

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**В.В. ЗВЕРКОВ**

**ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ  
АСУТП АЭС**

**Функциональные и структурные решения**

Учебное пособие

*Допущено ФУМО по УГСН 14.00.00  
Ядерная энергетика и технологии  
в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению  
«Ядерные физика и технологии»*

Москва 2018

УДК 621.039:681.5  
ББК 31.47  
З 43

Зверков В.В. **ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ АСУТП АЭС. Функциональные и структурные решения:** *Учебное пособие.* – М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – 132 с.

Приведено описание основных программно-технических комплексов (ПТК), которые применяются в современных отечественных проектах цифровых АСУ ТП АЭС. Рассмотрены, в основном, функциональные и структурные решения по составу ПТК при использовании различной аппаратуры, дано большое количество текстового и иллюстрационного материала с конкретными данными проектов АСУ ТП для АЭС с ВВЭР-1000, ВВЭР-1200, БН-800.

Предназначено для студентов и аспирантов вузов по специальностям, связанным с атомной энергетикой, специалистов по проектированию и эксплуатации АСУ ТП АЭС.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. С.И. Минин;  
канд. техн. наук, с.н.с. О.Л. Боженков

ISBN 978-5-7262-2455-8

© Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ», 2018

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>Предисловие</b> .....   | 5  |
| <b>Глава 1. Структура АСУ ТП и состав ПТК</b> .....  | 6  |
| 1.1. Структурная схема АСУ ТП.....   | 6  |
| 1.2. Состав ПТК и разработчики аппаратуры.....   | 8  |
| Контрольные вопросы и задания.....   | 11 |
| <b>Глава 2. ПТК с объединенными функциями<br/>инициирования срабатывания АЗ – ПЗ, УСБИ</b> ..... | 12 |
| 2.1. Объект автоматизации.....   | 12 |
| 2.2. Функции, назначение, классификация.....   | 15 |
| 2.3. Структурные решения.....  | 16 |
| 2.4. Функционирование.....   | 24 |
| Контрольные вопросы и задания.....   | 26 |
| <b>Глава 3. ПТК с разнесенными функциями<br/>инициирования срабатывания АЗ – ПЗ, УСБИ</b> .....  | 27 |
| 3.1. Общие положения.....  | 27 |
| 3.2. Функции, назначение, классификация.....   | 28 |
| 3.3. Схемные решения.....  | 30 |
| 3.3.1. Схема с использованием АЗТП, АЛОС, АОП.....   | 30 |
| 3.3.2. Схема с использованием АФСЗ, АОП.....   | 36 |
| 3.3.3. Схема для энергоблока с реактором БН-800.....   | 41 |
| Контрольные вопросы и задания.....   | 44 |
| <b>Глава 4. ПТК исполнительной части АЗ – ПЗ</b> .....   | 45 |
| 4.1. Функции, классификация.....   | 45 |
| 4.2. Схемные решения.....  | 46 |
| Контрольные вопросы и задания.....   | 49 |
| <b>Глава 5. ПТК управляющих систем безопасности УСБ</b> .....                                    | 50 |
| 5.1. Общие положения.....  | 50 |
| 5.2. Функции, классификация.....   | 54 |
| 5.2.1. Иницирующая часть УСБИ.....   | 54 |
| 5.2.2. Исполнительная часть УСБИ.....  | 55 |
| 5.3. Схема УСБИ на аппаратуре АЗТП, АЛОС, АОП, АСП.....  | 56 |
| 5.4. Основные решения в исполнительной части УСБТ.....   | 59 |
| 5.5. Схема канала УСБ на единых ПТС.....   | 65 |
| 5.6. Основные схемы контроля и управления через ПТК УСБ.....                                     | 67 |
| 5.7. Схема канала УСБ на разных ПТС.....   | 71 |
| Контрольные вопросы и задания.....   | 72 |
| <b>Глава 6. ПТК СКУ нормальной эксплуатации</b> .....  | 74 |
| 6.1. Функции, классификация, состав.....   | 74 |
| 6.2. Описание ТПТС.....  | 77 |
| 6.2.1. Общие данные.....   | 77 |
| 6.2.2. ТПТС-ЕМ.....  | 79 |
| 6.2.3. ТПТС-НТ.....  | 84 |
| 6.3. Структурные решения.....  | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Глава 7. ПТК СКУ электрической части</b> .....                         | 98  |
| 7.1. Функции, состав.....   | 98  |
| 7.2. Структурные схемы .....  | 100 |
| 7.3. Технические средства .....   | 107 |
| 7.3.1. Общие данные .....   | 107 |
| 7.3.2. Технические средства релейной защиты<br>и низовой автоматики ..... | 109 |
| 7.3.3. Технические средства СКУ ЭЧ.....                                   | 110 |
| 7.3.4. Функции диагностики ПТС.....                                       | 111 |
| 7.3.5. Обмен информацией с другими подсистемами .....                     | 112 |
| Контрольные вопросы и задания .....                                       | 113 |
| <b>Глава 8. ПТК системы верхнего блочного уровня СВБУ</b> .....           | 114 |
| 8.1. Функции, состав, режимы.....   | 114 |
| 8.2. Схемные решения .....  | 118 |
| 8.3. Функционирование ПТС .....   | 122 |
| <b>Список сокращений</b> .....  | 128 |
| <b>Список литературы</b> .....  | 130 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем учебном пособии приведены описания основных программно-технических комплексов (ПТК), из которых состоят современные цифровые АСУ ТП атомных электростанций. В основе ПТК – большое количество различных технических средств, разнообразное программное обеспечение, процедуры с активным участием группы операторов при ведении технологического процесса. Учебное пособие посвящено, в основном, описанию структурных и функциональных решений ПТК, имеющих принципиальную новизну при создании современных цифровых АСУ ТП.

