

## **РАЗДЕЛ 10 ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА**

### **10.1 ТУРБОАГРЕГАТ**

#### **10.1.1 Проектные основы**

##### **10.1.1.1 Назначение и функции системы**

Турбоагрегат является основным элементом системы преобразования пара и энергии. Энергия пара высокого давления преобразовывается в работу по вращению ротора турбины и генератора.

Паротурбинный агрегат представляет собой совокупность паровой турбины К-1200-6,8/50 и машины, приводимой в действие – турбогенератора.

Паротурбинная установка предназначена для работы с водо-водяным реактором ВВЭР-1200 на насыщенном паре по моноблочной схеме (блок состоит из одного реактора и одной турбины). Номинальная тепловая мощность реакторной установки 3212 МВт.

##### **10.1.1.2 Принципы проектирования**

Принципиальные проектные решения состоят в следующем:

Преобразование пара и энергии, обеспечиваемое турбоустановкой, осуществляется:

- с минимальными потерями, чтобы обеспечить высокую эффективность использования ядерного топлива;
- с максимальной надежностью во всем спектре режимов эксплуатации, чтобы обеспечить высокое значение коэффициента использования установленной мощности, равно как и безопасность работы турбины;
- с исключением ущерба окружающей среде из-за вредных протечек, неприемлемого шума, вибрации и т.п.;
- со стабилизацией режима работы турбины, благодаря управлению расходом пара в турбину посредством системы регулирования турбины;
- с эффективной автоматизацией процессов управления турбиной, максимальным упрощением и облегчением ручных операций контроля, обслуживания и ремонта.

#### **10.1.2 Проект системы**

##### **10.1.2.1 Описание используемых материалов**

Материалы (основные и сварочные), используемые для узлов и деталей оборудования турбоустановки, и их качество соответствуют требованиям действующих на момент выпуска документации стандартов, технических условий, норм и правил.

При выборе материалов учитывались рабочие параметры, свойства среды, коррозионная стойкость материалов в рабочей среде.

Для изготовления турбины и ее вспомогательного оборудования применяются материалы, обеспечивающие надежную работу при параметрах, соответствующих техническим условиям на турбину.

В материалах оборудования конденсатно-питательного тракта обеспечено отсутствие медьсодержащих сплавов. Теплообменные поверхности конденсатно-питательного тракта изготавливаются из коррозионностойких материалов.

Материалы основных деталей обеспечивают надежную работу турбины при номинальных параметрах в течение 50 лет.

##### **10.1.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Компоновка турбоагрегата учитывает следующие основные требования:

- турбина вместе с генератором размещаются в здании турбины на общем виброизолированном фундаменте;
- ориентация оси турбоагрегата в радиальном направлении по отношению к оси реактора;
- размещение цилиндров турбоагрегата в здании турбины выполнено таким образом, чтобы в зону возможных выбросов летящих тел, образующихся при разрушении

турбоагрегата, не попадали, прежде всего, элементы систем безопасности, а также элементы систем важных для безопасности;

– расположение взрывоопасных и горючих веществ в пределах здания турбины отвечает требованиям действующих норм и правил по пожаро- и взрывобезопасности.

### **10.1.3 Управление и контроль работы системы**

#### **10.1.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Условия надежной работы турбоустановки достигаются при нахождении в заданных пределах ее параметров:

Давление свежего пара, МПа	от 6,46 до 7,14
Влажность свежего пара, %	от 0 до 0,5
Температура пара после промперегрева, не ниже °С	плюс 250
Температура охлаждающей воды, °С	плюс 33.
Частота вращения ротора, Гц	от 49 до 50,5

#### **10.1.3.2 Действия оператора**

При нарушениях, связанных со снижением нагрузки турбины или срабатыванием защит, действующих на останов турбины, оперативному персоналу необходимо осуществлять следующие действия:

– контролировать параметры и состояние основного оборудования первого и второго контуров и вспомогательных систем;

– контролировать работу автоматических регуляторов главных контуров регулирования АЭС (АРМ, РОМ и т.д.) и устройств защиты;

– контролировать срабатывание БРУ-К или БРУ-А для обеспечения сброса пара от реакторной установки;

– в случае отказа автоматических регуляторов обеспечить стабилизацию параметров и мощности энергоблока дистанционно;

– при сбросе электрической нагрузки ТГ до уровня собственных нужд по истечении 45 минут произвести останов или нагружение турбины.

Подробно действия персонала при отключении турбины и других нарушениях нормальной эксплуатации приведены в соответствующих эксплуатационных инструкциях.

### **10.1.4 Анализ проекта**

#### **10.1.4.1 Показатели надежности системы**

Расчет статической прочности рабочих лопаток выполнялся с помощью программы, разработанной ЛМЗ на основании методики РТМ 108.021.106-77 «Расчет на статическую прочность лопаток паровых турбин».

Расчет хвостовых соединений лопаток выполнялся с помощью программы, разработанной ЛМЗ на основании методики ОСТ 108.021.07-84 «Паровые турбины стационарные. Нормы расчета на прочность хвостовых соединений рабочих лопаток».

Поверочные расчеты по вибрационной отстройке лопаточного аппарата, расчет валов ротора выполнялись с помощью аттестованного программного пакета ANSYS.

Моделирование и расчет надежности системы маслоснабжения системы регулирования (МАХ), системы смазки турбогенератора (МВА) и системы вакуумирования конденсатора (МАЖ) выполнялись с помощью аттестованной программы Risk Spectrum.

#### **10.1.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях**

Работа под нагрузкой является основным эксплуатационным режимом. Регулировочный диапазон турбины от 20 % до 100 % номинальной нагрузки. В этом диапазоне турбина может эксплуатироваться на любой нагрузке без ограничений длительности. В аварийных режимах СК турбины закрываются, турбина не работает.

Турбоустановка сохраняет работоспособность при проектном землетрясении до 6 баллов включительно по шкале MSK – 64. Максимальное расчетное землетрясение – 7 баллов по шкале MSK – 64.

Турбоустановка устанавливается в здании турбины и защищена от внешних воздействий строительными конструкциями здания, кроме землетрясения. Турбоагрегат не воспримет все перечисленные внешние воздействия, т.к. строительные конструкции рассчитаны на данные внешние воздействия.

#### **10.1.5 Выводы**

Проект системы отвечает принятым критериям и принципам безопасности (глава 1 ПрООБ), проектным пределам, а также требованиям РТМ и ОСТ по турбоагрегату и оборудованию систем турбоустановки.

Турбоагрегат соответствует предъявляемым к нему требованиям нормативно-технической документации Республики Беларусь и Российской Федерации в области использования атомной энергии, а также требованиями Руководств по безопасности МАГАТЭ.

## 10.2 СИСТЕМА ПАРОПРОВОДОВ СВЕЖЕГО ПАРА (LBA/LBU)

### 10.2.1 Проектные основы

#### 10.2.1.1 Назначение и функции системы

Система свежего пара предназначена для подачи свежего пара от парогенераторов к турбине и включает в себя систему отсечения главных паропроводов и систему защиты второго контура от избыточного давления (установку главного парового арматурного блока).

