропровода расположены дренажи*** конденсата и воздушники.

# ***Подвод питательной воды***

Подвод питательной воды к ПГ и отвод пара от них к турбинам на АЭС, так же как на ТЭС, может проводиться по различным схемам:

- Блочной;
- Централизованной;
- секционной.

# ***Питательные трубопроводы***

Как и к питательной установке в целом, к питательным трубопроводам ***предъявляют повышенные требования по надежности.***

***При блочной структуре электростанции целесообразно*** применять обычную схему питания ПГ (на рис. ниже, а).

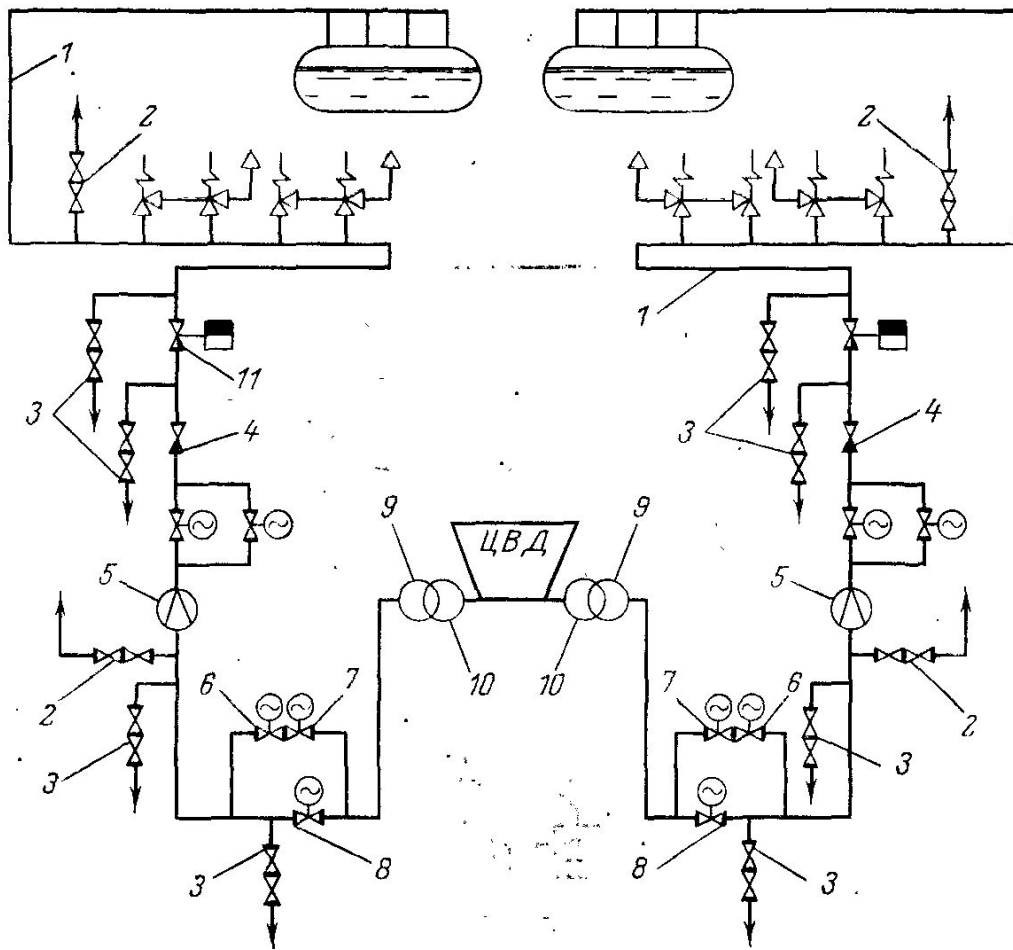
В этом случае выполняется ***1-а питательная магистраль*** 1 (без резерва), на которой размещается минимальное количество арматуры:

- запорная задвижка с электроприводом и
- обратный клапан 3.

***Общий расход*** питательной воды измеряется устройством 2.

***Расход питательной воды по корпусам ПГ*** регулируется клапанами 4.

# Блочная схема главных паропроводов на АЭС с реактором ВВЭР-1000



- 1 — паропровод острого пара;
- 2 — воздушники;
- 3 — дренажи;
- 4 — обратный клапан;
- 5 — измерительное устройство;
- 6 — дроссельный клапан;
- 7 — запорная задвижка;
- 8 — главная паровая задвижка;
- 9 — стопорный клапан;
- 10 — регулирующий клапан;
- 11 — регулирующий клапан с 1НДроприводом.

# ***Не блочный тип АЭС***

На электростанции ***неблочного типа***, когда ***число ПГ больше числа турбин***, которые они снабжают паром, ***применяются секционно-централизованные схемы питательных трубопроводов***.

