

# **11 Описание систем управления АЭС, включая электроснабжение АЭС**

## **Введение**

В настоящем разделе содержатся основные технические решения по созданию систем управления и по системам электроснабжения собственных нужд энергоблоков №1 и №2 Белорусской АЭС.

СКУ Белорусской АЭС разработана с учетом:

- требований нормативной документации;
- требований европейских и рекомендации энергетических компаний к АЭС с легководными реакторами в части автоматизированных систем управления и ЧМИ;
- опыта создания аналогичных систем управления российских и зарубежных АЭС.

Информация обеспечивает возможность ознакомления всех заинтересованных сторон с проектными основами, основными техническими решениями в работе системы нормальной эксплуатации, системы надежного электроснабжения нормальной эксплуатации, системы аварийного электроснабжения и системы электроснабжения оборудования контроля и управления запроектными авариями.

## **11.1. Системы управления АЭС**

### **11.1.1 Концепция управления АЭС**

Концепция управления является основой, определяющей подходы и принципы создания системы управления АЭС с целью обеспечения безопасной, надежной эксплуатации станции и эффективной выработки энергии.

Современная концепция управления АЭС основывается на положении о том, что безопасность функционирования блока в основном определяется правильно организованной системой управления, умело сочетающей возможности человека-оператора и средств автоматизации.

Концепция управления основана на требованиях отечественных норм и правил в области атомной энергетики, норм и руководств по безопасности, выработанных Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), публикаций Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Концепция управления разрабатывается на основе системного подхода при рассмотрении в своем единстве системотехнических аспектов в части обеспечения безопасности, подходов к организации ведения основного технологического процесса, управления при авариях, организации человеко-машинного интерфейса.

В основу концепции управления АЭС положены следующие принципы:

- принцип обеспечения безопасности АЭС;
- принцип учета человеческого фактора.

В соответствии с первым принципом средства системы управления АЭС обеспечивают безопасность АЭС и сохранение эффективности барьеров во всех режимах работы АЭС.

В качестве основных принципов системного подхода к управлению АЭС с учетом человеческого фактора приняты:

- принцип гуманизации труда, в соответствии с которым управление АЭС и средства управления разрабатываются, исходя из возможностей и особенностей деятельности человека-оператора;
- принцип проектирования деятельности человека-оператора, в соответствии с которым при любых операционных состояниях энергоблока, включая операции по перегрузке топлива и при авариях, обеспечены оптимизация задач, сведение к минимуму рабочей нагрузки, которая требуется для наблюдения и управления энергоблоком.

Критериями достижения цели при проектировании деятельности человека-оператора являются безошибочность, своевременность и точность управления энергоблоком.

Концепция управления предусматривает также создание базы знаний и данных, обеспечивающих проектирование системы управления энергоблока и деятельность человека-оператора по управлению энергоблоком.

## 11.1.2 Проектные основы

СКУ Белорусской АЭС разрабатывается как распределенная с централизованным управлением система, обладающая высокой надежностью, обеспечивающая контроль технического состояния и диагностику систем и технологического оборудования АЭС, представление и документирование информации о параметрах, характеризующих работу АЭС во всем диапазоне условий эксплуатации, а также автоматизированное и/или автоматическое управление системами и технологическим оборудованием.

СКУ АЭС создаётся как интегрированная вычислительная система, состоящая из отдельных связанных между собой или автономных систем, охватывающих информационно-измерительными, управляющими и контролирующими функциями все технологические системы, здания и сооружения АЭС.

В состав СКУ АЭС входят также системы диагностики основного технологического оборудования, предназначенные для обеспечения персонала диагностической информацией о состоянии оборудования.

СКУ обеспечивает контроль, представление и документирование информации о параметрах, характеризующих реакторную установку и АЭС в целом во всех возможных диапазонах изменения условий ее нормальной эксплуатации.

Построение СКУ основывается на наличии, в качестве объектов управления, следующих категорий технологических систем:

- систем нормальной эксплуатации (СНЭ), не влияющих на безопасность;
- систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности (СНЭ ВБ);
- систем безопасности (СБ).

В соответствии с этим к каждой категории систем СКУ предъявляются собственные нормативные требования либо по структуре технических средств, либо по характеристикам надежности выполнения функций.

При разработке СКУ учитывалась концепция глубокоэшелонированной защиты.

Разработка управляющих систем нормальной эксплуатации, управляющих систем нормальной эксплуатации важных для безопасности и управляющих систем безопасности выполняться с учетом задач и приоритетов, решаемых на определенных «уровнях» глубокоэшелонированной защиты.

К управляющим системам безопасности (УСБ) предъявляются специальные требования по организации структуры технических средств, обусловленные необходимостью выполнения требований по независимости, многоканальности, разнообразию и реализации принципа единичного отказа.

Требования к управляющим системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности (УСНЭ ВБ) и к управляющим системам нормальной эксплуатации, не влияющим на безопасность (УСНЭ), отличаются только по показателям надежности выполнения функций и по характеристикам используемых технических средств, поэтому принципы организации структуры этих систем в значительной степени унифицированы. Увеличение надежности выполнения функций достигается резервированием измерительных каналов или отдельных, наименее надежных, элементов системы. При этом учитывается фактор экономической эффективности технических решений.

СКУ предусматривает совместимость всех ее систем на базе унификации входных и выходных параметров, сигналов и команд, конструктивных, эргономических и организационных решений.

СКУ АЭС выполняется как многоуровневая, распределенная, интегрированная система с обеспечением конструктивной, функциональной и интерфейсной независимости ее систем, что обеспечивает сохранение функций отдельных систем и их элементов при отказах в СКУ, в том числе на отдельных уровнях ее иерархии.

## 11.1.3 Структура

Создаваемая система управления энергоблоком имеет двухуровневую структуру:

- нижний уровень (уровень контроля, управления и защиты), состоящий из связанных между собой или автономных систем различного функционального назначения;

– блочный (верхний) уровень, предназначенный для централизованного управления, представления, архивирования и документирования информации, выполнения расчетов, хранения базы данных.

В состав создаваемой системы управления входят следующие системы:

- системы и средства контроля и управления, обеспечивающие нормальную эксплуатацию;
- системы и средства контроля и управления системами безопасности;
- системы с средства диагностики дефектов;
- системы и средства контроля целостности и работоспособности барьеров;
- система контроля и управления противопожарной защитой энергоблока (СКУ ПЗ);
- средства контроля концентрации водорода в объеме защитной оболочки при авариях;
- системы и средства контроля и управления системами физической защиты;
- системы и средства контроля организационного выхода радиоактивных продуктов;
- системы и средства контроля окружающей среды;
- системы и средства связи и оповещения;
- системы и средства контроля и управления, не влияющие на безопасность.

#### **11.1.3.1 Системы и средства контроля и управления, обеспечивающие нормальную эксплуатацию**

Системы и средства контроля и управления состоят из отдельных, связанных между собой локальными сетями ПТК, предназначенных для управления технологическим оборудованием систем нормальной эксплуатации, в том числе и важных для безопасности.

В состав систем и средства контроля и управления, обеспечивающие нормальную эксплуатацию входят:

- системы контроля и управления энергоблока АЭС в составе:
- системы верхнего блочного уровня (СВБУ), включая технические средства оперативно-диспетчерского управления (ТС ОДУ) и экран коллективного пользования (ЭКП);
- системы контроля и управления нормальной эксплуатации (СКУ НЭ);
- системы регистрации важных параметров энергоблока (СРВПЭ);
- системы вибромониторинга и диагностики вращающегося оборудования (СВД);
- системы обнаружения течи теплоносителя второго контура (СОТТ-2);
- блочный пункт управления (БПУ);
- системы контроля и управления реакторной установки (СКУ РУ) в составе:
- системы контроля, управления и диагностики реакторной установки (СКУД);
- аварийного контроля уровня в реакторе (СКУТ);
- устройства контроля протечек фланцевых разъемов крышки реактора;
- системы технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов (СТД ГЦНА);
- аппаратуры контроля гидроамортизаторов оборудования реакторной установки (АКГА);
- средств температурного контроля первого контура;
- системы управления и защиты РУ (СУЗ РУ) в составе:
- двух четырехканальных комплектов АЗ-УСБТ, каждый из которых включает в себя иницирующую и исполнительную части;
- одного четырехканального комплекта предупредительной защиты реактора, включающего в себя иницирующую и исполнительную части;
- системы группового и индивидуального управления приводами ОР СУЗ (СГИУ);
- автоматического регулятора мощности (АРМР) реактора (трехканальный);
- информационно-диагностической сети;

- аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП);
- системы индустриальной антисейсмической защиты (СИАЗ);
- система верхнего станционного уровня (СВСУ).

### **11.1.3.1 Системы контроля и управления энергоблока АЭС**

#### **11.1.3.1.1 Система верхнего блочного уровня, включая технические средства оперативно-диспетчерского управления и экран коллективного пользования**

##### **11.1.3.1.1.1 Принципы проектирования**

СВБУ является информационно-управляющей системой, предназначенной для централизованного контроля и супервизорного управления энергоблоком, обработки и визуализации параметров технологического процесса, обеспечения дистанционного управления технологическим оборудованием энергоблока, документирования и информационной поддержки операторов, представления параметров безопасности.

ТС ОДУ предназначены для:

- контроля и управления системами безопасности на блочном и резервном пунктах управления (БПУ и РПУ) и системой управления и защиты реактора во всех эксплуатационных режимах, включая аварии;
- контроля и управления оборудованием систем нормальной эксплуатации энергоблока в объеме, необходимом для управления при отказе СВБУ;
- контроля и регистрации параметров, характеризующих послеаварийное состояние энергоблока.

ЭКП предназначен для обеспечения поддержки оперативного персонала БПУ обобщенной визуальной информацией о состоянии энергоблока.

##### **11.1.3.1.1.1.2 Проект системы**

В состав технических средств СВБУ, включая ЭКП и ТС ОДУ входят:

- средства обработки поступающей в СВБУ информации (серверы);
- дисплейные рабочие станции – средства информационного обеспечения, информационной поддержки и управления;
- локальная вычислительная сеть системы верхнего блочного уровня (ЛВС СВБУ) для обмена информацией между компонентами СВБУ и внешними системами;
- устройства печати;
- устройство передачи данных;
- видеокубы из состава ЭКП;
- шкафы питания и управления ЭКП;
- средства настройки и конфигурации ЭКП;
- мозаичные панели из состава ТС ОДУ;
- комплект запасных частей.

##### **11.1.3.1.1.1.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СВБУ, включая ТС ОДУ и ЭКП расположена в здании управления.

#### **11.1.3.1.1.2 Система контроля и управления нормальной эксплуатации**

##### **11.1.3.1.1.2.1 Принципы проектирования**

СКУ НЭ предназначена для выполнения функций контроля, защит и блокировок, автоматизированного и дистанционного управления, технологической сигнализации и авторегулирования применительно к технологическим системам нормальной эксплуатации, в том числе и важным для безопасности, а также включая технологические системы нормальной эксплуатации, относящиеся к турбине. СКУ НЭ выполняет функции контроля параметров при нормальной эксплуатации, нарушениях режимов нормальной эксплуатации, при проектных и запроектных авариях с установленными в проекте показателями качества, надежности и метрологическими характеристиками.

##### **11.1.3.1.1.2.2 Проект системы**

Технические средства СКУ нормальной эксплуатации обладают всеми функциями, которые необходимы для автоматизации технологических процессов нормальной эксплуатации на атомных электростанциях:

- приём и обработка данных технологического процесса;
- прием и обработка команд управления приводами (посредством АРМ СВБУ или ТС ОДУ);
- организация функционально-группового управления;
- формирование сигналов для представления сообщений на средствах управления;
- автоматическое регулирование.

Управление и наблюдение за процессом производится непосредственно с помощью системы верхнего блочного уровня (СВБУ) посредством АРМ или ТС ОДУ.

В программно-технические средства, использованные для построения СКУ НЭ входят:

- стойки приборные, содержащие:
- станции ввода-вывода;
- процессоры автоматизации;
- блоки шлюза сопряжения;
- стойки приборные автономные;
- стойки питания;
- блоки сопряжения;
- средства коммуникации;
- средства конфигурирования.

#### **11.1.3.1.1.2.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СКУ НЭ расположена в здании управления.

#### **11.1.3.1.1.3 Система обнаружения течи теплоносителя второго контура**

##### **11.1.3.1.1.3.1 Принципы проектирования**

СОТТ-2 предназначена для:

- обеспечения непрерывного автоматизированного мониторинга течей главных паропроводов и трубопроводов основной питательной воды;
- идентификации течей, включая оценку местоположения течи и величины расхода теплоносителя по трем параметрам – акустическим шумам, локальной влажности под теплоизоляцией, интегральной влажности в помещениях с контролируемыми трубопроводами;
- выдачи результатов контроля герметичности второго контура оператору.

##### **11.1.3.1.1.3.2 Проект системы**

В состав СОТТ-2 входят:

- система акустического контроля течи второго контура;
- система влажностного контроля течи второго контура;
- система контроля течи по влажности в помещениях гермообъема;
- система верхнего уровня, реализованная в СКД.

Для реализации функциональной независимости трех систем СОТТ-2, системы являются автономными, функционально законченными, связанными с СКД информационными потоками через сервер СКД.

Подсистемы, входящие в СОТТ-2 имеют статус информационных, не предназначенных для связи с системами управления энергоблока и не вызывающих автоматическое срабатывание систем управления и защиты реактора.

##### **11.1.3.1.1.3.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СОТТ-2 расположена в зданиях управления, реактора, паровой камеры.

#### **11.1.3.1.1.4 Система вибромониторинга и диагностики вращающегося оборудования**

##### **11.1.3.1.1.4.1 Принципы проектирования**

СВД предназначена для:

- автоматизации контроля механических величин и вибрационного состояния основного роторного оборудования;
- диагностики контролируемого оборудования;
- накопления информации по сигнализации и результатам измерения, отображение ее на входящие в состав системы средства визуализации;
- передачи информации в ПТК СКУ НЭ, СВБУ и на устройство сигнализации - БПУ.

Основная цель СВД - повышение уровня надёжности, безопасности и удобства эксплуатации основного роторного оборудования машинного зала и насосной станции потребителей здания турбины.

СВД является системой непрерывно-периодического действия, которая может работать как автономно, так и в составе СКУ.

#### **11.1.3.1.1.4.2 Проект системы**

СВД включает в себя:

- первичные преобразователи (датчики) с узлами крепления, устанавливаемые на контролируемое оборудование, в том числе:
  - 1) датчики абсолютной вибрации;
  - 2) датчики относительной вибрации;
  - 3) датчики измерения механических величин;
  - 4) датчики измерения частоты вращения и фазы вибрации.
- предварительные усилители и нормирующие преобразователи сигналов;
- программно-технические комплексы «агрегатного» уровня, включающие в свой состав резервированные локальные сервера сбора, хранения и обработки информации;
- сервер долговременного хранения данных, сервер конфигурирования системы и два шлюза обмена с СВБУ;
- автоматизированные рабочие места;
- устройства связи и кабели;
- прочее оборудование, включая источники резервного питания, принтеры, устройства гальванической развязки и т.д.;
- шкафы, стойки, клеммные коробки, прочие конструкции, обеспечивающие размещение и защиту оборудования СВД;
- системное, базовое и специальное программное обеспечение (ПО), установленное на серверах и АРМ СВД, обеспечивающее выполнение возложенных на СВД функций;
- комплект сервисного оборудования, ПО и ЗИП.