Система предназначена для выполнения следующих функций:

- подачи свежего пара от парогенераторов к турбине;
- подачи пара в систему байпаса турбины;
- подачи пара в систему сепарации и промпрегрева в режимах нормальной эксплуатации;
- подачи свежего пара на собственные нужды станции в режиме резервирования отборов турбины;
- сброса пара в атмосферу при аварийном расхолаживании блока;
- отсечения паропровода парогенератора при авариях, требующих локализации парогенератора;
- защиты парогенераторов от чрезмерного давления.

#### 10.2.1.2 Принципы проектирования

При проектировании системы учитываются следующие принципы обеспечения безопасности:

##### Принцип единичного отказа

Система выполняет заданные функции при любом исходном событии с наложением одного независимого от исходного события отказа любого активного или пассивного, имеющего механические движущиеся части элемента, или одной независимой от исходного события ошибки персонала.

##### Принцип резервирования

В случае отказа одного из элементов системы, оставшиеся в работе элементы обеспечивают выполнение заданных функций.

##### Принцип разделения

Элементы системы каждого канала расположены в своем помещении паровой камеры, отделенном от элементов других каналов строительными конструкциями. Строительные конструкции рассчитаны на восприятие динамических воздействий от разрыва трубопроводов, летящих предметов и сейсмического воздействия (МРЗ), а также от перепада давления при разрыве паропроводов. Таким образом, благодаря физическому разделению, отказ элемента системы какого-либо канала не может привести к отказу элементов системы другого канала.

##### Принцип автоматического включения в работу

Реализовано автоматическое включение в работу элементов системы, выполняющих функции безопасности, не требующее вмешательства оператора.

### 10.2.2 Проект системы

#### 10.2.2.1 Описание используемых материалов

Выбор материалов элементов системы защиты парогенераторов от превышения давления осуществляется с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости, а также способности работать в условиях проектных характеристик рабочей среды, а при необходимости, в условиях применения дезактивирующих растворов, в течение всего срока службы.

На основании этого, в качестве основного материала принята углеродистая сталь. Все подсоединения к паропроводу сварные.

#### 10.2.2.2 Размещение основных элементов оборудования

Трубопроводы и основные элементы системы расположены в здании реактора (UJA), паровой камере (UJE) и здании турбины (UMA).

## **10.2.3 Управление и контроль работы системы**

### **10.2.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Пределами безопасной эксплуатации для системы является превышение параметров: давление 9,32 МПа, температура 306°С.

Условиями безопасной эксплуатации является работоспособность всех элементов системы. В целях выявления возможных скрытых отказов элементов системы предусматриваются комплексные периодические испытания при остановленном реакторе.

### **10.2.3.2 Действия оператора**

В случае отказов защит и блокировок оператор имеет возможность, контролируя значения технологического параметра, по которому сработала отказавшая защита или блокировка, дистанционно воздействовать на требуемый исполнительный механизм.

В аварийных режимах при автоматическом включении системы в работу по сигналам от системы защиты станции, действует запрет на вмешательство оператора.

## **10.2.4 Анализ проекта**

### **10.2.4.1 Показатели надежности системы**

Моделирование и расчет надежности системы выполнялись с помощью программы Risk Spectrum.

Программа аттестована Ростехнадзором для применения в области вероятностного анализа риска и надежности методом деревьев отказов и деревьев событий.

Количественные показатели надежности основного оборудования системы:

Коэффициент готовности	не менее 0,999.
Коэффициент технического использования	не менее 0,8.
Назначенный срок службы, лет	50
Срок службы между капитальными ремонтами, лет	не менее 12

### **10.2.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях**

В режиме нормальной эксплуатации АЭС пар от парогенераторов по четырем магистралям Ду600/800 поступает к стопорным и регулирующим клапанам турбины.

Часть арматуры системы, выполняющей функции безопасности находится в режиме ожидания (состояние готовности на случай возникновения нарушения нормальных условий эксплуатации и проектных аварий).

Части системы паропроводов свежего пара, которые находятся внутри здания реактора и его обстройки способны выполнять все требуемые функции при внешних воздействиях.

Части системы паропроводов свежего пара, которые находятся вне здания реактора, относящиеся к I категории сейсмостойкости по нормативным документам, защищены от внешних воздействий, стихийных явлений: землетрясений, ураганов, наводнений, экстремальных температур.

Защита от воздействия струй, попадания летящих предметов и ударов волн обеспечивается компоновочными решениями. Система выполняет заданные функции при условии сохранения целостности и обеспечения электропитания элементов системы.

Оборудование системы, относящееся ко II категории сейсмостойкости по нормативным документам, сохраняет работоспособность после прохождения землетрясения с максимальным горизонтальным ускорением на свободной поверхности грунта 0,06g включительно (ПЗ 6 баллов по шкале MSK-64).

Система защищена от экстремальных температур, так как оборудование расположено в помещениях, имеющих системы вентиляции и охлаждения.

## **10.2.5 Выводы**

Система удовлетворяет требованиям технического задания соответствует требованиям нормативно-технической документации Республики Беларусь и Российской Федерации в области использования атомной энергии, а также требованиями Руководств по безопасности МАГАТЭ.

## **10.3 СИСТЕМА ОСНОВНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ (ЛАВ)**

### **10.3.1 Проектные основы**

#### **10.3.1.1 Назначение и функции системы**

Система основной питательной воды (ЛАВ) предназначена для выполнения следующих функций:

- деаэрации турбинного конденсата с целью поддержания проектных норм содержания кислорода в питательной воде;
- обеспечения парогенераторов питательной водой в режимах нормальной эксплуатации и нарушении нормальных условий эксплуатации;
- регенеративного подогрева питательной воды;
- поддержания уровня в парогенераторах;
- расхолаживания реакторной установки на паровом этапе;
- отсечения линии питательной воды в случае разрыва трубопровода питательной воды или переполнения парогенератора;
- прекращения подачи питательной воды в «аварийный» парогенератор от всех возможных источников, в режимах с неконтролируемым отводом пара от парогенераторов и при течах из первого контура во второй.

#### **10.3.1.2 Принципы проектирования**

В основу проектирования системы питательной воды положено выполнение следующих требований:

- объемы воды в деаэрационном баке обеспечивает:
  - 1) дозаполнение парогенераторов при изменении электрической нагрузки от 100 % до 0 %;
  - 2) отвод остаточных тепловыделений в течение 30 минут;
  - 3) изменение расходного баланса деаэрационного бака при отключении одного питательного насоса с учетом эффективности регулятора ограничения мощности (РОМ) реакторной установки;
  - 4) обеспечение устойчивой работы (без срывов) питательных насосов во всех проектных режимах;
- система обеспечивает бесперебойную подачу воды в парогенераторы при номинальном расходе свежего пара с учетом продувки парогенераторов (6548 т/ч) при давлении в парогенераторах 6,9 МПа с температурой 225 плюс/минус 5 °С (при отключении подогревателей высокого давления (ПВД) с температурой 164 плюс/минус 4 °С);
- система обеспечивает подачу воды в парогенераторы в режимах пуска и расхолаживания в пароводяном режиме с расходом до 150 т/ч при давлении в парогенераторах от атмосферного до 8,1 МПа;
- система питательной воды обеспечивает прекращение подачи питательной воды в «аварийный» парогенератор от всех возможных источников в режимах с неконтролируемым отводом пара от парогенераторов и при течах из первого контура во второй;
- система обеспечивает прекращение подачи питательной воды в случае разрыва трубопровода питательной воды или переполнения парогенераторов.