В основу учебного пособия положены нормативные документы и материалы проектов АСУ ТП последних лет, в разработке которых автор принимал непосредственное участие. За последние почти 20 лет цифровые АСУ ТП внедрены или предполагаются к использованию в ближайшие годы по уже разработанным техническим решениям на энергоблоках в составе 13-ти АЭС. Это энергоблоки №№ 3, 4 Калининской АЭС, №№ 3, 4 Ростовской АЭС, энергоблок Белоярской АЭС с реактором БН-800, новые энергоблоки в составе НВАЭС-2, ЛАЭС-2, Курской АЭС-2, Белорусской АЭС, а также АЭС «Бушер» (Иран), АЭС «Тяньвань» (Китай), АЭС «Куданкулам» (Индия), АЭС «Ханхикиви» (Финляндия), АЭС «Пакш-2» (Венгрия), АЭС «Эль Дабаа» (Египет). В этой связи большое количество текстового и иллюстрационного материала содержат конкретные данные проектов АСУ ТП для АЭС с ВВЭР-1000, ВВЭР-1200, БН-800.

Материалы учебного пособия предназначены для студентов и аспирантов вузов по специальностям, связанных с атомной энергетикой, специалистов по проектированию и эксплуатации АСУ ТП АЭС.

## Глава 1. СТРУКТУРА АСУ ТП И СОСТАВ ПТК

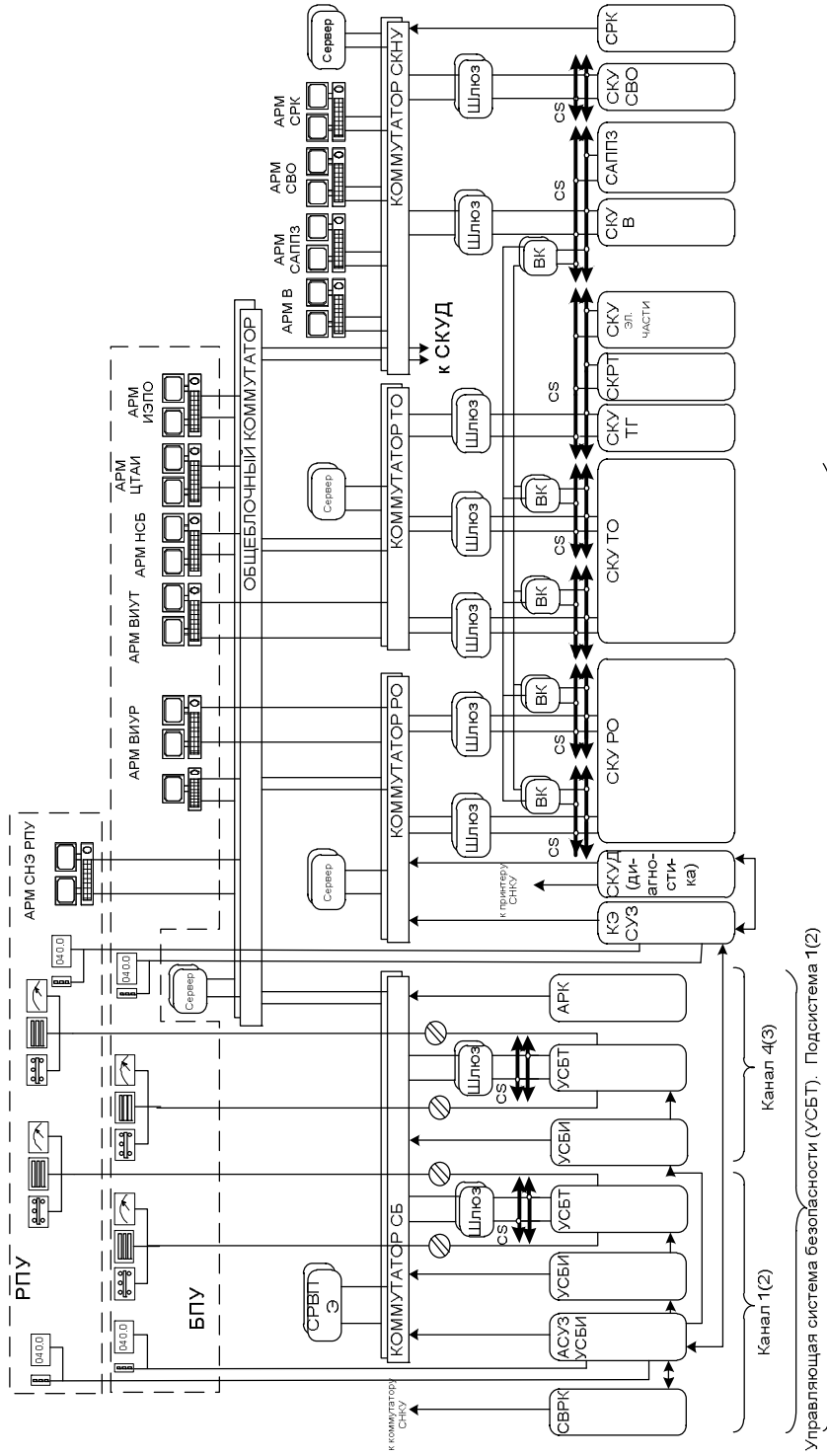
### 1.1. Структурная схема АСУ ТП

АСУ ТП включает следующие основные подсистемы:

- система верхнего блочного уровня (СВБУ);
- система управления и защиты (СУЗ) реактора, которая состоит из иницилирующей части (АЗ – УСБИ) и исполнительной части (КЭ СУЗ);
  - исполнительная часть управляющей системы безопасности (УСБТ);
  - система радиационного контроля (СРК);
  - система контроля, управления и диагностики реакторной установки (СКУД);
  - система автоматической противопожарной защиты (САППЗ);
  - система контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации реакторного отделения (СКУ РО);
  - система контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации турбинного отделения (СКУ ТО);
  - система контроля и управления оборудованием специальной водоочистки (СКУ СВО);