***Каждый блок АЭС*** с этим реактором ***имеет 6-ть петель*** с ПГ в каждой петле и ***две турбины К-220-44***.

***Центральная раздающая*** питательная магистраль ***6-и секционирована*** (две секции), в каждой секции имеется ***по три ПГ***.

В части питательного тракта — ***от деаэрационного бака до питательных насосов***, от них до ПВД и от ПВД ***до центральной распределительной магистрали*** — ***схема*** питательных трубопроводов выполнена ***по блочному принципу***, что позволяет существенно:

- ***снизить число установленной арматуры;***

# **Надёжность узла питания**

## **ПГ**

Требование высокой надёжности узла питания ПГ как в нормальной эксплуатации, так и при аварийном расхолаживании реактора побуждает полностью **дублировать индивидуальные линии подвода питательной воды к ПГ** с соответствующей установленной на них арматурой:

- по две (в соответствии с правилами Госгортехнадзора) запорные задвижки с электроприводом на каждой линии, отключающие ПГ,
- обратные клапаны 3 и
- регулирующие клапаны 4.

# ***Надёжность подачи питательной воды***

***Применение секционно-централизованной схемы*** питания в данном случае ***повышает надёжность работы*** электростанции в целом.

Такая схема позволяет обеспечить ***питание всех ПГ и при сниженных нагрузках турбины***, что необходимо для обеспечения работы циркуляционных петель реактора.

***Прекращение подачи питательной воды*** в ПГ привело бы к:

- отключению циркуляционной петли 1-го контура;
- к напряженным режимам в процессе остановки оборудования петли.

# ***Схемы включения других устройств***

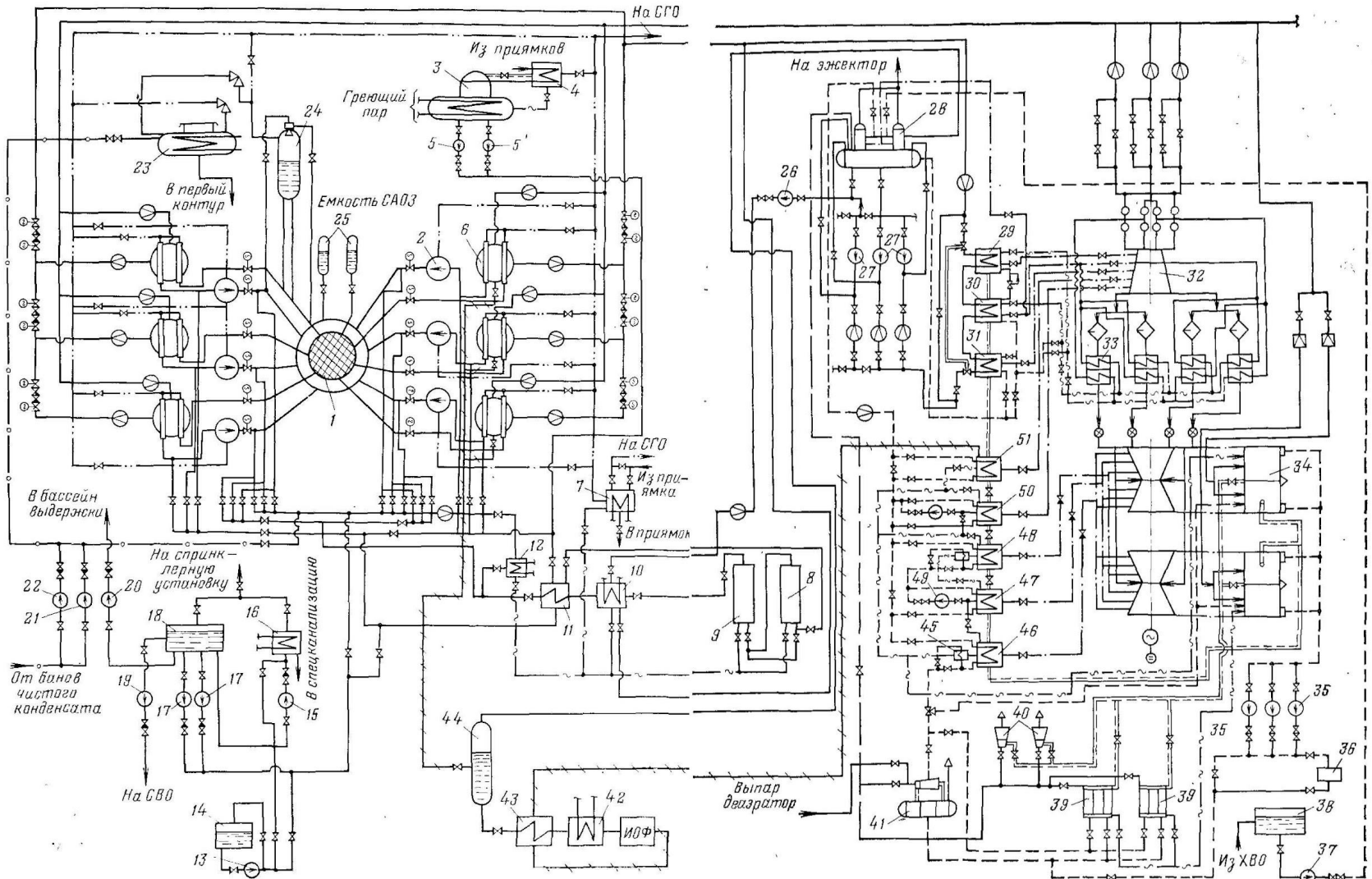
Схемы включения:

- регенеративных подогревателей,
- деаэратора,
- сетевой подогревательной установки,
- конденсатных и питательных насосов, а также некоторые другие элементы второго контура РТС АЭС

*не отличаются от описанных выше и не требуют дополнительных пояснений.*



# Тепловая схема АЭС с реактором ВВЭР-440



- 1—реактор;
- 2 — ГЦН;
- 3 — деаэратор подпитки первого контура;
- 4 — подогреватель под пяточной воды;
- 5 — под пяточные насосы;
- 6 — ПГ;
- 7 — охладитель протечек;
- 8 — аннонитный фильтр;
- 9 — катионитный фильтр;
- 10 — доохладитель (продувки);
- 11 — регенеративный теплообменник внутриконтурной очистки теплоносителя (продувки) первого контура;
- 12 — теплообменник разогрева и расхолаживания;
- 13 — насос-дозатор;
- 14 — бак раствора тиосульфата натрия;
- 15 — насос спринклерной установки;
- 16 — теплообменник охлаждения спринклерной воды;
- 17 — насос аварийного ввода бора;
- 18 — бак аварийного запаса бора;
- 19 — насос вывода бора на очистку;
- 20 — насос заполнения бассейна выдержки;
- 21 — насос заполнения первого контура;
- 22 — насос чистого конденсата;
- 23 — барботажный бак компенсатора объема;
- 24 — компенсатор объема;
- 25 — ёмкости аварийного охлаждения реактора;
- 26 — насос разогрева и расхолаживания;
- 27 — питательный насос;
- 28 — деаэратор; 29 — ПВД-9; 30—ПВД-8; 31 — ПВД-7; 32— ЦСД турбины; 33 — сепаратор-пароперегреватель; 34 — конденсатор; 35 — конденсатный насос; 36 — конденсатоочистка; 37 — насос дренажного бака; 38 — дренажный бак; 39 — эжектор основной; 40 — эжектор пусковой; 41—эжектор уплотнения; 42 — доохладитель продувки ПГ; 43 — регенеративный тепло- обменник; 44 — расширитель продувки ПГ; 45 — охладитель дренажа; 46 — ПНД-1; 47 — ПНД-2; 48 — ПНД-3; 49 — дренажный насос; 50- ПНД-4; 51 — ПНД-5,

# ***Пояснение к развернутая схема двухконтурной АЭС с реактором ВВЭР-440***

АЭС состоит из первого (реакторного) контура, в котором циркулирует радиоактивный теплоноситель, и второго контура с нерадиоактивным рабочим телом.

На один реактор тепловой мощностью **1375** МВт устанавливаются 6-ть ПГ производительностью **450** т/ч каждый и две турбины электрической мощностью **220** МВт каждая.

***Первый контур может быть представлен  
состоящим из нескольких взаимосвязанных  
систем:***

- главный циркуляционный контур,
- компенсация температурных изменений объема теплоносителя,
- очистка контурной воды и подача подпиточной воды, технологические сдвухи,
- аварийное охлаждение активной зоны и снижение давления в герметичных помещениях,
- системы перегрузки, выдержки и хранения топлива и др.

# Главный циркуляционный контур

Главный циркуляционный контур включает в себя водо-водяной энергетический реактор 1 и 6-ть петель принудительной циркуляции теплоносителя.

Каждая циркуляционная петля состоит из:

- ПГ **6** горизонтального типа;
- главного циркуляционного насоса **2** с подачей **7100** м<sup>3</sup>/ч;
- 2-х главных задвижек и трубопроводов диаметром **560 x 34** мм;
- дренажей и воздушников.

Главные задвижки разделяют циркуляционный контур на неотключаемую (*от реактора до задвижки*) и отключаемую (*от задвижки до ПГ*) части.