### **10.3.2 Проект системы**

#### **10.3.2.1 Описание используемых материалов**

Выбор материалов элементов системы основной питательной воды осуществляется с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости, а также способности работать в условиях проектных характеристик рабочей среды, а при необходимости, в условиях применения дезактивирующих растворов, в течение всего срока службы.

При выборе конструкционных материалов учитываются следующие факторы:

- водно-химический режим рабочей среды и его влияние на коррозионно-эрозионное разрушение конструкционных материалов;
- нагрузки от параметров рабочей среды;
- пригодность технологий для изготовления оборудования и трубопроводов без дефектов и в соответствии с требованиями технических условий.

На основании этого, в качестве материала принята углеродистая сталь марки Сталь 20, 15ГС, 16ГС-Ш А.

### **10.3.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Трубопроводы и основные элементы системы расположены в здании реактора (УА), паровой камере (УЕ) и здании турбины (УМА).

### **10.3.3 Управление и контроль работы системы**

#### **10.3.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Отказы и нарушения в работе системы не приводят к превышению пределов и условий безопасной эксплуатации блока.

Эксплуатационными пределами работы системы LAB являются:

- предельные значения параметров в рабочей зоне насосов системы (для насосов LAC11(12,13,14,15)AP001 – P=8,4-12,4 МПа, Q=400-2050 м<sup>3</sup>/с);
- предельное значение давления пара в деаэраторе питательной воды – 0,95 МПа;
- предельные значение уровень в деаэраторе питательной воды – 1,3-3,42 м;
- предельное значение температуры подшипников двигателя ПЭН – 100 °С;
- предельное значение температуры опорных подшипников ПЭН – 100 °С;
- предельное значение температуры упорных подшипников ПЭН – 100 °С;
- предельное значение температуры обмотки статора ПЭН – 140 °С;
- предельное значение виброскорости подшипников ПЭН – 11,2 мм/с;
- предельное значение давление масла в напорной линии маслосистемы ПЭН – 0,4 МПа;
- предельное значение перепада давления масла на фильтрах маслосистемы ПЭН – 0,15 Мпа.

Условиями безопасной эксплуатации является работоспособность всех элементов системы.

Проверка правильности положения электроприводной арматуры производится непрерывно по показаниям и сигнализации на БЩУ.

Внешний осмотр состояния элементов системы и проверка наличия замков на ручной арматуре производится каждую смену.

Проверка управления и исправности действия всей арматуры системы производится один раз в год.

#### **10.3.3.2 Действия оператора**

В случае отказов защит и блокировок оператор имеет возможность, контролируя значения технологического параметра, по которому сработала отказавшая защита или блокировка, дистанционно воздействовать на требуемый исполнительный механизм.

В аварийных режимах при автоматическом включении системы в работу по сигналам от системы защиты станции, действует запрет на вмешательство оператора.

### **10.3.4 Анализ проекта**

#### **10.3.4.1 Показатели надежности системы**

Показатели надежности основного оборудования системы:

Коэффициент готовности	не менее 0,995.
Коэффициент технического использования	не менее 0,95.
Наработка до отказа, часов	не менее 50000.
Назначенный срок службы, лет	50
Срок службы между капитальными ремонтами, лет	не менее 12

#### **10.3.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях**

В режимах нормальной эксплуатации система обеспечивает дегазацию и подачу питательной воды в парогенераторы номинальным расходом.

В режимах проектных аварий, связанных с разрывами трубопроводов и течью из первого контура во второй, арматура системы обеспечивает локализацию поврежденного парогенератора и подачу воды только в неповрежденные парогенераторы.

При сейсмическом воздействии, по сигналу от системы защиты станции, закрывается запорная арматура на основных и байпасных линиях и локализирующая арматура на основных линиях подачи питательной воды в парогенераторы. В дальнейшем подача питательной воды в парогенераторы производится насосами системы аварийной питательной воды LAR/LAS из баков системы подпиточной воды LCU. Отвод остаточных тепловыделений реакторной установки производится сбросом пара в атмосферу через БРУ-А.

Защита от воздействия струй, попадания летящих предметов и ударов волн обеспечивается компоновочными решениями.

#### **10.3.5 Выводы**

Система удовлетворяет требованиям технического задания и нормативной документации по безопасности и обеспечивает надежное выполнение своих функций во всех предусмотренных проектом режимах.



## **10.4 СИСТЕМА ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ (ЛАН)**

### **10.4.1 Проектные основы**

#### **10.4.1.1 Назначение и функции системы**

Система вспомогательной питательной воды (LAI, LAN) предназначена для обеспечения парогенераторов питательной водой в переходных режимах работы блока (пуска, останова, расхолаживания) и ожидаемых эксплуатационных нарушениях.

#### **10.4.1.2 Принципы проектирования**

Проектирование системы выполнено на основе следующих основных принципов:

– использования двух вспомогательных питательных насосов, из которых каждый в отдельности может обеспечить расход, достаточный для отвода остаточных тепловыделений (100 % резерв);

– обеспечения питания ПГ вспомогательными питательными насосами от “своего” напорного коллектора, независимого от основных питательных насосов.

Конструктивное исполнение вспомогательных питательных насосов обеспечивает КПД не ниже 60 %, срок службы основного оборудования не менее 50 лет. Характеристики надежности и долговечности оборудования не ниже, чем у соответствующих зарубежных аналогов.

### **10.4.2 Проект системы**

#### **10.4.2.1 Описание используемых материалов**

Выбор материалов элементов системы осуществляется с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости, а также способности работать в условиях проектных характеристик рабочей среды, а при необходимости, в условиях применения дезактивирующих растворов, в течение всего срока службы.

При выборе конструкционных материалов учитываются следующие факторы:

- водно-химический режим рабочей среды и его влияние на коррозионно-эрозионное разрушение конструкционных материалов;
- нагрузки от параметров рабочей среды;
- пригодность технологий для изготовления оборудования и трубопроводов без дефектов и в соответствии с требованиями технических условий.

На основании этого, в качестве материала принята углеродистая сталь марки Сталь 20, 15ГС и коррозионностойкая сталь 08X18H10T. Все соединения сварные.

#### **10.4.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Все основное оборудование системы LAN расположено в здании турбины (UMA).

### **10.4.3 Управление и контроль работы системы**

#### **10.4.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Пределом безопасной эксплуатации для системы вспомогательной питательной воды может являться незапуск насоса по сигналу, требующем его включения при одновременном невключении резервного насоса.

Условиями безопасной эксплуатации является работоспособность всех элементов системы.

Проверка правильности положения электроприводной арматуры производится непрерывно по показаниям и сигнализации на БПУ.

Внешний осмотр состояния элементов системы и проверка наличия замков на ручной арматуре производится каждую смену.