  - система контроля и управления вентиляционным оборудованием (СКУВ);
  - система контроля и регулирования турбины (СКРТ);
  - система контроля и управления оборудованием турбогенератора (СКУ ТГ);
  - система контроля и управления оборудованием электрической части (СКУ ЭЧ);
  - система регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ).

Объединение всех средств в единую систему с централизацией контроля и управления на блочном пункте управления (БПУ) и возможностью обмена командами и информацией обеспечивается посредством цифровых вычислительных сетей:

- внутришкафных; например, одна из шин обеспечивает обмен информации между модулями внутри шкафа и подготовку информации для выдачи в локальную сеть подсистемы или энергоблока;



Управляющая система безопасности (УСБТ). Подсистема 1(2)

Системы контроля и управления, важные для безопасности

Системы контроля и управления нормальной эксплуатации

Рис. 1.1. Структура АСУ ТП

- локальных вычислительных сетей для обмена информацией и командами внутри подсистемы и с СВБУ. Например, для средств низовой автоматики это шины CS и шины быстрой передачи SC;
- сеть энергоблока, которая собирает информацию от всех подсистем и ПТК, и через которую формируются команды дистанционного управления в средства низовой автоматики нормальной эксплуатации.

На рис. 1.1 приведена структура АСУ ТП для энергоблока АЭС, в основе которой – деление всей схемы на управляющие системы безопасности, системы контроля и управления, важные для безопасности и системы контроля и управления нормальной эксплуатацией. В соответствии с этим делением разрабатываются требования и проектируются все ПТК в составе этой схемы. В приведенной структуре используется доменная (кольцевая) структура СВБУ.

Общий объем АСУ ТП в зависимости от энергоблока может составлять 500–700 шкафных конструкций, 3000–4000 объектов управления (насосы, арматура, вентиляторы), 6000–8000 аналоговых и дискретных точек контроля и управления.