#### **11.1.3.1.1.4.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СВД расположена в зданиях управления, турбины.

#### **11.1.3.1.1.5 Система регистрации важных параметров**

##### **11.1.3.1.1.5.1 Принципы проектирования**

СРВПЭ предназначена для регистрации, хранения и выдачи информации о техническом состоянии энергоблока до, во время и после аварии в объеме, достаточном для последующего анализа аварийной ситуации и выяснения причин ее возникновения, путей развития, а также анализа действий персонала по ее локализации, ликвидации и предупреждению.

СРВПЭ предназначена для работы во всех режимах нормальной эксплуатации, при нарушениях нормальных условий эксплуатации, при всех видах проектных аварий, при запроектных авариях.

В случае запроектных аварий, при которых отсутствует поступление информации в СРВПЭ, система должна обеспечивать хранение ранее зарегистрированной информации для ее последующего анализа.

##### **11.1.3.1.1.5.2 Проект системы**

СРВПЭ построена, как резервируемая двухканальная система, исходя из принципа единичного отказа. Комплекс технических средств состоит из двух независимых, идентичных, дублирующих друг друга серверов СРВПЭ.

В состав комплекса технических средств СРВПЭ входят:

- сервера;
- комплект ЗИП;
- комплект сервисной аппаратуры.

### **11.1.3.1.1.5.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СРВПЭ расположена в здании управления.

### **11.1.3.1.2 Блочный пункт управления**

#### **11.1.3.1.2.1 Принципы проектирования**

Контроль и управление основным технологическим процессом, контроль безопасности АЭС во всех режимах нормальной эксплуатации, при проектных и запроектных, тяжелых авариях, реализуется с БПУ.

При поражении БПУ останов блока и перевод его в безопасное состояние осуществляется с резервного пункта управления (РПУ).

БПУ обеспечивает выполнение следующих функций контроля и управления:

- контроль и управление эксплуатацией АЭС в соответствии с предназначением (нормальные условия эксплуатации, нарушении нормальных условий и аварии);
- обнаружение неисправностей во всех системах НЭ, в системах важных с точки зрения безопасности, а также принятия мер по поддержанию безопасного состояния и обеспечения готовности энергоблока к реализации задач технологического процесса;
- обнаружение событий, приведших к выходу за пределы эксплуатации в соответствии с предназначением, а также принятия мер, направленных на их устранение и ограничение их последствий;
- принятие мер по защите персонала.

В концепции создания БПУ – широкое использование автоматизированных рабочих мест для управления системами с сохранением ТС ОДУ для резервного управления системами, важными для безопасности. Уровень резервирования и независимости средств управления и представления информации определяется таким, чтобы вероятный отказ не приводил к потере функции интерфейса человек-машина.

При нормальной эксплуатации управление осуществляется с автоматизированных рабочих мест. При отказах оперативной системы управления и мониторинга управление осуществляется с секций ТС ОДУ, где размещаются традиционные средства управления и индивидуальные приборы контроля и регистрации параметров.

При выполнении проекта рассматриваются вопросы размещения оперативных средств, последовательности операций, выполняемых операторами, легкости доступа к оперативным средствам с целью обеспечения операторов возможностью выполнения возлагаемых на них функций в нормальном, переходном, аварийном режимах работы.

Система поддержки операторов предназначена для помощи оперативному персоналу во всех проектных режимах работы энергоблока и обеспечивает:

- оценку текущего состояния технологического процесса и тенденций его развития;
- распознавание и выявление причин нарушения нормальной эксплуатации и аварий;
- выбор необходимых инструкций по управлению для смягчения последствий аварий и контроль правильности их выполнения.

На БПУ предусматривается визуальная и звуковая сигнализация для оповещения оперативного персонала о возникающих в процессе эксплуатации отклонениях от нормальных режимов, авариях и неисправностях технических средств. Это предоставляет оператору следующие возможности:

- определение возможных сбоев и принятие мер для устранения неисправностей;
- наблюдение за выполнением функций системы автоматизации;
- вмешательство, если функция не выполняется и введение замещения или резерва;
- ликвидировать сбой и определять причины отдельных отказов;
- организовывать ремонт и обслуживание.

Сигнализация реализуется с помощью:

- средств СВБУ;
- экрана коллективного пользования;

– ТС ОДУ.

Обработка сигналов системой верхнего блочного уровня сводит к минимуму несущественные сигналы или сигналы, дублирующие друг друга, формируемые по одному и тому же событию. Привлечение внимания оператора необходимо только тогда, когда от него требуется проведение корректирующих действий или для его осведомления об изменении состояния станции.

Для создания безопасных нормальных условий, при которых операторы могут управлять энергоблоком, а также поддерживать его в безопасном состоянии при экстремальных событиях и в аварийных режимах, предусматриваются системы жизнеобеспечения БПУ, включающие технологические системы и дополнительное оборудование.

#### **11.1.3.1.2.2 Размещение БПУ**

БПУ расположено в здании управления.

#### **11.1.3.1.3 Системы контроля и управления реакторной установки**

Системы контроля и управления РУ предназначены для выполнения функций контроля, управления, защиты и диагностики состояния РУ.

#### **11.1.3.1.3.1 Системы контроля, управления и диагностики реакторной установки**

##### **11.1.3.1.3.1.1 Принципы проектирования**

СКУД является комплексной автоматизированной системой, входящей в состав оборудования РУ и предназначенной для функционирования в составе СКУ энергоблока в режимах нормальной эксплуатации, нарушений нормальной эксплуатации и при проектных авариях.

СКУД обеспечивает выполнение следующих основных задач:

– контроль нейтронно-физических параметров активной зоны и тепловой мощности в диапазоне мощности ядерного реактора от 10 до 120 % от номинальной и теплогидравлических параметров первого и второго контуров (расходов, давления и температуры) в объеме, необходимом для решения задач СВРК, в диапазоне мощности от 0 до 120 % от номинальной;

– формирование и передачу защитных (АЗ) в иницирующую часть АЗ-УСБТ (СУЗ) и управляющих в иницирующую часть ПЗ (СУЗ) сигналов для защиты активной зоны по внутриреакторным локальным параметрам в диапазоне мощности реактора от 20 до 110 % от номинальной;

– информационная поддержка оператора при управлении полем энерговыделения во время работы энергоблока в диапазоне от 20 до 100 % от номинальной мощности. Задача реализуется в режиме автоматизированного управления с участием оператора;

– диагностирование в процессе эксплуатации основного технологического оборудования РУ в части контроля вибронгруженности и надежности крепления элементов оборудования РУ, обнаружения свободных и слабозакрепленных предметов в контуре циркуляции, контроля герметичности оборудования и трубопроводов главного циркуляционного контура и оценки остаточного ресурса;

– контроль эксплуатационных пределов и пределов безопасной эксплуатации в части измеряемых и расчетных параметров СКУД и формирование сигналов об отклонении контролируемых параметров за значение величины, соответствующей эксплуатационным пределам и пределам безопасной эксплуатации, отображение этой информации на собственных мониторах ПТС СВРК и передачу этой информации в СВБУ и для отображения на БПУ, с целью предотвращения развития аварии и исключения повреждения активной зоны и основного оборудования РУ;

– представление информации о текущем состоянии активной зоны и основного оборудования РУ и передачу данной информации в СВБУ для отображения на БПУ, для информационной поддержки персонала;

– информационная поддержка персонала (с выдачей рекомендаций) по оптимальному ведению ВХР первого контура;



- контроль нейтронных шумов с целью обнаружения локального кипения теплоносителя в объеме активной зоны;
- контроль ограничений по нагрузке топлива в процессе выгорания активной зоны (информационная поддержка персонала по оптимальной нагрузке ТВЭЛ с учетом истории их выгорания на основе анализа термомеханических свойств ТВЭЛ);
- представление эксплуатационному персоналу (по запросу) информации для определения текущего состояния активной зоны и основного оборудования РУ, полученной на основе комплексного анализа всей необходимой информации от систем, входящих в состав СКУД, и от СВБУ для принятия решений по ходу эксплуатации энергоблока;
- измерение и представление данных по реактивности, необходимых для контроля нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторной установки при вводе блока в эксплуатацию, проведении пуско-наладочных работ, в процессе освоения мощности, а также при регламентных измерениях на МКУ после перегрузок топлива;
- создание архива данных по истории эксплуатации активной зоны и основного технологического оборудования РУ (в объеме, контролируемом СКУД), для оптимизации и повышения качества профилактических осмотров, диагностики и ремонта остановленного оборудования на этапе перегрузки топлива;
- прием информации от трех систем течей по второму контуру для выполнения комплексного анализа по уточнению величины и места течи с выдачей уточненной информации, а также сигнализации об обнаружении течи в СВБУ;
- обмен данными от ВК СВРК, ВК СКД через сеть СВБУ с системами СКУ энергоблока для решения общеплочных задач и получения информации, необходимой для функционирования СКУД;
- диагностирование собственных технических и программных средств СКУД.

#### **11.1.3.1.3.1.2 Проект системы**

В состав СКУД входят следующие системы:

- система внутриреакторного контроля (СВРК);
- система контроля вибраций (СКВ);
- система акустического контроля течей (САКТ);
- система контроля течей влажностная (СКТВ);
- система обнаружения свободных предметов (СОСП);
- система автоматизированного контроля остаточного ресурса (САКОР);
- система комплексного диагностирования (СКД);
- система комплексного анализа и информационной поддержки (СКА).

Также в состав СКУД входят локальная сеть СВРК с сетевыми устройствами (коммутаторы СВРК) и локальная сеть СКУД с сетевыми устройствами (коммутаторы СКУД).

#### **11.1.3.1.3.1.3 Размещение основных элементов оборудования**

Системы СКУД расположены в зданиях реактора, управления.

#### **11.1.3.1.3.2 Аварийный контроль уровня теплоносителя**

##### **11.1.3.1.3.2.1 Принципы проектирования**

Аварийный контроль уровня теплоносителя предназначен для обеспечения эксплуатационного персонала надежной информацией о появлении в корпусе реактора уровня теплоносителя (границы раздела фаз: вода-парогазовая смесь) в предаварийной ситуации, при прохождении аварийного режима.

##### **11.1.3.1.3.2.2 Проект системы**

Аварийный контроль уровня теплоносителя в корпусе реактора осуществляется СКУТ, состоящей из четырех независимых комплектов (каналов), в каждый из которых входят:

- дискретный индикатор уровня в составе сборки внутриреакторных детекторов;
- кабельный шлейф – от состава сборки внутриреакторных детекторов до электрического соединителя на шахте бетонной реактора;

- кабельная трасса – от электрического соединителя на шахте бетонной реактора до кабельной герметичной проходки в контайнменте;
- аппаратура индикатора уровня;
- кабельная линия связи от гермопроходки до аппаратуры индикатора уровня;
- сигнальные табло на БПУ и РПУ;
- панель сигнальная (для настройки);
- индивидуальные приборы аварийного контроля температуры на БПУ и РПУ.

#### **11.1.3.1.3.2.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СКУТ расположена в зданиях реактора, управления.

#### **11.1.3.1.3.3 Устройство контроля протечек фланцевых разъемов и главного разъема реактора**

##### **11.1.3.1.3.3.1 Принципы проектирования**

Устройство контроля протечек фланцевых разъемов (сигнализатор протечек) – устройство для сигнализации появления давления в межпрокладочной полости фланцевых разъемов крышки реактора.

Устройство контроля протечек главного разъема реактора предназначено для контроля плотности уплотнения главного разъема реактора. Данный канал измерения относится к системам важным для безопасности.

##### **11.1.3.1.3.3.2 Проект системы**

Устройство представляет собой концевой выключатель, один контакт которого поджат пружиной, настроенной на определенное усилие. При разрушении основной прокладки фланцевых соединений, пароводяная смесь заполняет замкнутое пространство системы контроля протечек. При появлении избыточного давления в замкнутой полости, в которой стоит сигнализатор протечек, происходит замыкание контактов концевого выключателя.

Устройство представляет из себя импульсную трубку, один конец которой сообщается с межпрокладочной полостью главного разъема реактора (между наружной и внутренней прокладками), а другой конец выведен в помещение первичных преобразователей на манометр.

##### **11.1.3.1.3.3.3 Размещение основных элементов оборудования**

Устройство контроля протечек фланцевых разъемов и главного разъема реактора расположено в здании реактора.

#### **11.1.3.1.3.4 Аппаратура контроля гидроамортизаторов оборудования реакторной установки**

##### **11.1.3.1.3.4.1 Принципы проектирования**

Гидроамортизаторы и вязкоупругие демпферы – элементы оборудования РУ предназначенные для ограничения перемещения оборудования и трубопроводов первого контура при воздействии на них сейсмических и аварийных динамических нагрузок.

АКГА выполняет следующие основные задачи:

- контроль за линейным перемещением штока гидроамортизатора;
- контроль за линейным перемещением штока вязкоупругого демпфера в трех взаимно перпендикулярных направлениях;
- контроль за наличием рабочей жидкости в баке резервной жидкости.

Контроль за работой гидроамортизаторов и вязкоупругих демпферов осуществляется АКГА, которая является автоматизированной системой, входящей в состав СКУ НЭ.

##### **11.1.3.1.3.4.2 Проект системы**

В состав АКГА входят датчики линейных перемещений, устанавливаемые на гидроамортизаторах и вязкоупругих демпферах.

Для контроля за уровнем рабочей жидкости в баке резервной жидкости в комплект поставки каждого гидроамортизатора входит датчик-реле уровня двухпозиционный с соединителем.

##### **11.1.3.1.3.4.3 Размещение основных элементов оборудования**

АКГА расположена в здании реактора.

### **11.1.3.1.3.5 Система технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов**

#### **11.1.3.1.3.5.1 Принципы проектирования**

Система диагностирования ГЦНА является автоматизированной системой и предназначена для функционирования в составе ГЦНА в режимах нормальной эксплуатации, с нарушениями нормальной эксплуатации и проектными авариями, рассмотренных в проекте РУ.

#### **11.1.3.1.3.5.2 Проект системы**

Система обеспечивает решение следующих основных задач:

- контроль за эксплуатацией главных циркуляционных насосов;
- диагностирование (определение технического состояния) главных циркуляционных насосов.

#### **11.1.3.1.3.5.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система диагностирования ГЦНА расположена в зданиях реактора, управления.

### **11.1.3.1.3.6 Средства температурного контроля первого контура**

#### **11.1.3.1.3.6.1 Принципы проектирования**

Средства температурного контроля первого контура предназначены для контроля температуры теплоносителя первого контура и контроля температуры поверхности оборудования и трубопроводов первого контура реакторной установки. Они являются элементами измерительных каналов управляющих систем безопасности (УСБ АЗ-ПЗ, УСБТ, СВРК), систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности.

#### **11.1.3.1.3.6.2 Проект системы**

Датчики температурного контроля температуры теплоносителя первого контура и температуры поверхности оборудования и трубопроводов первого контура устанавливаются в защитные чехлы, входящие в состав контролируемого оборудования и трубопроводов, и не находятся в непосредственном контакте с теплоносителем первого контура.

#### **11.1.3.1.3.6.3 Размещение основных элементов оборудования**

Средства температурного контроля первого контура расположены в здании реактора.

### **11.1.3.1.4 Система управления и защиты РУ (СУЗ РУ)**

#### **11.1.3.1.4.1 Принципы проектирования**

СУЗ предназначена для автоматического и ручного управления мощностью, реактивностью и энергораспределением в активной зоне реактора, обеспечения контроля теплогидравлических и нейтронно-физических параметров РУ и контроля положения ОР СУЗ, взаимобмена сигналами с сопрягаемыми системами СКУ.