Проверка управления и исправности действия всей арматуры и оборудования системы производится один раз в месяц.

#### **10.4.3.2 Действия оператора**

В случае отказов защит и блокировок оператор имеет возможность, контролируя значения технологического параметра, по которому сработала отказавшая защита или блокировка, дистанционно воздействовать на требуемый исполнительный механизм.

## 10.4.4 Анализ проекта

### 10.4.4.1 Показатели надежности системы

Показатели надежности основного оборудования системы:

Коэффициент готовности	не менее 0,995.
Коэффициент технического использования	не менее 0,95.
Наработка на отказ, часов (с учетом времени нахождения в резерве)	не менее 50000.
Допустимый срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию, мес.	60
Среднее время до восстановления, ч.	не более 50
Назначенный срок службы, лет	50
Средний срок службы между капитальными ремонтами (продолжительностью до 40 суток), лет	не менее 8

### 10.4.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях

В режимах нормальной эксплуатации система при пуске и расхолаживании система обеспечивает подачу питательной воды в парогенераторы с требуемым расходом. В режиме работы на мощности система находится в режиме ожидания в состоянии готовности к работе.

В режимах проектных аварий работа системы вспомогательной питательной воды не требуется.

Защита от воздействия струй, попадания летящих предметов и ударных волн обеспечивается компоновочными решениями. Система выполняет заданные функции при условии сохранения целостности и обеспечения электропитания элементов системы.

Оборудование системы рассчитано на ПЗ 6 баллов и МРЗ 7 баллов.

### 10.4.5 Выводы

Система соответствует предъявляемым к ней требованиям НТД по безопасности и обеспечивает надежное выполнение своих функций во всех предусмотренных проектом режимах.

## **10.5 СИСТЕМА СБРОСА ПАРА ИЗ ВТОРОГО КОНТУРА В КОНДЕНСАТОРЫ ТУРБИНЫ (MAN)**

### **10.5.1 Проектные основы**

#### **10.5.1.1 Назначение и функции системы**

Система сброса пара из второго контура в конденсаторы турбины (MAN) предназначена для:

- сброса пара из парогенераторов в конденсаторы турбины через быстродействующие редукционные клапаны сброса пара в конденсаторы (БРУ-К) при пусках, остановках блока и начальном нагружении турбины.
- сброса пара при резких сбросах электрической мощности блока, с целью предотвращения чрезмерного роста давления в парогенераторах, приводящего к срабатыванию БРУ-А или предохранительных клапанов;
- сброса пара из парогенераторов в режимах расхолаживания реактора с заданной скоростью.

#### **10.5.1.2 Принципы проектирования**

Проектирование системы выполнено на основе следующих основных принципов:

- при сбросах нагрузки турбиной не допускается срабатывание предохранительных клапанов и БРУ-А, что обеспечивается быстродействием БРУ-К;
- система расхолаживает реакторную установку до уровня температуры в первом контуре, при котором возможно включение системы расхолаживания через первый контур;
- системой поддерживается стабильное давление свежего пара в режимах пуска и сбросов нагрузки и снижаться давление по заданному графику в режимах расхолаживания реактора;
- обеспечивается закрытие клапанов БРУ-К при действии защит и при потере электропитания собственных нужд.

### **10.5.2 Проект системы**

#### **10.5.2.1 Описание используемых материалов**

Выбор материалов элементов системы осуществляется с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости, а также способности работать в условиях проектных характеристик рабочей среды, а при необходимости, в условиях применения дезактивирующих растворов, в течение всего срока службы.

При выборе конструкционных материалов учитываются следующие факторы:

- водно-химический режим рабочей среды и его влияние на коррозионно-эрозионное разрушение конструкционных материалов;
- нагрузки от параметров рабочей среды;
- пригодность технологий для изготовления оборудования и трубопроводов без дефектов и в соответствии с требованиями технических условий.

На основании этого, в качестве материала принята углеродистая сталь марки Сталь 20, 15ГС и коррозионностойкая сталь 08Х18Н10Т.

#### **10.5.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Оборудование и трубопроводы системы располагаются в здании турбины (УМА).

Клапаны БРУ-К устанавливаются в непосредственной близости к ЦНД, на отметке 7,800 м. Все оборудование маслосистемы регулирования БРУ-К расположено в отдельном помещении на отметке 0,000 м. Элементы управления клапанами БРУ-К электрогидравлические преобразователи-сумматоры (ЭГП-С), устанавливаются в машинном зале в возможной близости от клапанов БРУ-К.

### 10.5.3 Управление и контроль работы системы

#### 10.5.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации

Отказы и нарушения в работе системы не приводят к превышению пределов и условий безопасной эксплуатации блока.

Эксплуатационными пределами работы системы МАН являются:

- давление в ГПК  $7,3 \pm 0,05$  МПа (открытие БРУ-К);
- задание для поддержания давления в ГПК  $6,9 \pm 0,1$  МПа (разогр/подъем Р);
- давление в ГПК 6,82 МПа (закрытие БРУ-К)
- давление в ГПК 0,23 МПа (расхолаж/сброс Р);
- давление в одном из корпусов конденсатора более минус 50 кПа.

#### 10.5.3.2 Действия оператора

В случае отказов защит и блокировок оператор имеет возможность, контролируя значения технологического параметра, по которому сработала отказавшая защита или блокировка, дистанционно воздействовать на требуемый исполнительный механизм.

### 10.5.4 Анализ проекта

#### 10.5.4.1 Показатели надежности системы

Показатели надежности БРУ-К:

ВБР (вероятность безотказной работы)	не менее 0,996.
Коэффициент готовности	не менее 0,999.
Коэффициент технического использования	не менее 0,95
Наработка до отказа, часов	не менее 15000.
Назначенный срок службы:	
корпусных деталей, лет	50
выемных частей и комплектующих изделий, лет	от 10 до 15
Назначенный ресурс, ч	440 000
Средняя наработка на отказ, не менее, ч	70 000
Проектный срок службы в течение 50 лет, часов	300000
Срок службы между капитальными ремонтами, лет	не менее 8

Моделирование и расчет надежности системы выполнялись с помощью аттестованной программы Risk Spectrum.

#### 10.5.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях

В режимах нормальной эксплуатации при пуске и расхолаживании система обеспечивает изменение температуры второго контура с заданной скоростью. В режиме работы блока на мощности клапаны БРУ-К закрыты. Регулятор БРУ-К настроен на режим «поддерж Р/Т», в соответствии со статической характеристикой.

В режимах проектных аварий работа системы байпаса турбины не требуется.

Оборудование, размещенное в здании турбины, защищено от внешних воздействий и рассчитано на ПЗ 6 баллов и МРЗ 7 баллов.

Защита от воздействия струй, попадания летящих предметов и ударов волн обеспечивается компоновочными решениями. Система выполняет заданные функции при условии сохранения целостности и обеспечения электропитания элементов системы.

#### 10.5.5 Выводы

Система соответствует предъявляемым к ней требованиям НТД по безопасности и обеспечивает надежное выполнение своих функций во всех предусмотренных проектом режимах.