# **Системы компенсации температурных изменений объема теплоносителя**

В состав **системы компенсации температурных изменений объема теплоносителя** входит:

**паровой компенсатор объема 24**, соединенный трубопроводами подачи теплоносителя и перелива с «горячей» магистралью главного циркуляционного трубопровода и трубопроводом впрыска с «холодной» магистралью главного циркуляционного трубопровода.

**При чрезмерном повышении давления в компенсаторе объема** осуществляется сброс теплоносителя через систему предохранительных клапанов в барботер **23**.

**Компенсатор объема** подключается к неотключаемой части циркуляционной петли первого контура, благодаря чему выполняет свои функции независимо от числа работающих петель.

## **Назначением системы очистки контурной воды и подачи подпиточной воды в первый контур**

**Назначением системы очистки контурной воды и подачи подпиточной воды в первый контур** является поддержание качества теплоносителя, заданного нормами.

Для этого осуществляется **вывод части теплоносителя из отключаемой части каждой циркуляционной петли (продувка)** для очистки на ионообменных фильтрах высокого давления **8** и **9** с предварительным его охлаждением в регенеративном теплообменнике **11** и водоохладителе **10** и возврат в циркуляционный контур после очистки.

**Фильтры внутриконтурной очистки теплоносителя** общие для всех циркуляционных петель.

**Организованные протечки первого контура** из прямков организованных протечек через ионообменные фильтры низкого давления поступают в деаэратор подпитки **3** с охладителем выпара **4**, откуда центробежными насосами **5** подаются в главный циркуляционный контур на всос главного циркуляционного насоса (подпитка).

**Система продувки-подпитки** используется и в режиме борного регулирования нейтронной мощности.

При необходимости **повышения концентрации борной кислоты в активной зоне** реактора концентрированный раствор борной кислоты подается в деаэратор подпитки, а оттуда — в первый контур.

# **Система технологических сдувок**

**Система технологических сдувок** предназначена для отвода радиоактивных и радиолитических газов.

**При делении ядерного топлива** в качестве продуктов деления **возникают инертные радиоактивные газы** (ксенон, криптон), радиоактивный йод и др., часть которых через неплотности оболочек ТВЭЛОВ поступает в теплоноситель.

**В водном теплоносителе в результате радиоллиза воды** появляются радиолитические кислород и водород.

**Газы выделяются в верхних точках оборудования первого контура** (главных циркуляционных насосах, коллекторах ПГ, компенсаторе объема) на рабочих параметрах и тем более по мере снижения температуры и давления теплоносителя при выводе его из контура (в баках «грязного» конденсата, в прямках организованных протечек, в деаэраторе подпитки, в теплообменниках и т. д.).

**Радиоактивные и радиолитические газы** с помощью системы технологических сдувок разбавляются азотом, выводятся из систем первого контура и направляются в систему спецгазоочистки (СГО) для переработки перед выбросом за пределы АЭС.

В системе технологических сдувок **предусматривается также «дожигание» водорода** с целью избежать образования взрывоопасных смесей.



## ***Второй контур***

Второй, ***нерадиоактивный контур*** также может быть представлен ***состоящим из нескольких взаимосвязанных систем:***

- турбинная установка,
- деаэрационно-питательная установка,
- паропроводы высокого и низкого давления и
- конденсатно-питательный тракт,
- продувка ПГ,
- расхолаживание первого контура и др.

# **Состав турбинной установки**

- паровая турбина;
- конденсаторы 34;
- конденсатными насосами 35;
- эжекторами 39, 40, 41;
- регенеративные подогреватели высокого 29—31 и низкого 46—51 давления;
- охладителями дренажей 45;
- дренажными насосами 49;
- промежуточные сепараторы-пароперегреватели 33.

# ***Деаэрационно-питательная установка***

Деаэрационно-питательная установка  
состоит из:

- деаэратора 25;
- группы питательных электронасосов 27;
- (*куда входят основные и аварийные питательные насосы*) и трубопроводов.

Для обеспечения ***надежного питания парогенераторной установки*** во всех режимах основные питательные магистрали имеют соединения с параллельно работающими блоками.

# ***Система продувки ПГ***

***Система продувки ПГ*** включает в себя:

- расширитель непрерывной продувки **44**;
- регенеративный теплообменник **43**;
- доохладитель продувочной воды **42**;
- ионообменные фильтры;
- ёмкости для слива воды ПГ и создания ее запаса.

***Система расхолаживания первого контура*** обеспечивает отвод тепла от реакторного контура через ПГ.

***Работа системы обеспечивается быстродействующими редуccionными установками и насосами расхолаживания.***

**ФИНИШ**