СУЗ обеспечивает поддержание параметров РУ в рамках эксплуатационных пределов при нормальных условиях эксплуатации, ограничение мощности вплоть до полного останова реактора при нарушениях нормальной эксплуатации и аварийную защиту при предаварийных ситуациях и проектных авариях, формирования сигналов защиты в исполнительную часть УСБТ.

Система управления и защиты включает в себя:

- два четырехканальных комплекта АЗ-УСБТ, каждый из которых включает в себя иницирующую и исполнительную части;
- один четырехканальный комплект предупредительной защиты реактора, включающий в себя иницирующую и исполнительную части;
- аппаратуру контроля нейтронного потока (АКНП);
- систему группового и индивидуального управления приводами ОР СУЗ (СГИУ);
- информационно-диагностическую сеть;
- автоматический регулятор мощности (АРМР) реактора (трехканальный);
- системы промышленной антисейсмической защиты (СИАЗ).

Подсистемы аварийной и предупредительной защиты реактора (совместно с ОР СУЗ) предназначены для контроля параметров реактора, управления мощностью реактора,

включая плановую и аварийную остановку, быстрого перевода в подкритическое состояние, поддержания его в этом состоянии, а также для передачи сигналов в другие системы СКУ.

Каждая из систем АЗ-УСБТ и ПЗ включает в себя:

- иницирующую часть;
- исполнительную часть.

Иницирующие части систем АЗ-УСБТ и ПЗ предназначены для:

- контроля нейтронно-физических и технологических параметров, а также расчёта сложных параметров, по которым осуществляются защиты реактора, и сравнения их с соответствующими уставками;
- логической обработки дискретных сигналов о достижении контролируемыми параметрами соответствующих уставок в соответствии с алгоритмами и выдачи сигналов защит в исполнительную часть АЗ и ПЗ;
- выдачи сигналов в другие системы СУЗ, СКУД и информации в СВБУ.

Иницирующая часть управляющей системы безопасности предназначена для формирования и передачи иницирующих сигналов в исполнительную часть УСБТ в соответствии с критериями. Описание представлено в 11.1.3.2.1.

Комплекс аппаратуры контроля нейтронного потока предназначен для контроля физической мощности, периода реактора, реактивности по значению плотности потока тепловых нейтронов, скорости её изменения. Другие измеряемые параметры, такие как температура теплоносителя в холодной и горячей нитках петель, перепад давления на ГЦНА, положение ОР СУЗ, позволяют учесть неравномерность энерговыделения в активной зоне и влияние изменения параметров теплоносителя на показания блоков детектирования.

Оборудование программно-технического комплекса СГИУ выполняет следующие основные функции:

- автоматическое снижение мощности реактора при поступлении сигнала УПЗ путем снятия разрешения управления с ОР СУЗ одной заранее заданной группы или ее части, кратной трем ОР СУЗ, относящимся к одному шкафу силового управления, вызывающее их падение до нижнего механического упора;
- автоматическое снижение мощности реактора при поступлении сигнала ПЗ1 путем поочередного движения вниз с рабочей скоростью групп ОР СУЗ, начиная с группы, определенной для движения вниз заданной последовательностью перемещения групп ОР СУЗ (при снятии сигнала ПЗ1 движение группы вниз прекращается);
- введение запрета на движение всех ОР СУЗ вверх при поступлении сигнала ПЗ2, движение вниз при этом разрешается (при снятии сигнала ПЗ2 запрет на движение ОР СУЗ вверх снимается);
- реализация заданной последовательности перемещения штатных (фиксированных) групп ОР СУЗ при автоматическом и ручном групповом управлении с передачей движения от группы к группе;
- ручное индивидуальное и групповое управление органами регулирования реактора;
- автоматическое регулирование мощности реактора по командам АРМР;
- контроль положения ОР СУЗ по сигналам датчика положения;
- индикация положения 12-ти штатных групп ОР СУЗ на БПУ и РПУ;
- передача информации по положению ОР двух регулирующих групп и ОР СУЗ группы УПЗ в аппаратуру АКНП по интерфейсу RS-485;
- снятие ОР СУЗ с нижних механических упоров после срабатывания АЗ;
- автоматическое выравнивание положений ОР СУЗ в группе, работающей под управлением регулятора мощности реактора (процесс выравнивания вводится по команде оператора);
- информационная поддержка оперативного персонала в части визуализации режимов работы СГИУ и АРМР, положения отдельных ОР СУЗ и групп ОР СУЗ, индикации неисправностей трактов контроля и управления ОР;
- формирование и передача в ПТК данных по положению всех ОР СУЗ реактора с дискретностью 2 см от нижнего жесткого упора, функционированию и состоянию

оборудования СГИУ, приводов и датчиков положения ОР СУЗ, данных для определения времени падения ОР СУЗ по сигналам АЗ и УПЗ, данных, необходимых для диагностики приводов ОР СУЗ и датчиков положения;

– самодиагностика состояния оборудования СГИУ.

Оборудование программно-технического комплекса системы группового и индивидуального управления и контроля положения (ПТК СГИУ) обеспечивает перемещение ОР СУЗ и групп ОР СУЗ реактора при изменении мощности реактора.

АРМР предназначен для приведения мощности реактора в соответствие с мощностью турбогенератора при одновременном поддержании заданного давления пара, поддержания заданного значения нейтронной мощности реактора и ограничения увеличения давления пара. Для выполнения этой задачи АРМР обеспечивает в соответствии с заданными алгоритмами формирование и выдачу команд «больше» (вверх) или «меньше» (вниз) в систему группового и индивидуального управления ОР СУЗ для управления рабочей группой ОР СУЗ.

Иницирующая часть управляющей системы безопасности предназначена для формирования и передачи иницирующих сигналов в исполнительную часть УСБТ в соответствии с критериями.

Система индустриальной антисейсмической защиты (СИАЗ) предназначена для контроля уровня сейсмических воздействий, формирования сигналов АЗ и передачи их в иницирующую часть АЗ для аварийного автоматического останова реакторной установки и транспортно-технологического и/или другого оборудования при интенсивности землетрясения более заданного значения, и для передачи информации для автоматической регистрации и сигнализации сейсмических воздействий на РУ устройство накопления и обработки по функции отображения и протоколирования из состава аппаратуры контроля нейтронного потока. В логических алгоритмах аварийной защиты предусмотрен сигнал по сейсмическому воздействию от системы индустриальной антисейсмической защиты.

#### **11.1.3.1.4.2 Проект системы**

Структура иницирующей части АЗ-УСБТ выполнена с учетом выполнения принципа единичного отказа и защиты от отказа по общей причине.

Иницирующая часть АЗ-УСБТ реализована в виде двух четырехканальных комплектов (А и Б), размещённых в четырёх помещениях каналов СБ (по одному каналу каждого комплекта в помещении).

Оба комплекта АЗ-УСБТ (иницирующая часть) реализованы на базе программно-технических средств.

Для реализации принципа резервирования иницирующая часть системы предупредительной защиты состоит из четырех каналов. Каждый резервированный канал имеет собственные первичные преобразователи.

Оборудование предупредительной защиты не требует диверсификации.

Иницирующая часть системы ПЗ реализована на базе программно-технических средств.

Каждый резервированный канал системы ПЗ имеет как собственные первичные преобразователи, так и общие измерительные преобразователи по одноименным параметрам по функциям АЗ и ПЗ (в пределах одного канала). Стойки приборные предупредительной защиты принимают по проводным линиям связи сигналы от собственных первичных преобразователей и по цифровым линиям связи (по шине) сигналы от стоек комплектов А и Б.

В состав исполнительной части АЗ-ПЗ входят четыре устройства формирования аварийных команд, конструктивно выполненных в виде шкафов, четыре шкафа управления и восемь устройств силового электропитания приводов ОР СУЗ с отключающими контакторами, конструктивно выполненных в виде четырёх шкафов, осуществляющих питание приводов переменным током, и четырёх шкафов, осуществляющих питание приводов постоянным током.

Оборудование исполнительной части АЗ-ПЗ разделено на два идентичных комплекта оборудования, размещенных в двух различных помещениях, не поражаемых одновременно по общей причине.

АКНП состоит из следующих составных частей:

- двух основных четырехканальных комплектов для контроля нейтронно-физических параметров в диапазоне от  $10^{-7}$  до  $150\% N_{ном}$  и формирования сигналов защиты и управления и представления информации на БПУ и РПУ;
- аппаратуры контроля нейтронного потока при физическом пуске реактора в диапазоне от  $10^{-3}$  до  $10^2$  нейтр/(см<sup>2</sup>·с) в каналах, размещаемых в биологической защите вне корпуса реактора;
- аппаратуры контроля нейтронного потока при загрузке/перегрузке активной зоны и повторных пусках реактора;
- аппаратуры контроля реактивности в диапазоне контроля мощности от  $10^{-8}$  до  $120\% N_{ном}$ , диапазон вычисления реактивности от минус 25 до плюс  $1\beta_{эфф}$ ;
- аппаратуры контроля энергораспределения.

В состав ПТК СГИУ входит следующее оборудование:

- шкафы, предназначенные для контроля положения и управления не более чем для шести ОР СУЗ, разделенных на две группы по три ОР СУЗ;
- шкафы силового управления, осуществляющие управление приводами трех ОР СУЗ;
- преобразовательные трансформаторы типа, обеспечивающие электропитание шкафов;
- шкафы серверов управления, реализующие распределение команд управления на группы ОР СУЗ и на отдельные ОР СУЗ в соответствии с заданной логикой работы СГИУ и АРМР;
- шкаф рабочих станций пульта оператора;
- групповые цифровые «зонные» индикаторы положения ОР СУЗ;
- шкаф групповой индикации;
- шкафы промежуточных клеммников.

Оборудование ПТК СГИУ представляет собой трехканальную магистрально-модульную систему, в которой передача команд на перемещение ОР СУЗ в активной зоне реактора, формируемых в соответствии с заданными алгоритмами управления и режимами работы СГИУ и АРМР, а также технологической и диагностической информации осуществляется с использованием сетевых технологий.

АРМР состоит из трех каналов, работающих параллельно. Конструктивно АРМР выполнен в отдельном шкафу.

Трехканальная структура АРМР является достаточно надежной.

СИАЗ для одного энергоблока АЭС выполнена в виде четырех независимых каналов защиты и трех независимых мониторинговых каналов. В состав каждого канала защиты входит два комплекта аппаратуры измерения сейсмических воздействий, каждый из которых включает в себя:

- трехкомпонентный сейсмодатчик (СД) или его аналог, не уступающий по характеристикам;
- блок коммутации для размножения сигналов, поступающих от СД в транспортно-технологическое оборудование и/или другое оборудования, в УНО АОП и иницирующую часть АЗ-УСБТ.

### **11.1.3.1.5 Система верхнего станционного уровня**

#### **11.1.3.1.5.1 Принципы проектирования**

СВСУ предназначена для:

- формирования и передачи команд операторов СВСУ по управлению технологическими процессами общестанционных систем и схемой выдачи мощности;
- контроля параметров безопасности и режима работы основного оборудования энергоблоков;
- контроля технологических процессов и состояния оборудования общестанционных систем АЭС;

– интеграции всей необходимой информации по общестанционным системам СКУ и по энергоблокам.

#### **11.1.3.1.5.2 Проект системы**

СВСУ обеспечивает:

– передачу команд управления оборудованием общестанционных систем во всех режимах АЭС при наличии электропитания оборудования СКУ;

– информационное обеспечение и информационную поддержку оперативного персонала общестанционных объектов в контроле за технологическим процессом и за работоспособностью соответствующего оборудования во всех проектных режимах эксплуатации АЭС;

– передачу информации в ЛВС АЭС.

СВСУ энергоблока представляет собой совокупность:

– ПТК СВСУ;

– ППО СВСУ.

#### **11.1.3.1.5.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СВСУ находится в административно-лабораторно-бытовой корпусе.

### **11.1.3.2 Системы и средства контроля и управления системами безопасности**

Состав систем и средства контроля и управления системами безопасности входят:

– управляющие системы безопасности блока АЭС;

– резервный пункт управления (РПУ).

#### **11.1.3.2.1 Управляющие системы безопасности**

##### **11.1.3.2.1.1 Принципы проектирования**

Управляющие системы безопасности (УСБ) – это системы, предназначенные для инициирования действий систем безопасности, осуществления контроля и управления ими в процессе выполнения заданных функций.

В соответствии с концепцией глубоко эшелонированной защиты в проекте предусмотрены системы безопасности, предназначенные для выполнения следующих основных функций безопасности в условиях отказа или проектной аварии:

- остановки реактора (с использованием любой из двух независимых систем управления реактивностью);

- обеспечения достаточности количества теплоносителя в реакторе;

- обеспечения целостности первого контура (кроме аварий, для которых исходным событием является разрыв трубопроводов первого контура);

- отвода тепла от активной зоны реактора;

- отвода тепла от первого контура и его расхолаживание;

- отвода тепла от отработавшего топлива.

В зависимости от принципов формирования управляющих воздействий на защитное и локализирующее оборудование блока в УСБ выделены следующие системы защит и управления:

- система аварийной защиты реактора, включающая в себя иницирующую и исполнительную часть;

- система запуска технологического оборудования систем безопасности, включающая в себя иницирующую (реализуемой совместно с иницирующей частью аварийной защиты) и исполнительную часть;

Описание АЗ представлено в 11.1.3.1.4.

Иницирующая часть УСБТ предназначена для формирования сигналов в исполнительную часть УСБТ, обеспечивающую выдачу команд для управления исполнительными механизмами систем безопасности.

Исполнительная часть УСБТ при нормальной эксплуатации осуществляет:

– непрерывный контроль исправности технических средств системы и периодические, с участием персонала, проверки ее функционирования;

- контроль за технологическим оборудованием систем безопасности и предоставления информации оперативному персоналу;
- прием сигналов от локальные технологических защит и блокировок нормальной эксплуатации, систем, совмещающих функции нормальной эксплуатации и безопасности, и выдает, в отдельных случаях, управляющие воздействия на технологическое оборудование;
- автоматическое регулирование;
- дистанционное переключение режимов работы регуляторов;
- при необходимости, дистанционное управление.

При возникновении аварийных ситуаций по сигналам параметров исходных событий исполнительная часть УСБТ работает по прямому назначению и реализует следующие функции:

- по инициирующим сигналам, получаемым из инициирующей части УСБТ, формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы
- реализует необходимые приоритеты действий автоматики и оператора;
- осуществляет контроль за выполнением заданных функций;
- при необходимости, осуществляет дистанционное управление.

#### **11.1.3.2.1.2 Проект системы**

Иницирующая и исполнительная часть УСБТ состоит из четырех независимых каналов, размещённых в четырёх помещениях каналов УСБ и реализованных на программно-технических средствах.

Для реализации принципа разнообразия в системе УСБ в каждом канале инициирующей части имеются два подканала, условно называемых диверситет А и Б. Выходные сигналы каждого из подканалов поступают в модуль голосования для мажоритарной обработки и затем в модули приоритетного управления, команды с которых поступают непосредственно на соответствующие исполнительные механизмы систем безопасности.

В состав оборудования инициирующей части УСБТ, размещенного в помещениях каналов УСБ, входят стойки автоматизации.

В состав оборудования исполнительной части УСБТ входят стойки с модулями приоритетного управления.

#### **11.1.3.2.1.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система УСБТ находится в здании управления.

#### **11.1.3.2.2 Резервный пункт управления**

##### **11.1.3.2.2.1 Принципы проектирования**

При поражении БПУ управление энергоблоком осуществляется с РПУ.