## 10.6 СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ВТОРОГО КОНТУРА ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

### 10.6.1 Проектные основы

#### 10.6.1.1 Назначение и функции системы

Система защиты второго контура от превышения давления предназначена для предотвращения превышения давления в парогенераторах и паропроводах свежего пара сверх допустимой величины.

В режимах нормальной эксплуатации система защиты от превышения давления не функционирует и находится в состоянии ожидания, проходя периодические проверки и испытания согласно регламенту периодических проверок и опробования систем безопасности.

Система защиты от превышения давления предназначена для работы в режимах нарушений нормальной эксплуатации и проектных авариях, сопровождающихся ростом давления в парогенераторах сверх допустимого.

#### 10.6.1.2 Принципы проектирования

Критерием выполнения системой своих функций является обеспечение следующих требований:

- не допускать роста давления в парогенераторах в аварийных режимах выше 9,0 МПа;
- ИПУ ПГ должны срабатывать и при отсутствии электропитания;
- обеспечить защиту второго контура от роста давления в парогенераторе сверх допустимого при неработающей БРУ-К;
- БРУ-А и ИПУ ПГ должны быть выбраны с учетом работы на пароводяной смеси и воде.
- Контроль за состоянием системы, а также управление ею в случае необходимости осуществляются на БПУ и РПУ.

При проектировании системы учитывались следующие принципы обеспечения безопасности:

- принцип единичного отказа;
- принцип резервирования;
- принцип разделения;
- принцип автоматического включения в работу.

##### Принцип единичного отказа

Система защиты второго контура от превышения давления должна выполнять заданные функции при любом исходном событии аварии с наложением одного независимого от исходного события отказа любого активного или пассивного, имеющего механические движущиеся части элемента, или одной независимой от исходного события ошибки персонала. Количество паросбросных устройств (2 ИПУ ПГ и 1 БРУ-А) выбрано исходя из требуемого непревышения давления в парогенераторах.

Пропускная способность всех ИПУ ПГ не должна быть меньше паропроизводительности РУ при максимально допустимой тепловой мощности, определённой уставкой на останов реактора по нейтронному потоку.

##### Принцип резервирования

В случае отказа одного из элементов системы, оставшиеся в работе элементы обеспечивают требуемое непревышение давления в парогенераторах.

##### Принцип разделения

Элементы системы каждого канала расположены в своем помещении паровой камеры, отделенном от элементов других каналов строительными конструкциями. Строительные конструкции рассчитаны на восприятие динамических воздействий от разрыва трубопроводов, летящих предметов и сейсмического воздействия (МРЗ), а также от перепада давления при разрыве паропроводов. Таким образом, благодаря физическому разделению, отказ элемента системы какого-либо канала не может привести к отказу элементов системы другого канала.

### Принцип автоматического включения в работу

Реализовано автоматическое включение системы в работу, не требующее вмешательства оператора. Автоматическое включение системы в работу происходит при повышении давления во втором контуре до уставки срабатывания клапанов.

## **10.6.2 Проект системы**

### **10.6.2.1 Описание используемых материалов**

Выбор материалов элементов системы защиты парогенераторов от превышения давления осуществляется с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости, а также способности работать в условиях проектных характеристик рабочей среды, а при необходимости, в условиях применения дезактивирующих растворов, в течение всего срока службы.

На основании этого, в качестве основного материала принята углеродистая сталь. Все подсоединения к паропроводу сварные.

### **10.6.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Элементы системы каждого канала расположены в своем помещении паровой камеры (УЕ), отделенном от элементов системы других каналов строительными конструкциями, которые рассчитаны на восприятие динамических воздействий от разрыва трубопроводов, летящих предметов и сейсмического воздействия (МРЗ).

## **10.6.3 Управление и контроль работы системы**

### **10.6.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Пределами безопасной эксплуатации системы защиты второго контура от превышения давления по давлению являются параметры в паропроводах 9,32 МПа, 306 °С

Условиями безопасной эксплуатации является работоспособность всех элементов системы. В целях выявления возможных скрытых отказов элементов системы предусматриваются комплексные периодические испытания при остановленном реакторе.

### **10.6.3.2 Действия оператора**

Управление элементами, контроль за положением (состоянием) элементов, контроль технологических параметров, а также предупредительная и аварийная сигнализация в полном объеме выведены на БПУ и РПУ.

Реализовано автоматическое включение системы в работу, не требующее вмешательства оператора, при повышении давления во втором контуре до уставок срабатывания паросбросных устройств и дистанционное (оператором) с БПУ или РПУ, при этом автоматическое управление имеет приоритет.

Срабатывание компонентов системы защиты второго контура от превышения давления происходит от системы защиты станции, одновременно блокируется ручное управление оператором на время воздействия сигнала.

## **10.6.4 Анализ проекта**

### **10.6.4.1 Показатели надежности системы**

Вероятность безотказной работы за период до капитального ремонта клапанов, входящих в состав системы не ниже 0,995 в течение четырехлетнего периода и 25 рабочих циклов.

Полные результаты моделирования и расчета надежности, включая таблицу качественного анализа, данные по надежности оборудования, деревья отказов, перечни наиболее значимых минимальных сечений отказов (МСО) приведены в соответствующем документе.

### Результаты расчета безотказности системы для функции "Сброс пара в атмосферу при аварийном расхолаживании блока"

Расчеты проводились с учетом непрерывной работы системы в течение 1 суток.

Расчеты вероятности отказа проводились с использованием критерия отбрасывания 1,00E-15.

Оцененное среднее значение вероятности отказа системы на выполнение требуемой функции составило 2.63E-03.

Нижняя граница (5 %) 8.53E-04

Медиана 2.20E-03

Верхняя граница (95 %) 5,96E-03

#### **10.6.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях**

В режимах нормальной эксплуатации система защиты второго контура от превышения давления находится в режиме ожидания и проходит периодические проверки.

В режимах нарушения нормальных условий эксплуатации и аварийных режимах, приводящих к повышению давления во втором контуре до уставок срабатывания элементов системы защиты второго контура от превышения давления, происходит открытие соответствующих элементов системы. Их пропускная способность и требования к быстродействию обеспечивают не превышение более чем на 15 % от расчетного давления в соответствии с требованиями нормативных документов.

Система защиты второго контура от превышения давления способна выполнять все свои функции при внешних воздействиях, принятых для данного проекта.

Система защищена от внешних воздействий, стихийных явлений: землетрясений, ураганов, наводнений, экстремальных температур.

Защита от воздействия струй, попадания летящих предметов и ударов волн обеспечивается компоновочными решениями. Оборудование системы относится к первой категории сейсмостойкости и выдерживает максимальное проектное землетрясение. Все оборудование и трубопроводы системы размещены в помещениях первой категории сейсмостойкости.

#### **10.6.5 Выводы**

Система соответствует предъявляемым к ней требованиям НТД по безопасности и обеспечивает надежное выполнение своих функций во всех предусмотренных проектом режимах.

## 10.7 СИСТЕМА ПОДПИТКИ ВТОРОГО КОНТУРА (LCU)

### 10.7.1 Проектные основы

#### 10.7.1.1 Назначение и функции системы

Система подпитки второго контура (LCU) предназначена для выполнения следующих функций:

- подача подпиточной воды на подпитку блока в режиме нормальной эксплуатации;
- подача подпиточной воды на аварийную подпитку блока;
- заполнение систем первого и второго контуров перед пуском блока;
- подпитка промконтуров систем охлаждения ответственных и неответственных потребителей;
- подпитка вспомогательных систем первого контура и спецводоочистки через систему КВС-2;
- подача подпиточной воды на промывку фильтров системы очистки конденсата и прочих потребителей;
- хранение и подача обессоленной воды к системе аварийной питательной воды;
- подача подпиточной воды на резервную и блочную дизельную электростанцию.
- обеспечение подпитки баков аварийного отвода тепла СПОТ в режиме потери всех источников переменного тока более 24 часов.
- обеспечение подпитки топливного бассейна в режиме потери всех источников переменного тока более 8 часов.

#### 10.7.1.2 Принципы проектирования

В режимах нормальной эксплуатации система подпиточной воды обеспечивает:

- нормальное восполнение потерь второго контура в количестве до 1 % номинальной производительности парогенераторов;
- аварийную подпитку в деаэрактор турбоустановки в количестве 4-5 % номинальной производительности парогенераторов;
- заполнение баков СПОТ.

Система подпиточной воды осуществляет хранение обессоленной воды, необходимой для эксплуатации АЭС во всех режимах работы.

Для обеспечения функций при нормальной эксплуатации система включает два бака хранения обессоленной воды емкостью 700 м<sup>3</sup> каждый LCU02, 03 ВВ001, причем подпитка блока осуществляется таким образом, чтобы неиспользуемый суммарный объем воды в двух баках был не менее 700 м<sup>3</sup>. Данный объем может быть использован для увеличения продолжительности поддержания блока в «горячем» резерве при запроектных авариях.

Для обеспечения функций системы аварийной питательной воды система включает два бака хранения обессоленной воды емкостью 700 м<sup>3</sup> каждый LCU01, 04 ВВ001. Таким образом, неиспользуемый суммарный объем воды в двух баках составляет не менее 1400 м<sup>3</sup>. Вывод из работы указанных баков при работе блока на мощности не допускается. Баки постоянно заполнены водой и подключены к насосам системы аварийной питательной воды на случай возникновения исходного события, требующего работы системы аварийной питательной воды.

Общая емкость баков определяется исходя из обеспечения запаса обессоленной воды для одного из следующих режимов:

- отвод остаточных тепловыделений и расхолаживание реакторной установки на паровом этапе со скоростью не более 30 °С/ч до перехода на расхолаживание через первый контур;
- поддержание блока в «горячем» резерве в течение не менее 24 часов.

В режиме потери всех источников переменного тока более 8 часов система обеспечивает подачу воды на подпитку топливного бассейна.

В режиме потери всех источников переменного тока более 24 часов система обеспечивает подачу воды на подпитку баков СПОТ.



Во всех баках поддерживается заданная температура обессоленной воды от плюс 20 до плюс 25 °С.

## **10.7.2 Проект системы**

### **10.7.2.1 Описание используемых материалов**

Выбор материалов элементов системы подпитки второго контура осуществляется с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости, а также способности работать в условиях проектных характеристик рабочей среды, а при необходимости, в условиях применения дезактивирующих растворов, в течение всего срока службы.

На основании этого, в качестве основного материала принята нержавеющая сталь. Все соединения сварные.

### **10.7.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Система подпитки второго контура размещается в здании турбины (UMA) и паровой камере (UJE).

В здании турбины размещены узлы регулирования нормальной и аварийной подпитки блока.

В паровой камере размещены баки запаса обессоленной воды, насосы подпиточной воды, аварийные насосы подпиточной воды.

## **10.7.3 Управление и контроль работы системы**

### **10.7.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Отказы и нарушения в работе системы не приводят к превышению пределов и условий безопасной эксплуатации блока.

Эксплуатационными пределами работы системы LCU являются:

– предельные значения параметров в рабочей зоне насосов системы (для насосов LCU05,06AP001 – Н=45-62,5 м, Q=20-120 м<sup>3</sup>/ч; LCU07,08AP001 – Н=113-133 м, Q=30-220 м<sup>3</sup>/ч);

– предельные значения температуры подшипников насосов (для насосов LCU05,06AP001 90 °С; LCU07(08)AP001 – 80 °С);

– предельные значения давления на всасе насосов 0,08-0,18 МПа;

– предельные значения уровня в баках запаса обессоленной воды 0,3-10,65 м.

### **10.7.3.2 Действия оператора**

В случае отказов защит и блокировок оператор имеет возможность, контролируя значения технологического параметра, по которому сработала отказавшая защита или блокировка, дистанционно воздействовать на требуемый исполнительный механизм.

## **10.7.4 Анализ проекта**

### **10.7.4.1 Показатели надежности системы**

Показатели надежности основного оборудования системы:

Коэффициент готовности не менее 0,995.

Коэффициент технического использования не менее 0,95.

Наработка до отказа, часов не менее 50000.

Назначенный срок службы, лет 50

Срок службы между капитальными ремонтами, лет не менее 12

### **10.7.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях**

В режимах нормальной эксплуатации при работе блока на мощности осуществляется нормальная подпитка конденсатора со стороны второго контура насосами подпиточной воды, забор воды производится из двух баков обессоленной воды LCU02, 03 ВВ001.

Уровень в конденсаторе турбины поддерживается регулирующим клапаном на трубопроводе нормальной подпитки. Кроме того, насосы подпиточной воды обеспечивают подачу воды на подпитку промконтуров и промывку фильтров очистки конденсата.

Аварийная подпитка подается в деаэратор аварийными насосами подпиточной воды, в этом случае поддержание уровня в деаэраторе обеспечивается с помощью регулирующего клапана на трубопроводе подпиточной воды в деаэратор.

Часть системы, предназначенная для хранения и подачи обессоленной воды к системе аварийной питательной воды, находится в режиме ожидания (в состоянии готовности на случай возникновения аварии).

При нарушениях нормальных условий эксплуатации и проектных авариях, требующих работы системы аварийной питательной воды, система LCU обеспечивает подачу обессоленной воды на всас аварийных питательных насосов LAS10, 20, 30, 40 AP001.

При внешних воздействиях система выполняет заданные функции при условии сохранения целостности и обеспечения электропитания элементов системы.

#### **10.7.5 Выводы**

Система соответствует предъявляемым к ней требованиям НТД по безопасности и обеспечивает надежное выполнение своих функций во всех предусмотренных проектом режимах.

## **10.8 ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВТОРОГО КОНТУРА**

### **10.8.1 Проектные основы**

#### **10.8.1.1 Назначение и функции системы**

Водно-химический режим второго контура является одним из важнейших факторов, обеспечивающих надежную и безопасную эксплуатацию АЭС с ВВЭР.

ВХР второго контура должен обеспечивать выполнение следующих функциональных требований, с целью обеспечения безопасности АЭС:

- минимальное количество отложений на теплообменной поверхности парогенератора, в проточной части турбины и в конденсатно-питательном тракте;
- предотвращение коррозионных и коррозионно-эрозионных повреждений конструкционных материалов парогенераторов, оборудования и трубопроводов второго контура.