Резервный пункт управления предназначен для перевода энергоблока в подкритическое состояние «Холодный останов» и поддержания его в этом состоянии сколь угодно долго в случае невозможности управления с БПУ, при пожаре на БПУ.

С РПУ производится расхолаживание энергоблока аналогично расхолаживанию с БПУ.

##### **11.1.3.2.2.2 Проект системы**

Проект РПУ ориентирован на минимизацию количества оборудования, высокую надежность выполнения функций и конфигурацию, доступную для легкого и быстрого понимания.

На РПУ предусматривается автоматизированное рабочее место (АРМ) ведущего инженера управления РПУ, секций ТС ОДУ, аналогичные секциям на БПУ, и станции противопожарного мониторинга.

Одновременное управление с БПУ и РПУ невозможно. Когда управление и наблюдение за состоянием блока переводится на РПУ, сигналы с БПУ блокируются. Ключ переключения места управления находится на РПУ, схемотехнические решения исключают формирование ложного переключения при единичных отказах в цепях формирования команд.



Взаимное размещение БПУ и РПУ относительно друг друга, а также проектные решения исключают потери БПУ и РПУ по общей причине.

#### **11.1.3.2.2.3 Размещение основных элементов оборудования**

РПУ расположен в здании управления.

#### **11.1.3.3 Системы и средства диагностики дефектов**

##### **11.1.3.3.1 Принципы проектирования**

Контроль и диагностирование основного оборудования и трубопроводов РУ на работающем энергоблоке осуществляется системами диагностики, разрабатываемыми в составе системы контроля, управления и диагностики.

Описание СКУД представлено в п. 11.1.3.1.3.1.

#### **11.1.3.4 Системы и средства контроля целостности и работоспособности барьеров**

##### **11.1.3.4.1 Принципы проектирования**

Ограничение распространения радиоактивных газов и аэрозолей по станции и выхода их в окружающую среду обеспечивается за счет последовательной реализации принципа глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении системы защитных барьеров на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду. Такими барьерами являются: топливная матрица, оболочка ТВЭЛа; граница контура первичного теплоносителя; герметичная оболочка, ограждающая контур первичного теплоносителя.

В условиях нормальной эксплуатации все барьеры и средства их защиты находятся в работоспособном состоянии. При выявлении неработоспособности любого из предусмотренных барьеров или средств его защиты, согласно условиям безопасной эксплуатации, работа АЭС на мощности запрещается.

Для всех условий эксплуатации АЭС в проекте устанавливаются значения эксплуатационных пределов и пределов безопасной эксплуатации, характеризующие состояния систем (элементов) и АЭС в целом и позволяющие гарантировать контроль целостности барьеров и, в первую очередь, оболочек топливных элементов и, тем самым, предотвратить значительный выход продуктов деления из топлива в теплоноситель первого контура и далее в помещения станции с основным технологическим оборудованием.

Контроль целостности защитных барьеров АЭС осуществляется с помощью следующих систем:

- автоматизированная система радиационного контроля (АСРК);
- система влажностного контроля течей (СКТВ) в составе СКУД;
- система акустического контроля течей (САКТ) в составе СКУД;
- УСБ.

Контроль целостности защитных барьеров осуществляется с помощью автоматизированной системы радиационного технологического контроля (АСРТК), которая входит в состав автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК). АСРТК предназначена для диагностики состояния защитных барьеров и технологического оборудования систем с радиоактивными средами, поиска источников утечки радионуклидов и контроля утечки радиоактивных веществ в окружающую природную среду во всех режимах работы АЭС, включая аварии.

Описание АСРТК представлено в разделе 15.

Описание СКТВ и САКТ представлено в п. 11.1.3.1.3.1.

Описание УСБ представлено в п. 11.1.3.2.1.

#### **11.1.3.5 Система контроля и управления противопожарной защитой энергоблока**

##### **11.1.3.5.1 Принципы проектирования**

СКУ ПЗ разработана как автономная система контроля и управления.

СКУ ПЗ энергоблока предназначена для автоматического контроля противопожарного состояния, обнаружения, управления системами локализации и тушения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в помещениях зданий энергоблока.

СКУ ПЗ общестанционных сооружений предназначена для автоматического контроля противопожарного состояния, обнаружения, управления системами локализации и тушения пожара в помещениях зданий, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, находящихся в зоне общестанционных вспомогательных зданий и сооружений.

СКУ ПЗ сохраняет работоспособность при всех аварийных ситуациях и проектных авариях. При потере БПУ по причине пожара или по другим причинам функционирование системы сохраняется в полном объеме на РПУ. При этом сохраняется адресная сигнализация о пожаре и возможность управления установками пожаротушения.

Сохраняется также возможность управления установками пожаротушения по месту, с контроллеров нижнего уровня.

#### **11.1.3.5.2 Проект системы**

СКУ ПЗ разработана на основе следующих основополагающих принципов:

- СКУ ПЗ выполнена как автономная система на базе микропроцессорной техники;
- СКУ ПЗ выполнена как двухуровневая (трехуровневая для каналов СБ) система управления;
- СКУ ПЗ имеет иерархическую структуру в целом и распределенную структуру технических средств, объединенных в кольцевую локальную сеть на нижнем уровне;
- СКУ ПЗ обеспечивает информационную поддержку оперативного персонала в виде рекомендаций действия персонала по ходу тушения пожара;
- СКУ ПЗ создается в виде открытой для дальнейшего развития и модернизации системы.

СКУ ПЗ включает в себя:

- адресные пожарные извещатели;
- измерительные датчики технологических параметров систем пожаротушения и противопожарной вентиляции;
- программируемые контроллеры–приборы приёмно-контрольные, пожарные, исполняющие информационные и управляющие функции;
- средства оповещения о пожаре.
- компьютерные шкафы станций противопожарного мониторинга.

#### **11.1.3.5.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СКУ ПЗ расположена во всех зданиях АЭС.

#### **11.1.3.6 Средства контроля концентрации водорода в объеме защитной оболочки при авариях**

##### **11.1.3.6.1 Принципы проектирования**

Система контроля концентрации водорода предназначена для обеспечения контроля водородной взрывобезопасности в зоне локализации аварии (ЗЛА) при всех проектных и учитываемых в проекте запроектных авариях.

Система контроля концентрации водорода является информационной системой предназначенной для контроля водородной взрывобезопасности в ЗЛА при нормальной эксплуатации, нарушении нормальных условий эксплуатации, а также проектных и запроектных авариях.

В функции системы контроля концентрации водорода входит:

- осуществлять непрерывный контроль концентрации водорода в герметичных помещениях АЭС в местах наиболее вероятного его появления с представлением информации на БПУ и РПУ;
- во время проектной аварии при превышении в контрольных точках заданного в проекте значения концентрации водорода формировать соответствующие сигналы на средства сигнализации расположенные на БПУ и РПУ;
- во время запроектной аварии предоставлять на БПУ и РПУ информацию о водородной взрывобезопасности (наличии либо отсутствии горючих смесей) и формировать соответствующие сигналы на средства сигнализации расположенные на БПУ и РПУ для каждого из возможных режимов горения (медленное горение, быстрое горение, детонация);

– помогать оператору в управлении запроектной аварией согласно требованиям аварийных инструкций, направленных на предотвращение реализации режимов горения водорода (быстрое горение, детонация), которые могут вызвать нарушение целостности герметичной оболочки.

При проектировании системы учитывались следующие принципы обеспечения безопасности:

- принцип резервирования;
- принцип разделения.

#### *Принцип резервирования*

Принцип резервирования выполняется за счет канального построения системы. В соответствии со структурой построения система имеет два независимых канала измерения. Каждый канал обеспечивает выполнение своих функций в полном объеме в режимах проектных и запроектных аварий. Наличие двух каналов измерения не допускает вывод одного из измерительных каналов в ремонт на длительный срок. Во время эксплуатации возможен ремонт (замена) только блоков вторичной аппаратуры, расположенной за пределами защитной оболочки. В случае выхода из строя первичных преобразователей их ремонт или замена возможны только при планово-предупредительном ремонте.

#### *Принцип разделения*

Для исключения зависимых отказов, а также для исключения влияния любых видов работ, выполняемых на оборудовании одного из каналов (ремонт, техническое обслуживание), на другие каналы, оборудование отдельных каналов системы вне герметичной оболочки размещается в разных, физически разделенных помещениях, а внутри герметичной оболочки элементы оборудования и кабельных связей разных каналов системы пространственно разнесены. Таким образом, благодаря физическому разделению каналов, отказ в одном канале не может привести к отказу в другом канале.

### **11.1.3.6.2 Проект системы**

В состав каждого канала системы контроля входит шесть модулей первичных средств измерений, состоящих из комбинированных газоанализаторов водорода и кислорода с датчиками температуры, и два модуля первичных средств измерений, включающих в свой состав кроме комбинированных газоанализаторов водорода и кислорода с датчиками температуры еще и датчик давления, а также аппаратно-программный комплекс.

### **11.1.3.6.3 Размещение основных элементов оборудования**

Система СККВ расположена во здании реактора.

### **11.1.3.7 Системы и средства контроля и управления системами физической защиты**

#### **11.1.3.7.1 Принципы проектирования**

Системы и средства контроля и управления системами физической защиты (АСФЗ) являются частью комплекса технических и организационных мер по обеспечению ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации АЭС.

АСФЗ предназначена для предотвращения несанкционированных действий по отношению к ядерным и радиоактивным материалам, физическим барьерам, находящихся на пути распространения ионизирующих излучений и радиоактивных веществ, а также по отношению к технологическим системам, их оборудованию и оперативному персоналу, управляющему технологическим процессом.

### **11.1.3.8 Системы и средства контроля организационного выхода радиоактивных продуктов**

#### **11.1.3.8.1 Принципы проектирования**

Контроль активности газоаerosольных выбросов в венттрубу осуществляется с помощью автоматизированной системы радиационного технологического контроля (АСРТК), которая входит в состав автоматизированной системы радиационного контроля (АСРК).

АСРТК предназначена для диагностики состояния защитных барьеров и технологического оборудования систем с радиоактивными средами, поиска источников

утечки радионуклидов и контроля утечки радиоактивных веществ в окружающую природную среду во всех режимах работы АЭС, включая аварии.

Часть функций системы АСРТК должна выполняться во всех режимах работы АЭС, включая аварии.

К этим функциям относится контроль газоаэрозольных выбросов.

Описание АСРТК представлено в разделе 15.

### **11.1.3.9 Системы и средства контроля окружающей среды**

#### **11.1.3.9.1 Принципы проектирования**

Радиационный контроль окружающей среды на Белорусской АЭС осуществляет автоматизированная система контроля радиационной обстановки в окружающей среде (АСКРО), которая является независимой системой, представляющую информацию внутривыпускным потребителям: оперативному персоналу отдела радиационной безопасности Белорусской АЭС, дирекции Белорусской АЭС, а также в ЕГ АСКРО (единую государственную автоматизированную систему контроля радиационной обстановки) Республики Беларусь. Контроль радиационной обстановки на промплощадке осуществляется системой РКП, входящей в состав АСРК. Информация из АСРК передается в АСКРО.

Описание АСКРО представлено в разделе 15.

### **11.1.3.10 Системы и средства связи и оповещения**

#### **11.1.3.10.1 Принципы проектирования**

Управление персоналом энергоблока и его оповещение при нормальной эксплуатации и при авариях осуществляется с использованием технических средств связи и оповещения.

Системы и средства связи и оповещения предназначены для обеспечения надежного и устойчивого управления эксплуатацией АЭС и своевременного оповещения персонала АЭС, его связи с внешними по отношению к АЭС объектами, а также оповещения населенных пунктов и предприятий, расположенных в пятикилометровой зоне. Система связи обеспечивает устойчивую связь с внешними объектами и организациями в повседневных условиях и при возникновении аварийных ситуаций.

Внутриобъектная связь предусматривает следующие виды связи:

- систему оперативной связи;
- общестанционную телефонную связь.

Оперативная связь предназначена для передачи команд оперативного персонала блочного и резервного пунктов управления (БПУ, РПУ) подчиненному оперативному персоналу, для ведения переговоров между ними, для оповещения и поиска персонала, для автоматической регистрации переговоров оперативного персонала, ведущихся по каналам связи, а так же для аудио и видео регистрации информации о действиях персонала БПУ и РПУ; общестанционная - для административно-хозяйственного руководства, обеспечения связи с персоналом различных служб (цехов) станции, а также доведения до персонала информации о точном времени и проведения дистанционного телевизионного контроля основного технологического оборудования АЭС.

#### **11.1.3.10.2 Проект системы**

Оперативная связь энергоблока и общестанционной части АЭС выполнена на базе своих собственных независимых технических средств систем оперативной громкоговорящей и телефонной связи, оповещения и поиска персонала, транкинговой радиосвязи, документирования оперативных переговоров (контрольной звукозаписи) и видеорегистрации действий оперативного персонала. При этом построением комплекса средств связи и оповещения обеспечивается дублирование, взаимное резервирование и взаимодействие различных систем, исключающее потерю каналов передачи информации для персонала энергоблока.

#### **11.1.3.10.3 Размещение основных элементов оборудования**

Системы и средства связи и оповещения расположены во всех зданиях АЭС.

### **11.1.3.11 Системы и средства контроля и управления, не влияющие на безопасность**

#### **11.1.3.11.1 Принципы проектирования**

В состав систем и средств контроля и управления, не влияющих на безопасность входят:

- система контроля и управления водно-химических режимов (СКУ ВХР);
- система контроля и управления водоподготовки (СКУ ВП);
- программно-технический комплекс сбора информации (ПТК СИ);
- система контроля и управления электротехническим оборудованием общестанционного уровня (СКУ ЭЧ ОУ);
- система контроля и управления технологическими системами общестанционных сооружений (СКУ ОС);

СКУ ВХР являются системой нормальной эксплуатации, не влияющей на безопасность.

Целью создания СКУ ВХР является обеспечение информационной поддержки персонала химического цеха при ведении ВХР первого и второго контуров.

СКУ ВХР представляет из себя децентрализованную и пространственно распределённую иерархическую систему, часть функций которой выполняется другими системами СКУ.

СКУ ВП является системой нормальной эксплуатации, не влияющей на безопасность.

Назначение СКУ водоподготовки – автоматизация процесса водоподготовки с выполнением следующих функций:

- сбор и обработка данных технологического процесса;
- управление приводом;
- функционально-групповое управление;
- автоматическое регулирование;
- защита оборудования;
- расчеты и оптимизация;
- контроль, сигнализация и управление за процессом со щита водоподготовки;
- связь со СКУ энергоблока через систему шин.

ПТК СИ являются системой нормальной эксплуатации, не влияющей на безопасность.

Целью создания ПТК СИ является расширение объема и централизация контроля состояния и диагностики электротехнического оборудования энергоблока и электротехнического оборудования собственных нужд СНЭ, СНЭ НЭ и САЭ.

ПТК СИ предназначен для контроля электротехнического оборудования энергоблока, питающих элементов СН 10,5 кВ и 0,4 кВ и оборудования СНЭ, СНЭ НЭ и САЭ во всех режимах, предусмотренных проектом АЭС.

СКУ ЭЧ ОУ являются общестанционной системой нормальной эксплуатации, не влияющей на безопасность.

СКУ ЭЧ ОУ предназначена для контроля и управления электротехническим оборудованием главной схемы (включая схему выдачи мощности) и общестанционных собственных нужд Белорусской АЭС.