В соответствии с требованиями НТД ВХР второго контура должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить целостность третьего защитного барьера, то есть «границ контура теплоносителя» (теплообменные трубки и коллектор теплоносителя первого контура парогенератора).

#### **10.8.2 Выводы**

Качественный анализ проекта поддержания ВХР показывает, что он удовлетворяет предъявляемым нормативными документами требованиям по безопасности и обеспечивает выполнение своих функций во всех режимах работы энергоблока. Отступлений от нормативно-технической документации нет.

ВХР второго контура и системы его поддержания соответствуют предъявляемым к ним требованиям НТД по безопасности.

## **10.9 СИСТЕМА ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ КОНДЕНСАТА ТУРБИНЫ**

### **10.9.1 Проектные основы**

#### **10.9.1.1 Назначение и функции системы**

Система обезжелезивания и обессоливания конденсата турбины (LDF) предназначена для обеспечения нормируемого качества конденсата, питательной и продувочной воды парогенератора (ПГ).

Функциями системы LDF является:

- очистка турбинного конденсата на Н-катионитных фильтрах от продуктов коррозии и основных катионных примесей;
- очистка турбинного конденсата в фильтрах смешанного действия (ФСД) от ионных примесей.

#### **10.9.1.2 Принципы проектирования**

В основу проектирования системы LDF положено выполнение всех требований нормативной документации и обеспечение в режимах нормальной эксплуатации функций, изложенных в п. 10.9.1.1.

Контроль качества сред предусмотрен системой автоматизированного химического контроля (АХК) второго контура.

Управление системой осуществляется с местного пункта управления водоподготовкой (МПУ ВП).

Система LDF имеет электроснабжение III группы надежности.

Система вентиляции и отопления помещений, в которых расположено оборудование системы LDF, должна обеспечивать поддержку параметров окружающей среды, необходимых для работы оборудования системы.

### **10.9.2 Проект системы**

#### **10.9.2.1 Описание используемых материалов**

Выбор материала оборудования и трубопроводов осуществляется с учетом требуемых физико-механических характеристик, технологичности, свариваемости, а также способности работать в условиях проектных характеристик рабочей среды в течение всего срока службы.

В качестве основного материала оборудования в системе LDF принята нержавеющая сталь. Арматура выполнена из углеродистой и нержавеющей стали на фланцах и под приварку. Трубопроводы системы LDF выполнены из углеродистой и нержавеющей стали, все соединения сварные.

#### **10.9.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Оборудование системы обезжелезивания и обессоливания конденсата турбины (LDF) расположено в здании турбины UMA на отметке 0,000.

### **10.9.3 Управление и контроль работы системы**

#### **10.9.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Отказы и нарушение в работе системы не приводят к превышению пределов и условий безопасной эксплуатации блока.

Эксплуатационными пределами работы системы LDF являются:

- превышение температуры конденсата на входе в систему выше 45 °С;
- перепад давления на фильтрах-ловушках  $\geq 0,3$  МПа;
- повышение давления конденсата на входе в систему  $>1,6$  МПа.

Конденсат, поступающий на очистку, не является активной средой. В случае проскока активности из первого контура во второй, возможно накопление активности в ионитных фильтрах БОУ.

Для радиационной защиты обслуживающего персонала и окружающей среды предусмотрены следующие мероприятия:

- ведение радиационного контроля воздушной среды в фильтровом зале системы очистки конденсата;

– радиационный контроль отработанных ионообменных смол для принятия решения о направлении их на полигон или в спецкорпус на переработку.

#### **10.9.3.2 Действия оператора**

В случае отказов защит и блокировок оператор имеет возможность, контролируя значения технологического параметра, по которому сработала отказавшая защита или блокировка, дистанционно воздействовать на требуемый исполнительный механизм.

#### **10.9.4 Анализ проекта**

##### **10.9.4.1 Показатели надежности системы**

Система LDF является системой нормальной эксплуатации. Проект системы и конструкции отдельных ее элементов отвечает требованиям нормативной документации по безопасности АЭС.

Показателем надежности системы является вероятность невыполнения системой заданных функций.

Система рассчитана на непрерывную очистку конденсата второго контура в течении всего времени работы блока.

Для достижения требуемого уровня готовности системы предусматривается контроль за состоянием элементов. Во время контроля элементы не теряют способности выполнять возложенные на них функции, так как контроль не приводит систему в неработоспособное состояние.

##### **10.9.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях**

Система обезжелезивания и обессоливания конденсата турбины обеспечивает нормы качества конденсата и питательной воды в период проведения пуско-наладочных работ и освоения мощности и при эксплуатации энергоблока на всех уровнях мощности.

Функционирование системы в аварийных режимах включая внешние воздействия связано с отказом отдельных элементов системы. В аварийных режимах, не связанных с обесточиванием, система выполняет свои функции в зависимости от характера нарушений. Строительные конструкции здания УМА рассчитаны на ПЗ 6 баллов.

#### **10.9.5 Выводы**

Система соответствует предъявляемым к ней требованиям НТД по безопасности и обеспечивает надежное выполнение своих функций во всех предусмотренных проектом режимах.

## **10.10 СИСТЕМА ПРОБООТБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ВТОРОГО КОНТУРА**

### **10.10.1 Проектные основы**

#### **10.10.1.1 Назначение и функции системы**

Система пробоотбора технологических сред второго контура состоит из систем пробоотбора автоматизированного химического контроля (АХК) водно-химического режима (ВХР) второго контура и системы ручного отбора проб второго контура (QUH).

Система АХК ВХР второго контура предназначена для автоматизированного контроля качества рабочей среды второго контура (пара, конденсата, питательной воды и продувочной воды парогенераторов) с целью получения оперативной информации о качестве водно-химического режима второго контура в соответствии с требованиями норм ВХР второго контура, а также ряда дополнительных требований, характеризующих протекание технологического процесса и работу оборудования.

Система ручного отбора проб второго контура предназначена для получения представительных проб с целью выполнения лабораторного контроля качества рабочих сред и сред вспомогательных систем второго контура.

Основными функциями системы автоматизированного химического контроля водно-химического режима второго контура являются:

- постоянный отбор проб питательной воды после деаэратора и за подогревателями высокого давления на приборы автоматизированного химического контроля (система QUA);
- постоянный отбор проб насыщенного пара ПГ на приборы автоматизированного химического контроля (система QUB);
- постоянный отбор проб конденсата турбины на приборы автоматизированного химического контроля (система QUC);
- постоянный отбор проб продувочной воды ПГ из солевых отсеков на приборы автоматизированного химического контроля и периодический отбор проб из объединенной линии продувки ПГ для лабораторного контроля (система QUK);
- обеспечение представительности отбираемой пробы;
- подготовка пробы для автоматизированного химического контроля;
- контроль качества рабочих сред второго контура.

#### **10.10.1.2 Принципы проектирования**

Система АХК второго контура обеспечивает представительность пробы во всех режимах нормальной эксплуатации блока в соответствии с функциями системы.

Безопасность, в соответствии с функциями системы, а также представительность пробы обеспечены следующими техническими решениями:

- минимальным диаметром пробоотборных трасс (Ду 6), минимальной протяженностью трасс с возможно большим уклоном для исключения застойных зон, врезкой в трубопровод при помощи пробоотборного зонда (в случае необходимости);
- наличием устройств подготовки проб и измерений (УПП);
- снижением параметров пробы (температуры, давления) при прохождении среды через устройства подготовки пробы;
- защитой приборов химконтроля при превышении температуры и давления выше допустимых значений;
- обеспечением необходимых условий для нормального обслуживания датчиков, их периодической замены;
- распределением потока в устройствах подготовки пробы на ручной отбор и приборы автоматического химического контроля;
- обеспечением возможности обслуживания и ремонта во все периоды эксплуатации;
- обеспечением безопасных условий эксплуатации для персонала.

В системе предусмотрены контрольно-измерительные приборы для управления и контроля системой в процессе нормальной эксплуатации блока.

Управление системой осуществляется с БПУ.

Элементы системы АХК второго контура, имеющие электропривод, имеют питание от системы электроснабжения нормальной эксплуатации.

## **10.10.2 Проект системы**

### **10.10.2.1 Описание используемых материалов**

Выбор оборудования и материалов осуществлен с учетом функций системы, а также с учетом:

- качества и параметров среды;
- технологичности и свариваемости;
- условий окружающей среды в помещениях, где располагаются компоненты системы.

В качестве основного материала трубопроводов, оборудования, арматуры в системе пробоотбора принята коррозионностойкая сталь аустенитного класса 08X18H10T. Механические характеристики стали для трубопроводов высокого и низкого давления представлены в соответствующих НТД.

### **10.10.2.2 Размещение основных элементов оборудования**

Часть оборудования систем QUA, QUB, QUC размещено в здании турбины UMA, теплообменники отбора пробы – непосредственно у места отбора пробы. Устройства подготовки пробы, щиты измерений и щиты с приборами химконтроля расположены в здании водоподготовки (UGB) в помещении УПП и датчиков АХК второго контура. Ионный хроматограф и щит водный для ручного отбора проб питательной воды расположен в здании водоподготовки (UGB) в помещении ручного отбора проб.

Оборудование системы QUK размещено во вспомогательном корпусе. Теплообменники отбора пробы, устройства подготовки пробы, щиты измерений и щиты с приборами химконтроля, ионный хроматограф, периодический ручной отбор проб расположены в помещении АХК продувочной воды парогенераторов.

Для оборудования, трубопроводов и арматуры обеспечены доступ и условия для проведения технического обслуживания и ремонта.

## **10.10.3 Управление и контроль работы системы**

### **10.10.3.1 Пределы и условия безопасной эксплуатации**

Отказы и нарушения в работе системы не приводят к превышению пределов и условий безопасной эксплуатации блока.

Проектными пределами при нормальной эксплуатации системы являются расчетные параметры систем АХК второго контура, которые определяются параметрами контролируемой системы.

Эксплуатационными пределами работы системы QUA, QUB, QUC, QUK являются превышение температуры пробы выше допустимого значения (+45 °С) и давления пробы больше 0,16 МПа в устройствах подготовки пробы перед приборами АХК (защита приборов химконтроля).

### **10.10.3.2 Действия оператора**

В случае отказов защит и блокировок оператор имеет возможность, контролируя значения технологического параметра, по которому сработала отказавшая защита или блокировка, дистанционно воздействовать на требуемый исполнительный механизм.

## **10.10.4 Анализ проекта**

### **10.10.4.1 Показатели надежности системы**

Моделирование и расчет надежности системы выполнялись с помощью аттестованной программы Risk Spectrum.

Показатели надежности теплообменников отбора проб

Наименование показателя	Значение
Срок службы, лет	50
Коэффициент готовности, не менее	0,995
Коэффициент технического использования, не менее	0,95
Наработка до отказа, не менее, часов	50000
Допустимый срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию, месяцев	60

Среднее время восстановления, не более, часов	50
---	----

Показатели надежности насосных агрегатов QUC01AP001 и QUC02AP001

Наименование показателя	Значение
Коэффициент готовности, не менее	0,995
Коэффициент технического использования, не менее	0,95
Наработка до отказа, не менее, часов	25000
Время восстановления работоспособного состояния, часов, не более	50
Ресурс до капитального ремонта, часов	30000
Назначенный срок службы, лет	50

Показатели надежности устройств подготовки проб и щитов измерений

Наименование показателя	Значение
Назначенный срок службы резинотехнических изделий, не менее, лет	12
Назначенный срок службы, лет	50
Назначенный срок службы покупных комплектующих изделий в устройствах АХК ВХР второго контура, при условии замены отдельных элементов по мере выработки их ресурса, лет	12
Наработка до отказа, не менее, часов	50000
Коэффициент готовности, не менее	0,995
Допустимый срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию, лет	5
Коэффициент технического использования, не менее	0,95
Среднее время восстановления, не более, часов	24
Межремонтный период, не менее, лет	12

#### 10.10.4.2 Нормальная эксплуатация, функционирование при отказах, функционирование при ПА, функционирование при внешних воздействиях

В режиме нормальной эксплуатации АХК второго контура обеспечивает постоянный автоматизированный контроль показателей качества рабочей среды второго контура в режиме реального времени.

Система АХК второго контура работает постоянно при эксплуатации блока на любом уровне мощности.

В аварийных режимах включая внешние воздействия, функционирование системы АХК ВХР второго контура не требуется.

Основное оборудование и элементы системы относятся к III категории сейсмостойкости.

#### 10.10.5 Выводы

Система соответствует предъявляемым к ней требованиям НТД по безопасности и обеспечивает надежное выполнение своих функций во всех предусмотренных проектом режимах.

#### 10.11. Обоснование прочности, устойчивости и работоспособности трубопроводов, насосов, задвижек, основной арматуры, предохранительных и разгрузочных клапанов при природных и техногенных воздействиях

Обоснование прочности, устойчивости и работоспособности насосов, задвижек, основной арматуры, предохранительных и разгрузочных клапанов проводится поставщиком вышеупомянутого оборудования на основе исходных технических требований, выпускаемых Генеральным проектировщиком и включающих в себя параметры вышеупомянутых воздействий в проекте.

Обоснование прочности, устойчивости и работоспособности трубопроводов выполняется на стадии выпуска рабочей документации на трубопроводы. Результаты обоснования (выписки из расчетов) отражаются в паспортах на трубопроводы при их регистрации.



Оборудование, арматура и трубопроводы здания турбины УМА Белорусской АЭС, относящиеся ко II категории сейсмостойкости, проектируются в соответствии на сейсмическое воздействие уровня ПЗ с интенсивностью 6 баллов по шкале MSK-64 (максимальное горизонтальное ускорение на свободной поверхности грунта составляет 0,06g). Расчет проводится на сочетание нагрузок НЭ + ПЗ, ННЭ+ПЗ.

Для обоснования прочности и сейсмостойкости трубопроводов применяется аттестованный программный комплекс «dPIPE5».