СКУ ОС являются общестанционной системой нормальной эксплуатации, не влияющей на безопасность.

СКУ ОС предназначена для контроля и управления технологическими системами всех общестанционных и внеплощадочных зданий и сооружений как непосредственно в самих зданиях, так и централизованно на верхнем уровне.

#### **11.1.4 Описание используемых материалов**

Материалы, лакокрасочные покрытия и другие покрытия, применяемые для СКУ являются негорючими или трудногорючими и не выделяют в окружающую среду вредных примесей.

#### **11.1.5 Анализ безопасности**

На основании общих технических требований к СКУ устанавливаются следующие показатели надежности:

- средняя наработка на отказ или вероятность безотказной работы;
- срок службы;
- среднее время восстановления.

При разработке систем проанализированы возможные единичные отказы технических и/или программно-технических средств, сбои ПО и определены методы их выявления и исключения накопления отказов, включая:

- самодиагностику;
- тестовую проверку работоспособности;
- автоматизированное периодическое опробование для выявления дефектов, не обнаруживаемых автоматическими средствами.

Надежность систем СКУ обеспечивается контролем качества на всех этапах изготовления и монтажа, проведением пуско-наладочных работ и контролем за состоянием оборудования во время эксплуатации.

Обоснование надежности систем проводится на основе качественного и количественного анализа надежности системы.

Надежность систем определяется путем расчета показателей надежности для выполнения системой заданных функций.

СВБУ и СВСУ относятся к ремонтнопригодным, восстанавливаемым системам длительного пользования.

СКУ НЭ относится к восстанавливаемым, ремонтнопригодным, обслуживаемым системам.

СОТТ-2 является информационной системой, отказ которой не влияет на безопасность и выработку энергии энергоблоков АЭС. СОТТ-2 относится к восстанавливаемым, обслуживаемым системам длительного пользования. Технические средства СОТТ-2, за исключением датчиков, являются восстанавливаемыми объектами, допускающими проведение ремонтных работ и технического обслуживания.

Программно-технические средства СВД функционируют непрерывно, круглосуточно без постоянного обслуживания, с периодическими остановками для проведения профилактических и регламентных работ в период плановых остановок оборудования автоматизированной системы.

СРВПЭ относятся к восстанавливаемым и обслуживаемым системам длительной эксплуатации, подлежащим ремонту и обслуживанию как при остановленном, так и при работающем технологическом оборудовании энергоблока.

СКУД является многоканальной, многофункциональной, восстанавливаемой системой большой сложности.

Расчет надежности по функциям СКУД состоит из расчетов надежности по функциям СВРК, САКТ, СКТВ, СКД, СКВ, СОСП, САКОР, СКА.

СКУТ является восстанавливаемой системой длительного пользования.

Устройства контроля протечек фланцевых разъемов и главного разъема реактора функционируют во всех режимах работы РУ. Отказы устройств не влияют на выполнение системами безопасности своих функций.

Надежная и безотказная работа ГЦНА обеспечивается комплексом защит и блокировок агрегата, реализуемых в системе СКУ блока АЭС. Система диагностирования ГЦНА выполняет, в основном, информационные функции и нормальная работа насосного агрегата не зависит от ее работоспособности. Отказ системы диагностирования ГЦНА не приводит к незапланированной остановке насосного агрегата или невыполнению им функции безопасности – обеспечения необходимого выбега при остановке.

Соответствие примененных в проекте средств температурного контроля указанным характеристикам подтверждается испытаниями и опытом эксплуатации изделий на действующих АЭС.

Оценка показателей надежности технических средств, отдельных видов оборудования и функциональных систем в составе СУЗ по выполняемым функциям производится на базе стандартного аппарата математической теории надежности для резервированных восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем. Подтверждение показателей надежности СУЗ осуществляется расчетным путем при проведении анализа функциональной способности СУЗ. Эти показатели надёжности обеспечивают достаточный уровень безопасности и высокий эксплуатационный уровень готовности

Анализ реакции системы на неисправности показывает, что наличие в УСБ избыточности входящих в ее состав элементов (датчиков, устройств программно-технических средств и вычислительных комплексов, каналов связи) и средств самодиагностики, наряду с принятыми в проекте структурными, техническими, конструкторскими решениями обеспечивают надежное и корректное выполнение системой своих функций как в случае появления единичных отказов, так и при возникновении отказов по общей причине, включая техническое обслуживание.

Анализ безопасности АСРК и АСКРО представлен представленными в разделе 15.

Комплекс технических средств СКУ ПЗ относится к системам длительной эксплуатации, составляющие которой являются восстанавливаемыми объектами, подвергающимися ремонтам (плановым и внеплановым) и техническому обслуживанию.

Система контроля концентрации водорода выполнена в соответствии с основными принципами обеспечения водородной безопасности. Во всех аварийных режимах система позволяет оператору получать достоверную оперативную информацию о водородной ситуации в зоне локализации аварии и, действуя согласно требованиям аварийных инструкций, в кратчайшие сроки принять необходимые меры по управлению аварией.

Системы связи относятся к восстанавливаемым и обслуживаемым системам длительной эксплуатации, подлежащим ремонту и обслуживанию как при остановленном, так и при работающем технологическом оборудовании энергоблока. Безопасность энергоблока и АЭС в целом в части, касающейся связи, обеспечивается принятыми проектными решениями по связи, обеспечивающими надежное функционирование комплекса средств связи при нормальной эксплуатации, при отказах отдельных элементов (устройств) систем, и при авариях на АЭС.

Системы нормальной эксплуатации, не влияющие на безопасность, построены таким образом, когда ошибочные действия оперативного персонала или отказы технических средств не приводят к ситуациям, опасным для жизни и здоровья людей.

## **11.2 Система электроснабжения собственных нужд АЭС**

### **11.2.1 Электропотребители АЭС**

Система электроснабжения собственных нужд АЭС предназначена для питания электропотребителей АЭС, обеспечивающих:

- работу энергоблоков и общестанционных производств АЭС в нормальных условиях эксплуатации;
- расхолаживание и перевод реакторной установки в безопасное подкритическое состояние;
- поддержание реакторной установки в безопасном подкритическом состоянии при нормальной эксплуатации, при нарушениях условий нормальной эксплуатации и при авариях;
- сохранность основного оборудования, пожарную безопасность, внутреннюю и внешнюю связь, сигнализацию и эвакуационное освещение при потере рабочих и резервных источников питания;
- контроль за состоянием реакторной установки и необходимое управление и контроль за выполнением основных функций безопасности в случае потери рабочих и резервных источников электроснабжения и отказа резервных дизель-генераторных установок.

По отношению к технологическому процессу АЭС электропотребители собственных нужд разделяются на:

- потребителей собственных нужд энергоблоков, которые обеспечивают:
  - a) выработку электроэнергии;
  - b) работу вспомогательных систем;
  - c) безопасность реакторной установки;
  - d) техническое обслуживание оборудования энергоблока.
- общестанционных потребителей собственных нужд, которые обеспечивают:
  - a) работу общестанционных технологических процессов;
  - b) работу административных, хозяйственных и бытовых служб;

- с) работу служб связи;
- д) работу радиационного контроля;
- е) работу физической защиты;
- ф) работу пожарной охраны и защиты.

По назначению в отношении обеспечения безопасности электропотребители собственных нужд энергоблоков разделяются на:

- потребителей нормальной эксплуатации;
- потребителей систем безопасности.

По требованиям, предъявляемым к непрерывности (надежности) электроснабжения, электропотребители собственных нужд АЭС разделяются на следующие группы:

- первая группа - потребители переменного и постоянного тока, не допускающие по условиям безопасности или сохранности оборудования перерывы питания более, чем на доли секунды во всех режимах, включая режим полного исчезновения напряжения от рабочих и резервных источников внешнего электроснабжения;

- вторая группа - потребители переменного тока, требующие питания в режиме полного исчезновения напряжения от рабочих и резервных источников внешнего электроснабжения, допускающие перерывы в электроснабжении на время, определяемое условиями безопасности и сохранности основного оборудования, но не менее времени, необходимого для запуска и подключения резервных дизель-генераторов;

- третья группа - потребители переменного тока, допускающие перерывы питания на время автоматического ввода резерва и не требующие обязательного наличия питания в режиме полного исчезновения напряжения от рабочих и резервных источников внешнего электроснабжения;

По требованиям, предъявляемым в отношении продолжения работы при сейсмических воздействиях, электропотребители собственных нужд разделяются на:

- потребителей, к которым не предъявляется требований по сейсмостойкости;
- потребителей, функционирование которых требуется после прохождения землетрясения интенсивностью до проектного землетрясения включительно;
- потребителей, функционирование которых требуется во время и после прохождения землетрясения интенсивностью до МРЗ включительно.

По роду тока электропотребители разделяются на:

- потребителей переменного тока (AC);
- потребителей постоянного тока (DC).

По уровню напряжения электропотребители разделяются на:

- потребителей среднего напряжения (10 кВ);
- низкого напряжения (0.38 кВ и ниже).

### **11.2.2 Структура системы электроснабжения собственных нужд АЭС**

Для питания указанных выше электропотребителей собственных нужд и выполнения предъявляемых к ним требований на АЭС предусматриваются следующие системы электроснабжения:

- система электроснабжения потребителей собственных нужд нормальной эксплуатации (СНЭ). СНЭ обеспечивает электроснабжение потребителей АЭС, не предъявляющих повышенных требований к надежности электроснабжения;

- система надежного электроснабжения потребителей собственных нужд нормальной эксплуатации (СНЭ НЭ). СНЭ НЭ обеспечивает электроснабжение потребителей важных для безопасности и сохранности основного оборудования энергоблока;

- система аварийного электроснабжения (САЭ). Электропотребителями САЭ являются устройства и механизмы систем безопасности АЭС;

- система электроснабжения оборудования контроля и управления запроектными авариями (ЗПА). Электропотребителями ЗПА являются устройства и механизмы, предназначенные для контроля и управления тяжелой аварией в режиме полного обесточивания;

- система резервного электроснабжения потребителей энергоблоков. Данная система обеспечивает резервное питание собственных нужд энергоблоков при потере их питания от рабочих источников;



- система электроснабжения общестанционных потребителей собственных нужд АЭС. Данная система обеспечивает функционирование общестанционных производств и сооружений.

Функционирование системы электроснабжения собственных нужд требуется во всех режимах эксплуатации энергоблока АЭС:

- в режиме нормальной эксплуатации АЭС, включая режимы планового пуска и останова энергоблока и режим перегрузки реактора;
- в режиме нарушения условий нормальной эксплуатации;
- в режимах проектных аварий;
- в режиме запроектной аварии;
- при проведении послеаварийных мероприятий;
- при проведении профилактических и текущих ремонтных работ.

По роду тока и уровню напряжения в системах электроснабжения собственных нужд приняты следующие сети электроснабжения:

- сети переменного тока среднего напряжения 10 кВ для подключения электродвигателей мощностью 200 кВт и более, а также трансформаторов 10/0.4 кВ;
- сети переменного тока низкого напряжения 0.4 кВ/0.23 кВ для подключения всех прочих потребителей и освещения;
- сети постоянного тока 220 В (110 В для питания приводов СУЗ).

Структурная схема электроснабжения собственных нужд АЭС приведена на рисунке 11.2.2.1.

Система электроснабжения собственных нужд энергоблока обеспечивается электроэнергией:

- от внутренних источников электроснабжения, расположенных на площадке АЭС, к которым относятся:
  - а) турбогенераторная установка энергоблока;
  - б) дизель-генераторные установки;
  - в) аккумуляторные батареи.
- от внешних источников электроснабжения, расположенных вне площадки АЭС:
  - а) от энергосистемы 330 кВ.

Системы электроснабжения потребителей собственных нужд строятся по иерархическому принципу.

Схемы электроснабжения собственных нужд строятся для обеспечения необходимой непрерывности технологических процессов и безопасности при выводе в ремонт источников питания (трансформаторов, аккумуляторных батарей, преобразователей, ДГУ) и секций распределительных устройств собственных нужд.

Сеть 10 кВ переменного тока СНЭ является верхним уровнем. СНЭ НЭ и САЭ питаются от сети 10 кВ переменного тока СНЭ при наличии электроснабжения от внешней сети (энергосистемы 330 кВ) или турбогенератора.

Сети 0.4 кВ и 0.23 кВ второй и третьей групп надежности электроснабжения запитываются от соответствующих сетей 10 кВ через понижающие трансформаторы 10/0.4 кВ.

Для питания потребителей удаленных зданий и сооружений с небольшой суммарной нагрузкой, и для уменьшения количества кабельных связей предусматриваются вторичные распределительные устройства 0.4 кВ.

Сети постоянного тока получают питание от щитов постоянного тока (ЩПТ).

К ЩПТ подключаются аккумуляторные батареи (АБ), потребители постоянного тока, зарядно-подзарядные устройства (ЗПУ) и инверторы.

ЗПУ получают питание от соответствующих сетей 0.4 кВ переменного тока. ЗПУ осуществляют рабочее питание сетей постоянного тока, заряд и подзаряд АБ.

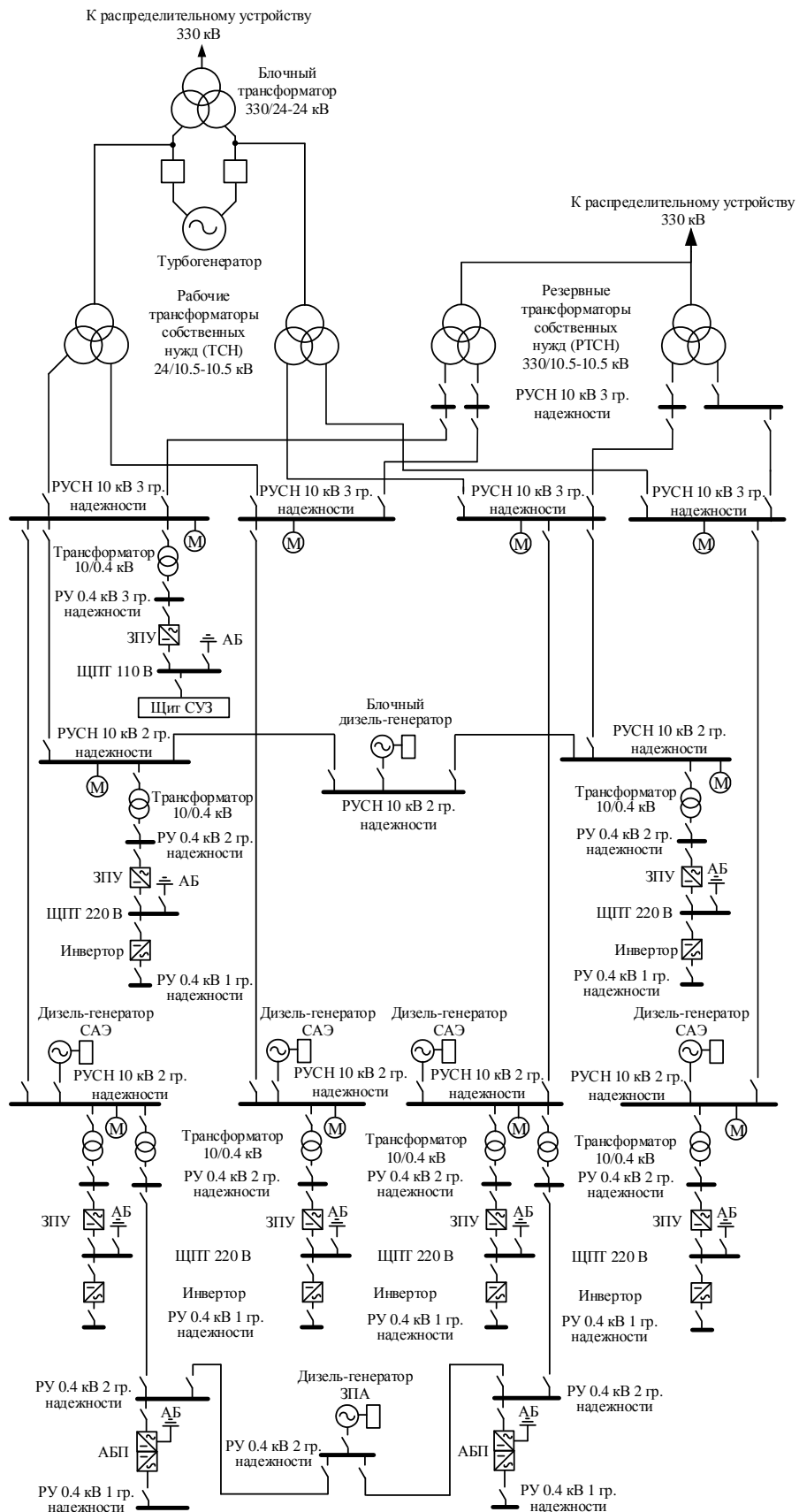
При исчезновении напряжения в сети переменного тока питание сетей постоянного тока осуществляется от АБ. При появлении напряжения в сети переменного тока питание автоматически восстанавливается от ЗПУ.

Инверторы подключаются к ЩПТ и осуществляют питание сетей 0.4 кВ и 0.23 кВ первой группы надежности переменного тока.

Из состава электропотребителей, непосредственно присоединяемых к сетям собственных нужд, можно выделить:

- конечные потребители (электродвигатели приводов механизмов и арматуры, нагреватели, приборы и устройства, преобразователи датчиков). Резервирования оборудования непосредственно в цепи питания таких потребителей (коммутационной аппаратуры и кабелей) не предусматривается. В зависимости от требований, предъявляемых к непрерывности технологического процесса, обеспечиваемого этим оборудованием, в составе технологической установки предусматривается резервное оборудование, получающее питание от других электросетей;

- шкафы питания и управления в составе комплектно поставляемого оборудования и установок, от которых внутри установки запитывается ряд входящих в установку электропотребителей. В зависимости от требований, предъявляемых к непрерывности технологического процесса, обеспечиваемого этим оборудованием, в шкафы может предусматриваться второй ввод питания, включение которого может осуществляться либо вручную, либо действием автоматики, установленной в этом шкафу, если перерыв питания на время ручного переключения недопустим.



<b>Тип системы электроснабжения</b>
Система резервного электроснабжения
Система электроснабжения нормальной эксплуатации (СНЭ)
Система надежного электроснабжения нормальной эксплуатации (СНЭНЭ)
Система аварийного электроснабжения (САЭ)
Система электроснабжения системы контроля и управления запроектной аварией (ЗПА)

Рисунок 11.2.2.1 – Структурная схема электроснабжения собственных нужд АЭС

## 11.2.3 Система электроснабжения нормальной эксплуатации (СНЭ)

### 11.2.3.1 Назначение, состав и описание

Электрическая система собственных нужд нормальной эксплуатации энергоблока обеспечивает электроснабжение комплекса потребителей АЭС, не предъявляющих повышенных требований к бесперебойности электроснабжения во всех режимах работы энергоблока, кроме режима обесточивания.

На систему электроснабжения нормальной эксплуатации (СНЭ) функции безопасности не возлагаются.

В соответствии с НТД СНЭ является:

- по назначению – системой нормальной эксплуатации;
- по влиянию на безопасность – системой, не относящейся к безопасности.

В состав СНЭ входят:

- РУСН 10 кВ третьей группы надежности;
- распределительные устройства 0.4 кВ третьей группы надежности
- трансформаторы 10/0.4 кВ;
- аккумуляторная батарея 110 В;
- щит постоянного тока 110 В;
- зарядно-подзарядный устройство (ЗПУ).

Система электроснабжения нормальной эксплуатации начинается на вводах ТСН и вводных выключателях РУСН 10 кВ СНЭ, к которым подключается система резервного электроснабжения. Система электроснабжения нормальной эксплуатации заканчивается на входных зажимах потребителей.

ТСН включены в отпайки токопроводов 24 кВ генератор-трансформатор между генераторными выключателями и обмотками блочного повышающего трансформатора.

Для поддержания на РУСН 10 кВ СНЭ напряжение на уровне 10.5 кВ ТСН оснащены устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН).

Число секций РУСН 10 кВ принято по числу главных циркуляционных насосов (ГЦН). ГЦН обеспечивают циркуляцию теплоносителя I контура и отвод тепла, вырабатываемого реакторной установкой.

Четыре секции РУСН 10 кВ СНЭ энергоблока подключены к расщепленным обмоткам низкого напряжения двух рабочих трансформаторов собственных нужд (ТСН). Присоединение обмоток ТСН к секциям РУСН 10 кВ осуществляется закрытым пофазно-экранированным токопроводом.

Каждая секция РУСН 10 кВ СНЭ имеет по два ввода питания: ввод рабочего питания от обмотки низкого напряжения ТСН и ввод резервного питания от системы резервного электроснабжения. Перевод питания с рабочего на резервный источник на каждой секции осуществляется автоматически устройством автоматического ввода резерва (АВР) по факту отключения выключателя ввода рабочего питания.

Для питания потребителей низкого напряжения переменного тока нормальной эксплуатации предусмотрены распределительные устройства 0.4 кВ. Распределительные устройства 0.4 кВ получают питание через отдельные понижающие трансформаторы 10/0.4 кВ, подключенные к РУСН 10 кВ.

Количество распределительных устройств нормальной эксплуатации 0.4 кВ и мощность трансформаторов 10/0.4 кВ определялись территориальным размещением потребителей, их количеством и мощностью, а также принятой схемой взаиморезервирования.

Для питания силовых потребителей комплекса электрооборудования системы управления и защиты реактора предусматривается установка АБ напряжением 110 В с ЗПУ и ЩПТ.

Аккумуляторная батарея СНЭ постоянного тока является независимым источником для электроснабжения ОР СУЗ. Питание сети постоянного тока 110 В осуществляется от щита постоянного тока. К ЩПТ подключается аккумуляторная батарея и зарядно-подзарядное устройство. ЗПУ запитаны от соответствующих сетей переменного тока 0.4 кВ.

Основными потребителями СНЭ, обеспечивающие длительную устойчивую нормальную эксплуатацию блока в нормальном режиме, а также режимы пуска и планового останова блока являются:

- главные циркуляционные насосы теплоносителя первого контура;
- питательные насосы;
- конденсатные насосы турбины;
- циркуляционные насосы турбины;
- насосы вспомогательных систем охлаждающей воды;
- насосы системы водяного охлаждения генератора;
- электроприводы системы управления и защиты реактора (СУЗ);
- нагреватели компенсатора давления;
- системы вентиляции.

### **11.2.3.2 Режимы работы**

Электроснабжение потребителей собственных нужд осуществляется через ТСН при следующих состояниях схемы:

- при работающем турбогенераторе (включенных генераторных выключателях) и при наличии связи энергоблока с энергосистемой (питание электропотребителей осуществляется по приоритетной схеме в нормальном режиме эксплуатации АЭС);

- при потере связи с энергосистемой, но при включенных генераторных выключателях, питание электропотребителей через ТСН осуществляется от генераторной установки;

- при наличии связи с энергосистемой, но отключенных генераторных выключателях (например, при пуске блока, плановом останове блока или в результате действия защит генератора или турбины), питание электропотребителей через ТСН осуществляется от энергосистемы через блочный повышающий трансформатор.

При потере возможности питания собственных нужд через ТСН от энергосистемы и генератора (например, в результате действия электрических защит блока генератор-трансформатор) осуществляется автоматический перевод питания системы собственных нужд на резервное питание от РТСН, что позволяет остановить энергоблок без повреждения основного оборудования АЭС.

Переключение питания на резервный трансформатор собственных нужд (АВР) разрешается при условии наличия напряжения на резервном трансформаторе  $U > 95\% U_{ном}$ .

В случае успешного АВР напряжение на шинах СНЭ, СНЭ НЭ и САЭ должно восстановиться до значения  $U > 95\% U_{ном}$ , и при этом обеспечивается останов энергоблока с питанием технологического оборудования от РТСН и снижение мощности реакторной установки до минимально допустимого значения без срабатывания аварийной защиты реактора (АЗ).

При неуспешном АВР (например, при отсутствии напряжения на резервном источнике) на секциях СНЭ НЭ и на каждой секции САЭ формируются сигналы на пуск дизель-генераторных установок и перевод питания соответствующих секций на ДГУ.

Для обеспечения устойчивой работы реакторной установки во время кратковременных снижений питающего переменного напряжения одновременно на двух силовых вводах щита СУЗ ниже значения  $85\% U_{ном}$  для удержания регулирующих стержней реактора в заданном положении на щит СУЗ подается напряжение 110 В постоянного тока. Если в течение 2 секунд уровень напряжения переменного тока на силовых вводах СУЗ не восстановится до номинального, в щите СУЗ автоматически отключается напряжение постоянного тока 110 В и регулирующие стержни опускаются в активную зону реактора, прекращая цепную реакцию.

## **11.2.4 Система надежного электроснабжения нормальной эксплуатации (СНЭ НЭ)**

### **11.2.4.1 Назначение, состав и описание**

Система СНЭ НЭ является частью СНЭ и предназначена для потребителей собственных нужд энергоблока АЭС нормальной эксплуатации, важных для безопасности и сохранности основного оборудования, во всех режимах эксплуатации энергоблока АЭС, включая режим исчезновения напряжения на шинах АЭС от рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд (режим обесточивания).

В соответствии с НТД СНЭ НЭ является:

- по назначению – системой нормальной эксплуатации;
- по влиянию на безопасность – важной для безопасности.

В состав системы СНЭ НЭ входят:

- блочный дизель-генератор;
- трансформаторы 10/0.4 кВ;
- РУСН 10 кВ второй группы надежности;
- распределительные устройства 0.4 кВ первой и второй групп надежности;
- аккумуляторные батареи 220 В;
- преобразователи: зарядно-подзарядные устройства и инверторы;
- щиты постоянного тока 220 В.

подавляющее большинство электропотребителей, подключаемых к системе надежного питания, имеет либо технологический резерв, либо два ввода питания, поэтому для обеспечения возможности продолжения работы энергоблока и при необходимости вывода в ремонт оборудования электроснабжения (трансформаторов, распределительных устройств, аккумуляторных батарей) система построена по двухканальному принципу.

Для питания электропотребителей СНЭ НЭ предусматривается двухсекционное распределительное устройство собственных нужд 10 кВ.

РУСН 10 кВ СНЭ НЭ второй группы надежности подключены к РУСН 10 кВ СНЭ через секционные переключатели. В каждой секционной переключателе последовательно установлено по два выключателя (один – на секции СНЭ, другой – на секции СНЭ НЭ). Два выключателя предназначены для обеспечения надежного отключения переключателя при переходе секции на питание от блочного дизель-генератора.

Для обеспечения питания электропотребителей при потере на обеих секциях напряжения от секций нормальной эксплуатации предусматривается автономная дизель-генераторная установка мощностью 6300 кВт, которая может быть подключена к любой из секций или к обеим РУСН 10 кВ СНЭ НЭ одновременно. Прием нагрузки дизель-генератором осуществляется ступенчато действием автоматики (АСП).

Количество распределительных устройств надежного питания 0.4 кВ и мощность трансформаторов 10/0.4 кВ определялись территориальным размещением потребителей, их количеством и мощностью, а также принятой схемой взаиморезервирования.

В системе собственных нужд надежного питания нормальной эксплуатации некоторые потребители требуют бесперебойного электропитания переменным током (первая группа).

Для питания этих нагрузок на блоке предусмотрены распределительные устройства 0.4 кВ первой группы надежного питания. Данные секции запитаны через соответствующие инверторы от щитов постоянного тока 220 В, к которым подключаются аккумуляторные батареи.

Наиболее важные из потребителей СНЭ НЭ:

- насосы подпитки и борного регулирования;
- насосы охлаждающей воды холодильных машин;
- система вентиляции;
- холодильные машины;
- противопожарные насосы;
- спецсистемы реактора, в том числе СУЗ, АКНП, СВРК, СКУД и др.;
- система управления и контроля (потребители СКУ СНЭ НЭ, СКУ ЭЧ);
- технические средства БПУ, РПУ и вычислительного комплекса;
- освещение.

#### **11.2.4.2 Режим работы**

В нормальном режиме работы РУСН 10 кВ второй группы СНЭ НЭ получают питание от РУСН 10 кВ СНЭ через постоянно включенные секционные переемычки. При этом блочный дизель-генератор находится в режиме "дежурства" - "горячего резерва", для обеспечения которого постоянно поддерживается необходимая температура масла, воды, воздуха в его системах и помещениях.

Потеря напряжения на РУСН 10 кВ СНЭ НЭ возможна:

- при отключении питающей РУСН 10 кВ СНЭ, например, защитой;
- при отключении защитой секционной переемычки с питающей секцией СНЭ;
- при отключении выключателя рабочего ввода оператором или самопроизвольно.

В режиме одновременной потери напряжения на двух РУСН 10 кВ СНЭ НЭ (т.е. при возникновении сигнала об отсутствии напряжения) питание переводится на блочный дизель-генератор, который автоматически запускается и подключается к РУСН 10 кВ СНЭ НЭ.

Одновременно, по этому же сигналу автоматически производится отделение каждой секции РУСН 10 кВ СНЭ НЭ от питающего РУСН 10 кВ СНЭ – команда на отключение двух последовательных выключателей в секционной переемычке.

Подключение блочного дизель-генератора к секции СНЭ НЭ производится автоматически при условии готовности дизель-генератора (частота вращения дизель-генератора близка к номинальной) и при отключении хотя бы одного из двух последовательных выключателей в каждой секционной переемычке с РУСН 10 кВ СНЭ.

Подключение нагрузки на каждую секцию предусматривается только по программе автоматического ступенчатого подключения (АСП).

Потребители первой группы бесперебойного питания постоянно находятся под напряжением, т.к. источником их питания являются инверторы, постоянно подключённые к ЩПТ и аккумуляторным батареям.

Зарядно-подзарядные устройства аккумуляторных батарей системы постоянного тока СНЭ НЭ подключены постоянно к шинам секций 0.4 кВ второй группы надежности СНЭНЭ переменного тока.

Инверторы питания секций 0.4 кВ первой группы бесперебойного питания постоянно подключены к щитам постоянного тока.

В режиме нормальной эксплуатации при наличии напряжения на питающих секциях 0.4 кВ СНЭ НЭ аккумуляторные батареи полностью заряжены и находятся в режиме постоянного подзаряда (т.е. ЗПУ, обеспечивая нагрузку щитов постоянного тока, одновременно подзаряжают аккумуляторные батареи).

При обесточивании питающих секций 0.4 кВ СНЭ НЭ все аккумуляторные батареи переходят в режим разряда, питая нагрузку, подключенную к щитам постоянного тока.

При восстановлении напряжения на питающих секциях 0.4 кВ СНЭ НЭ зарядно-подзарядные устройства работают сначала в режиме заряда аккумуляторных батарей, восстанавливая ёмкость батарей, а затем в штатном режиме – режиме постоянного подзаряда.

Ёмкость каждой аккумуляторной батареи 220 В СНЭ НЭ рассчитана на два часа разряда.

## **11.2.5 Система аварийного электроснабжения (САЭ)**

### **11.2.5.1 Назначение, состав и описание**

Система аварийного электроснабжения энергоблока является системой электроснабжения потребителей системы безопасности энергоблока. Функционирование САЭ требуется во всех режимах эксплуатации энергоблока АЭС, в том числе при обесточивании системы собственных нужд.

В соответствии с НТД САЭ является:

- по назначению – системой безопасности;
- по влиянию на безопасность – системой важной для безопасности;
- по характеру выполняемой функции – обеспечивающей.

В состав каждого канала САЭ входят:

- резервные дизель-генераторы;
- РУСН 10 кВ второй группы надежности;

- распределительные устройства 0.4 кВ первой и второй групп надежности;
- трансформаторы 10/0.4 кВ;
- аккумуляторные батареи 220 В;
- щиты постоянного тока 220 В;
- преобразователи постоянного и переменного тока: ЗПУ и инверторы;
- герметичные электрические проходки (вводы в гермозону) для силовых и контрольных кабелей.

Система организована по каналному принципу. Число каналов соответствует числу технологических каналов систем безопасности. Каждый из четырех каналов САЭ питает всю нагрузку соответствующего канала системы безопасности, необходимую с точки зрения безопасности в случае нарушений нормальных условий эксплуатации или аварии на станции для приведения энергоблока в состояние безопасного останова и поддержания энергоблока в безопасном состоянии.

Предусматривается физическое отделение каналов - оборудование и кабели каждого канала размещаются в помещениях, принадлежащих соответствующему каналу.

Для питания электропотребителей системы аварийного электроснабжения в каждом канале предусматриваются секции 10 кВ с двумя вводами питания:

- рабочий ввод - от системы электроснабжения нормальной эксплуатации через секционную переемычку с двумя выключателями, выполненную кабельной линией;
- резервный ввод - от резервного дизель-генератора данного канала мощностью 6300 кВт.

Для питания потребителей переменного тока меньшей мощности и сетей бесперебойного питания в каждом канале предусмотрены распределительные устройства 0.4/0.23 кВ.

Распределительные устройства 0.4/0.23 кВ второй группы надежности получают питание через отдельные трансформаторы 10/0.4 кВ, подключенные к секции 10 кВ. Резервирования секций не предусматривается. Количество секций и мощность трансформаторов 10/0.4 кВ определены количеством и мощностью потребителей.

Для питания электропотребителей первой группы по бесперебойности предусматриваются сети переменного тока 0.4/0.23 кВ, запитанные от инверторов.

К щитам постоянного тока 220 В постоянно подключены аккумуляторные батареи и зарядно-подзарядные устройства.

Зарядно-подзарядные устройства каждой аккумуляторной батареи постоянно подключены к секциям второй группы 0.4/0.23 кВ.

Аккумуляторные батареи системы постоянного тока являются автономным источником питания нагрузки СКУ в каждом канале САЭ и источником питания цепей оперативного постоянного тока и арматуры СБ канала, включая отсечную (локализирующую).

Емкость всех аккумуляторных батарей САЭ выбрана, исходя из расчетного времени разряда 2 часа.

Основными потребителями каждого канала САЭ являются:

- насос аварийного впрыска высокого давления;
- насос аварийного впрыска низкого давления;
- аварийный питательный;
- спринклерный насос;
- насосы контура охлаждения ответственных потребителей;
- насосы агрегатов подачи воды на промконтур охлаждения теплообменников ответственных потребителей;
- система контроля и управления систем безопасности (СКУ СБ);
- технические средства на БПУ и РПУ.

### **11.2.5.2 Режим работы**

При наличии напряжения на питающих РУСН 10 кВ СНЭ во всех эксплуатационных и аварийных режимах энергоблока выключатели секционных переемычек РУСН 10 кВ всех каналов САЭ находятся во включенном положении. Таким образом, все секции всех напряжений САЭ постоянно находятся под напряжением, и электроснабжение потребителей



каналов системы безопасности обеспечивается от внешних источников, т.е. по предпочтительной схеме.

В режиме питания секций САЭ от внешних источников, резервные дизель-генераторы отключены и находятся в режиме "ожидания". В этом режиме система автоматики каждого дизель - генератора поддерживает его в состоянии "горячего" резерва: автоматически поддерживается температура масла и воды в необходимом диапазоне, производится периодическая прокачка дизеля маслом и водой.

"Горячее" состояние дизель-генератора, находящегося в режиме "ожидания", обеспечивает его быстрый разворот при получении команды на пуск – за время, не превышающее 15 секунд.

Система автоматики САЭ контролирует и поддерживает необходимый (допустимый) уровень напряжения на шинах САЭ.

При длительном снижении напряжения на РУСН 10 кВ САЭ до  $\leq 90\%$  Уном на БПУ подаётся сигнал с целью обратить внимание оператора на факт снижения напряжения. Оператор может пытаться поддержать необходимый уровень напряжения средствами, имеющимися в его распоряжении. При восстановлении напряжения сигнал в СКУ и на БПУ исчезает.

При снижении напряжении на РУСН 10 кВ СНЭ, питающих секции САЭ, до значения  $\leq 70\%$  Уном через 1 секунду должен действовать АВР (перевод питания секций 10 кВ СНЭ от системы резервного электроснабжения).

В случае успешного АВР напряжение на секциях СНЭ восстанавливается до значения  $> 90\%$  Уном и питание секции САЭ продолжается по приоритетной схеме – от секции СНЭ.

В случае неуспешного АВР (например, при не восстановлении напряжения до значения  $> 90\%$  Уном и при продолжающемся его снижении) при достижении величины напряжения  $U \leq 40\%$  Уном или при снижении частоты до 47.4 Гц с выдержкой времени  $t = 2$  с на секции САЭ в каждом канале формируется сигнал "обесточивание". Сигнал идет на пуск резервного дизель-генератора в "своем" канале, разгрузку (отключение) потребителей секции САЭ и на отключение секционных выключателей в секционной перемычке "своего" канала. Уставка по снижению частоты до 47.4 Гц с выдержкой времени  $t = 2$  с согласуется с уставками противоаварийной автоматики.

Автоматический запуск и включение резервного дизель-генератора на секцию в каждом канале САЭ предусматривается только по сигналу "обесточивание" в канале. Не предусматривается включение резервного дизель-генератора только по аварийному технологическому сигналу при наличии напряжения на шинах САЭ от предпочтительных источников.

После получения команды на пуск дизель-генератор набирает обороты (разворачивается) и после достижения номинальных параметров по напряжению и частоте вращения (в шкафу автоматики дизель-генератора формируется сигнал готовности) автоматически подключается к "своей" РУСН 10 кВ САЭ. Подключение возможно при условии отключения хотя бы одного из двух последовательно установленных выключателей секционной перемычки с секцией СНЭ.

Момент включения выключателя дизель-генератора на секцию САЭ является моментом начала ( $t = 0$  с) АСП - единой программы автоматического ступенчатого подключения нагрузки.

Программа АСП определяет необходимый порядок включения механизмов, отвечающий требованиям протекающего технологического процесса. Состав механизмов каждой ступени и время включения каждого механизма согласованы с технологией.

Перед началом подключения нагрузки секции САЭ автоматически разгружаются – отключаются все ранее работавшие потребители, кроме потребителей, включающихся в начальную ступень нагрузки ( $t = 0$  с), если до обесточивания они были включены.

Одновременно с началом АСП автоматически вводятся запреты на вмешательство оператора в действия автоматики на время прохождения АСП.

Запрещаются:

- останов дизель-генератора;

- отключение выключателя дизель-генератора;
- включение секционных выключателей;
- отключение и включение механизмов, а так же действие технологических блокировок.

Запреты снимаются автоматически по истечении назначенного времени.

При восстановлении нормального напряжения на питающих РУСН 10 кВ СНЭ до величины  $> 95\%$  Уном может быть восстановлено питание секции САЭ по нормальной (предпочтительной) схеме оператором вручную. Операция производится в соответствии со специальной инструкцией.

Каждый канал СБ должен функционировать непрерывно в течение необходимого времени в зависимости от аварийной ситуации на блоке. Длительность функционирования каналов САЭ должна соответствовать длительности функционирования каналов СБ.

Возможность длительной работы резервного дизель-генератора гарантируется наличием запаса топлива и масла в расходных и промежуточных емкостях и на складе, который может быть пополнен при необходимости.

Мощность резервного дизель-генератора каждого канала САЭ выбрана в соответствии с мощностью длительно работающих потребителей канала в аварийном режиме.

## **11.2.6 Система электроснабжения оборудования контроля и управления запроектными авариями (ЗПА)**

### **11.2.6.1 Назначение, состав и описание**

Система электроснабжения оборудования контроля и управления запроектными авариями (ЗПА) предназначена для электроснабжения потребителей контроля и управления тяжёлой аварией, допускающих перерывы питания на время, достаточное для ввода в работу автономного источника электроснабжения, в случае потери всех источников электроснабжения, включая резервные дизель-генераторы энергоблока.

Система электроснабжения оборудования ЗПА принята двухканальной, так же как и двухканальная структура системы оборудования контроля и управления ЗПА.

В состав канала питания аппаратуры для ЗПА входят:

- дизель-генератор;
- секции 0.4 кВ второй группы надежности;
- секции 0.4 кВ первой группы надежности;
- агрегаты бесперебойного питания;
- аккумуляторные батареи.

Стационарный ДГУ предназначен для обеспечения потребителей электроэнергией в условиях запроектной аварии при полном обесточивании системы собственных нужд АЭС (потеря внешнего электроснабжения и отказом всех резервных источников питания – дизель-генераторов).

Распределительные устройства 0.4 кВ первой группы бесперебойного электроснабжения нагрузки двух каналов потребителей ЗПА нормально присоединены через агрегаты бесперебойного питания и секции второй группы СЭ ЗПА к секциям 0.4 кВ двух каналов САЭ.

В режиме нормальной эксплуатации при наличии напряжения на обеих питающих секциях 0.4 кВ САЭ выключатели фидеров питания секций 0.4 кВ системы электроснабжения ЗПА постоянно включены.

Каждый из указанных АБП комплектуется аккумуляторной батареей (АБ), рассчитанной на разряд длительностью до 24 часов. Мощность АБП определяется мощностью постоянно включенной нагрузки при ЗПА и пуском насоса и задвижек в течение времени разряда аккумуляторной батареи.

Предусматривается стационарный дизель-генератор, который подключается к предусмотренному разъёму стационарной сети электроснабжения ЗПА. Дизель-генератор способен обеспечить электроснабжение оборудования ЗПА в течение необходимого времени (не менее 72 часов непрерывной работы на номинальной мощности без дозаправки).

Основными потребителями в условиях ЗПА являются:

- клапаны запорные системы охлаждения топливного бассейна;

- клапаны запорные системы пассивного отвода тепла через парогенераторы;
- задвижки на трубопроводе подпитки баков СПОТ;
- насос подпитки баков аварийного отвода тепла и топливного бассейна;
- насос аварийного впрыска щёлочи;
- шкафы системы контроля концентрации водорода;
- рециркуляционная система охлаждения помещения электротехнического оборудования каналов ЗПА;
- шкафы системы аварийного контроля уровня теплоносителя в реакторе;
- сервера системы регистрации важных параметров эксплуатации;
- шкафы преобразователей контрольных измерительных приборов;
- оборудование средств связи;
- освещение на БПУ панелей управления оборудованием ЗПА.

### **11.2.6.2 Режим работы**

Выключатели фидеров питания секций 0.4 кВ электроснабжения ЗПА в режиме нормальной эксплуатации при наличии напряжения на обеих питающих секциях 0.4 кВ САЭ постоянно включены.

Аккумуляторные батареи постоянно находятся в состоянии полного заряда – осуществляется режим постоянного подзаряда аккумуляторных батарей.

Если под напряжением (в работе) находятся все секции системы собственных нужд, включая секции САЭ, функция безопасности на блоке выполняется и обеспечивается перевод реакторной установки в безопасное (холодное) состояние. При этом электрооборудование каналов ЗПА может работать при необходимости (может включаться оператором), но аккумуляторные батареи, входящие в каналы не разряжаются - они продолжают работу в режиме постоянного подзаряда.

В режиме полного обесточивания системы собственных нужд с отказом дизель-генераторов САЭ электроснабжение оборудования, предназначенного для управления ЗПА, осуществляется от своих аккумуляторных батарей – они начинают разряжаться при включении нагрузки ЗПА.

Подключение нагрузки к распределительным устройствам ЗПА производится автоматически или оператором дистанционно вручную в соответствии с временным графиком включения и инструкцией по ликвидации аварий на АЭС

### **11.2.7 Система резервного электроснабжения собственных нужд**

Система резервного электроснабжения потребителей энергоблоков обеспечивает резервное питание собственных нужд энергоблоков при потере питания от рабочих трансформаторов собственных нужд.

В состав системы резервного электроснабжения входят:

- резервные трансформаторы собственных нужд 330/10.5-10.5 кВ;
- РУСН 10 кВ третьей группы надежности.

Система резервного электроснабжения собственных нужд начинается на вводах РТСН от энергосистемы 330 кВ и заканчивается на вводных выключателях РУСН 10 кВ СНЭ.

Для резервирования рабочих трансформаторов собственных нужд энергоблока (ТСН) предусматривается один комплект резервных трансформаторов (РТСН). Комплект резервных трансформаторов состоит из двух трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения. РТСН подключаются к энергосистеме 330 кВ.

Мощность резервного источника (РТСН) принята равной мощности рабочего источника (ТСН) и обеспечивает нормальный останов энергоблока.

Для поддержания на РУСН 10 кВ СНЭ напряжения на уровне 10.5 кВ РТСН оснащены устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН).

В нормальном режиме эксплуатации сеть резервного электроснабжения находится под напряжением, что повышает готовность подачи резервного питания в систему собственных нужд. Секционные переключатели между секциями 10 кВ двух РТСН нормально отключены.

### **11.2.8 Характеристика и критерии выбора электрооборудования энергоблока АЭС**

Выбор электрооборудования, используемого для выработки, преобразования и распределения электроэнергии, а также кабелей и кабельных конструкций производится в соответствии с основными критериями, изложенными ниже:

- соответствие классификации оборудования;
- соответствие характеристики источника по качеству напряжения, мощности и нагрузочной способности, характеру нагрузки и режиму работы электрооборудования;
- соответствие по динамической, термической устойчивости к току короткого замыкания в точке установки в электрической схеме;
- соответствие климатическим условиям при эксплуатации, транспортировке, хранении и монтаже;
- соответствие требованиям по конструкции, по степени защиты от воздействия воды и пыли, по пожарной и взрывобезопасности и по применяемым материалам (включая негорючесть и нераспространение горения);
- соответствие условиям воздействия внешних факторов, связанных с природными явлениями и последствиями деятельности человека: (например, ураган, ударная волна и др.) и соответствие условиям окружающей среды в месте установки (по температуре, влажности, содержанию в атмосфере вредно влияющих веществ и факторов), например, гермозоне или боксах.

Используемые для производства электротехнического оборудования конструктивные и электротехнические материалы обеспечивают:

- выполнение функций;
- надежность и долговечность (срок эксплуатации);
- пожарную безопасность;
- минимальные потери, т.е. обеспечение оптимального коэффициента полезного действия оборудования;
- необходимое качество.

Основное электрооборудование систем электроснабжения энергоблока предназначено для установки в электротехнических помещениях с окружающей средой, соответствующей НТД.

#### **11.2.8.1 Дизель-генераторные установки**

Дизель-генераторы СНЭНЭ и САЭ являются резервным источником энергии на АЭС и предназначаются для эксплуатации в специальных зданиях с искусственно регулируемые условиями окружающей среды.

Дизель-генератор и комплектующее его вспомогательное оборудование способны выполнить возложенную функцию в условиях воздействия внешних факторов, связанных с природными явлениями и последствиями деятельности человека.

Степень автоматизации дизель-генератора обеспечивает автоматическое поддержание агрегата в длительном режиме "дежурство", автоматический пуск и готовность к приёму нагрузки за время, не превышающее 15 с, стабилизацию частоты вращения дизеля и напряжения на клеммах генератора в процессе ступенчатого набора нагрузки и в режиме длительной работы на нагрузку в автономном режиме.

Время запуска и готовности к принятию нагрузки дизель-генератором СНЭНЭ и распределению потребителей по ступеням автоматической программы нагружения дизель-генератора (АСП) определяется по условию допустимого перерыва питания потребителей второй группы надежности СНЭ НЭ и не превышает 15 секунд.

Время запуска и готовности к принятию нагрузки дизель-генератором САЭ и распределение потребителей по ступеням автоматической программы нагружения дизель-генератора (АСП) определяется требованиями по безопасности со стороны реакторной установки.

Дизель-генератор при пуске не зависит от источников электроснабжения энергоблока: все необходимые для этой операции компоненты входят в комплект дизель-генератора.

#### **11.2.8.2 Аккумуляторные батареи**

Аккумуляторные батареи систем электроснабжения собственных нужд являются резервным источником энергии на АЭС и предназначаются для эксплуатации в специальных помещениях с искусственно регулируемые условиями окружающей среды (поддержание

температуры  $+ 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) и оборудованных отдельными для каждого помещения вытяжными установками.

Все аккумуляторные батареи сконфигурованы из стационарных закрытых вентилируемых свинцово-кислотных аккумуляторов.

Материал корпуса - ударопрочная прозрачная пластмасса.

Аккумуляторы имеют герметичное соединение крышки с баком, пробкой и полюсными выводами, что исключает выход газа, аэрозоли и электролита из аккумулятора.

Вентиляционные фильтр-пробки сконструированы таким образом, что не допускают проникновения искры внутрь элемента и выноса аэрозолей электролита.

Аккумуляторные батареи устанавливаются на металлических сейсмостойких стеллажах. Стеллаж изолирован от пола путем установки изоляционных прокладок и втулок, входящих в состав стеллажа. Крепление стеллажей к полу выполняется болтами, входящими в комплект поставки.

### **11.2.8.3 Распределительные устройства**

Распределительные устройства напряжением 10 кВ и 0.4 кВ переменного тока и щиты постоянного тока 220 В и 110 В предназначены для приема и распределения электроэнергии в системах электроснабжения собственных нужд.

Распределительные устройства представляют собой готовые к эксплуатации заводские изделия (шкафы). Для повышения надежности работы при возможных повреждениях и обеспечения локализации при возникновении дуги или пожара, шкафы распределительных устройств выполнены в виде модульной конструкции, т.е. разделены на отдельные отсеки: для силового оборудования, приборный отсек для релейно-измерительной аппаратуры, отсек для сборных шин, отсек для кабелей. Шкафы распределительных устройств переменного тока и ЩПТ включают в себя сборные шины, коммутационную аппаратуру, аппаратуру управления и защиты, разрядники, изоляторы, устройства для подключения силовых и контрольных кабелей, устройства и аппаратуру блокировок.

Для обеспечения безопасной эксплуатации в шкафах распределительных устройств предусмотрены электрические и электромеханические блокировки, исключающие непреднамеренные ошибки оперативного персонала при эксплуатации.

По динамической, термической устойчивости к току короткого замыкания конструкция, оборудование и аппаратура распределительных устройств переменного тока и ЩПТ соответствуют величине токов короткого замыкания в точке установки распределительных устройств переменного тока и ЩПТ в электрической схеме, этот параметр указывается в задании заводу на изготовление распределительных устройств переменного тока и ЩПТ.

Конструкция шкафов, для обеспечения сейсмостойкости, предусматривает крепление к металлическим закладным деталям, установленным в полу. Крепление осуществляется сваркой сплошным или прерывистым швом по фасаду и с задней стороны шкафа, в соответствии с рекомендациями поставщика оборудования.

### **11.2.8.4 Трансформаторы 10 / 0.4 кВ**

Понижающие трансформаторы 10/0.4 кВ с сухой изоляцией, предназначены для преобразования напряжения 10 кВ на 0.4 кВ и электроснабжения потребителей 0.4 кВ / 0.23 кВ.

Изоляция, используемая в трансформаторах, не распространяет горение. Продукты горения содержат минимальное количество токсичных веществ.

Переключение ответвлений обмотки высокого напряжения осуществляется с помощью перемычек на обесточенном трансформаторе.

Трансформаторы предназначены для постоянного использования (под напряжением) при работе энергоблока на мощности и при проведении плановых перегрузок топлива и других регламентных работ на энергоблоке.

В комплект поставки понижающего трансформатора 10 / 0.4 кВ с сухой изоляцией, в кожухе, входят узлы присоединения к шкафам 10 кВ и 0.4 кВ, узлы заземления и сейсмостойкого крепления, а также аппаратура и датчики устройств контроля, сигнализации и защиты от повышения температуры.

Сейсмостойкое крепление сухих трансформаторов осуществляется путем присоединения методом сварки швеллеров опорных рам к закладным элементам с боковых сторон трансформатора, по два шва.

#### **11.2.8.5 Преобразователи**

Зарядно-подзарядное устройство, предназначено для длительной работы в качестве устройства для поддержания аккумуляторной батареи в постоянно заряженном состоянии и одновременного питания постоянной нагрузки щитов постоянного тока.

В режиме после аварийного разряда аккумуляторной батареи ЗПУ должен зарядить аккумуляторную батарею – восстановить её ёмкость для продолжения эксплуатации.

Инверторы предназначены для преобразования постоянного тока 220 В от аккумуляторных батарей 220 В в переменный ток частотой 50 Гц напряжением 0.4 кВ и 0.23 кВ для электроснабжения распределительных устройств 0.4 кВ первой группы надежности.

Инверторы предназначены для длительной работы во всех режимах эксплуатации энергоблока. Количество инверторов, их назначение и мощность определены подключенной к ним нагрузкой, не допускающей перерыва питания.

Конструкция шкафов, для обеспечения сейсмостойкости, предусматривает крепление к металлическим закладным деталям, установленным в полу. Крепление осуществляется сваркой сплошным или прерывистым швом по фасаду и с задней стороны шкафа, в соответствии с рекомендациями поставщика оборудования.

#### **11.2.8.6 Кабели**

Выбор кабелей производится:

- по нагрузке с учетом температуры окружающей среды;
- по потере напряжения в кабеле;
- по термической и пожарной стойкости при протекании тока короткого замыкания.

Силовые и контрольные кабели, применяемые на АЭС, отвечают требованиям НТД. Что отражено в буквенных индексах их маркировки:

- по нераспространению горения - категория А (индекс "нг" в марке кабеля);
- по малому дымовыделению при горении и тлении (индекс "LS" в марке кабеля);
- по малому содержанию галогенов – коррозионной активности продуктов дымогазовыделения при горении (индекс "HF" в марке кабеля);
- по огнестойкости (индекс "FR" в марке кабеля).

По проекту все применяемые кабели имеют медные токоведущие жилы.

#### **11.2.8.7 Герметичные кабельные проходки**

Герметичные кабельные проходки предназначены для герметичного ввода кабелей (силовых и контрольных, в т.ч. коаксиальных) через защитную герметичную оболочку в помещения реакторного отделения с повышенными значениями параметров окружающей среды.

Герметичные кабельные проходки обеспечивают герметичность, эквивалентную защитной оболочке в местах прохода кабелей через границу гермооболочки во всех режимах эксплуатации и при всех внешних воздействиях, включая условия пожара, и обеспечивают биологическую защиту, эквивалентную толщине строительной конструкции.

В гермопроходке проход силовых и контрольных кабелей выполняется с помощью токоведущих модулей различных сечений и жильности.

Конструкция гермопроходок предусматривает возможность замены модулей, а также установку заглушек вместо модулей.

– Кабельные гермопроходки устанавливаются в гермооболочку радиально со стороны гермообъема. Для контроля герметичности гермопроходки и модулей внутренняя полость гермопроходки заполнена газом. На корпусе проходки предусматривается установка манометра контроля герметичности.

### **11.3 Выводы**

При проектировании систем управления и систем электроснабжения собственных нужд АЭС учитывались требования нормативно-технической документации Республики Беларусь и Российской Федерации в области использования атомной энергии, а также

рекомендации Руководств по безопасности МАГАТЭ. Предоставленные выше сведения по системам управления и системам электроснабжения показывают, что система в полной мере выполняет заданные функции и отвечает проектным основам.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

<b>АБ</b>	– Аккумуляторная батарея
<b>АБП</b>	– Агрегат бесперебойного питания
<b>АВР</b>	– Автоматический ввод резерва
<b>АКНП</b>	– Аппаратура контроля нейтронного потока
<b>АЗ</b>	– Аварийная защита реактора
<b>АРМ</b>	– Автоматизированное рабочее место
<b>АРМР</b>	– Автоматический регулятор мощности реактора
<b>АКГА</b>	– Аппаратура контроля гидроамортизаторов
<b>АКНП</b>	– Аппаратура контроля нейтронного потока
<b>АСКРО</b>	– Автоматизированная система контроля радиационной обстановки
<b>АСРК</b>	– Автоматизированная система радиационного контроля
<b>АСРТК</b>	– Автоматизированная система радиационного технологического контроля
<b>АСП</b>	– Автоматический ступенчатый пуск
<b>АСФЗ</b>	– Автоматизированная система физической защиты
<b>АЭС</b>	– Атомная электрическая станция
<b>БПУ</b>	– Блочный пункт управления
<b>ВВЭР</b>	– Водо-водяной энергетический реактор
<b>ВК</b>	– Вычислительный комплекс
<b>ГЦН</b>	– Главный циркуляционный насос
<b>ДГУ</b>	– Дизель-генераторная установка
<b>ЕГ</b>	– Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки
<b>АСКРО</b>	– Автоматизированная система контроля радиационной обстановки
<b>ЗИП</b>	– Запасные части и принадлежности
<b>ЗЛА</b>	– Зона локализации аварии
<b>ЗПА</b>	– Запроектная авария
<b>ЗПУ</b>	– Зарядно-подзарядное устройство
<b>КЭ СУЗ</b>	– Комплекс электрооборудования СУЗ
<b>ЛВС</b>	– Локальная вычислительная сеть
<b>МАГАТЭ</b>	– Международное агентство по атомной энергетике
<b>МКУ</b>	– Минимально контролируемый уровень
<b>МРЗ</b>	– Максимальное расчетное землетрясение
<b>МЭК</b>	– Международная электротехническая комиссия
<b>НТД</b>	– Нормативно-техническая документация
<b>НЭ</b>	– Нормальная эксплуатация
<b>ОР СУЗ</b>	– Орган регулирования системы управления и защиты реактора
<b>ПЗ</b>	– Предупредительная защита
<b>ПЗ-1</b>	– Предупредительная защита первого рода
<b>ПЗ-2</b>	– Предупредительная защита второго рода
<b>ПО</b>	– Программное обеспечение
<b>ПТК</b>	– Программно-технический комплекс
<b>ПТК СИ</b>	– Программно-технический комплекс сбора информации
<b>ПТС</b>	– Программно-технические средства
<b>РКП</b>	– Радиационный контроль в помещении
<b>РПУ</b>	– Резервный пункт управления
<b>РТСН</b>	– Резервный трансформатор собственных нужд
<b>РУ</b>	– Реакторная установка
<b>РУСН</b>	– Распределительное устройство собственных нужд
<b>РФ</b>	– Российская Федерация
<b>САКОР</b>	– Система автоматизированного контроля остаточного ресурса



<b>САКТ</b>	– Система акустического контроля течи
<b>САОЗ</b>	– Система аварийного охлаждения активной зоны
<b>САЭ</b>	– Система аварийного электроснабжения
<b>СБ</b>	– Система безопасности
<b>СВБУ</b>	– Система верхнего блочного уровня
<b>СВД</b>	– Система вибромониторинга и диагностики вращающегося оборудования
<b>СВРД</b>	– Сборка внутриреакторных детекторов
<b>СВРК</b>	– Система внутриреакторного контроля
<b>СВСУ</b>	– Система верхнего станционного уровня
<b>СГИУ</b>	– Система группового и индивидуального управления ОР
<b>СД</b>	– Сейсмодатчик
<b>СИАЗ</b>	– Система антисейсмической защиты
<b>СКА</b>	– Система комплексного анализа
<b>СКВ</b>	– Система контроля вибраций
<b>СКД</b>	– Система комплексного диагностирования
<b>СККВ</b>	– Система контроля концентрации водорода
<b>СКТВ</b>	– Система контроля течи влажностный
<b>СКУ</b>	– Система контроля и управления
<b>СКУ ВП</b>	– Система контроля и управления водоподготовки
<b>СКУ ВХР</b>	– Система контроля и управления водно-химических режимов
<b>СКУД</b>	– Система контроля, управления и диагностики
<b>СКУТ</b>	– Система контроля уровня теплоносителя
<b>СКУ НЭ</b>	– Система контроля и управления нормальной эксплуатации
<b>СКУ ОС</b>	– Система контроля и управления технологическими системами общестанционных сооружений
<b>СКУ ЭЧ</b>	– Система контроля и управления электротехнической частью
<b>СКУ ЭЧ ОУ</b>	– Система контроля и управления электротехническим оборудованием общестанционного уровня
<b>СН</b>	– Собственные нужды
<b>СНЭ</b>	– Система нормальной эксплуатации
<b>СНЭ ВБ</b>	– Система нормальной эксплуатации, важная для безопасности
<b>СНЭНЭ</b>	– Система надежного электроснабжения нормальной эксплуатации
<b>СПОТ</b>	– Система пассивного отвода тепла
<b>СОСП</b>	– Система обнаружения свободных предметов
<b>СОТТ-2</b>	– Система контроля течей теплоносителя по второму контуру
<b>СРВПЭ</b>	– Система регистрации важных параметров энергоблока
<b>СТД</b>	– Система технического диагностирования главных циркуляционных насосных агрегатов
<b>ГЦНА</b>	
<b>СУЗ</b>	– Система управления и защиты реактора
<b>ТС ОДУ</b>	– Технические средства оперативно-диспетчерского управления
<b>ТСН</b>	– Трансформатор собственных нужд
<b>УНО АОП</b>	– Устройство накопления и обработки аппаратуры отображения и протоколирования
<b>УСБ</b>	– Управляющая система безопасности
<b>УСБТ</b>	– Управляющая система безопасности технологическая
<b>УСНЭ</b>	– Управляющая система нормальной эксплуатации
<b>УСНЭ ВБ</b>	– Управляющая система нормальной эксплуатации, важная для безопасности
<b>УПЗ</b>	– Ускоренная предупредительная защита
<b>ЧМИ</b>	– Человеко-машинный интерфейс

**ЩПТ**  
**ЭКП**  
**АС**  
**ДС**

- Щит постоянного ток
- Экран коллективного пользования
- Alternating Current / Переменный ток
- Direct Current / Постоянный ток