## 1.2. Состав ПТК и разработчики аппаратуры

Условно в самом общем виде все цифровые АСУ ТП /1/ разрабатываются в виде двухуровневой схемы: программно-технические комплексы низовой автоматики (ПТК НА) и системы верхнего блочного уровня. СВБУ объединяет все ПТК НА в единую АСУ ТП, обеспечивает сбор и обмен информацией, дистанционное управление оборудованием с рабочих станций (РС) в составе автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов. При более детальной структуризации в схемах АСУ ТП обычно выделяют до 5–6 уровней иерархии, учитывая наличие устройств связи с объектом и оборудования общестанционного уровня контроля и управления. На рис. 1.2 приведена упрощенная схема основных групп ПТК и их взаимосвязь.

Все ПТК низовой автоматики разделяют на управляющие подсистемы, отвечающие за безопасность, и подсистемы контроля и управления технологическими системами нормальной эксплуатации. При этом основные управляющие подсистемы, отвечающие за безопасность, – это аварийная защита (АЗ) из состава системы управления и защиты (СУЗ) реактора и управляющая система безопасности (УСБ), предназначенная для контроля и управления всеми защитными, локализирующими и обеспечивающими технологическими системами безопасности. При дальнейшей структуризации подсистемы АЗ и УСБ разделяют на иницирующую и исполнительную



части, обозначая через УСБИ иницирующую часть УСБ, а УСБТ – как исполнительную часть УСБ. Учитывая практически одинаковое функциональное назначение датчиков для срабатывания АЗ и УСБ, иногда в новых проектах иницирующие части АЗ и УСБ объединяют в одну подсистему АЗ (СУЗ) – УСБИ.

Состав ПТК низовой автоматики в СКУ безопасности формируется на базе следующих функционально-технологических областей, где используются единые программно-технические средства (ПТС):

1. Иницирование срабатывания АЗ-ПЗ СУЗ реактора.
2. Иницирование срабатывания УСБ.
3. Исполнительная часть АЗ-ПЗ.
4. Исполнительная часть УСБ.
5. Реализация функции двойного управления с БПУ и РПУ.

Учитывая двухкомплектность АЗ-ПЗ СУЗ в реакторах всех проектов и многоканальность УСБ от двух до четырех каналов, в этих областях разработано и внедрено 115 ПТК (без учета АЭС «Тяньвань» Китай) с применением программно-технических средств шести производителей: ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ», АО «ВНИИА», ООО «СКУ АТОМ», фирма «AREVA» Германия, Московский завод «Физприбор», НПП «ВНИИЭМ». При этом, количество ПТК в области безопасности из расчета на один энергоблок в зависимости от этапа разработки (табл. 1 и 2 в [2]) снижалось от 13–16 ПТК для проектов АСУ ТП первого этапа до 6–8 ПТК для проектов АСУ ТП второго этапа. Это говорит о разработке и внедрении оптимальных решений по составу программно-технических комплексов.

Структурные и функциональные решения по конкретным ПТК в части безопасности определяются тремя основными факторами:

- выбор разработчика–изготовителя ПТС;
- основные положения концепции безопасности и требования технологии по составу технологического оборудования в конкретном проекте АЭС;
- специфические требования нормативной документации в области безопасности: использование принципов разнообразия, независимости, разделения.

В реализованных проектах АСУ ТП последнего периода можно выделить следующие типы ПТК в части систем контроля и управления безопасностью:

1. ПТК с объединенными функциями иницирования срабатывания АЗ-ПЗ, УСБИ для энергоблоков ВВЭР-1200 в проектах АЭС-2006.
2. ПТК с разнесенными функциями иницирования срабатывания АЗ-ПЗ и УСБИ в проектах энергоблоков ВВЭР-1000 и БН-800.

3. ПТК исполнительной части АЗ-ПЗ в проектах всех энергоблоков.

4. ПТК УСБ с совмещением функций инициирования (УСБИ) и исполнения (УСБТ) в едином канале на единых ПТС.

5. ПТК УСБ смешанного типа для реализации функций инициирования (УСБИ) и исполнения (УСБТ) в канале на ПТС разных производителей.

Подсистемы контроля и управления технологическими системами нормальной эксплуатации называют УСНЭ – управляющие системы нормальной эксплуатации. В состав УСНЭ входят СКУ РО, СКУ ТО, СКУ ЭЧ, СКУ В и т.д. Обычно в ПТК СКУ НЭ входят следующие подсистемы:

- система контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации реакторного отделения (СКУ РО);
- система контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации турбинного отделения (СКУ ТО);
- система контроля и управления оборудованием специальной водоочистки (СКУ СВО);
- система контроля и управления вентиляционным оборудованием (СКУВ).

Разработчики аппаратуры для построения основных ПТК:

ФГУП «ВНИИА» им. Н.Л. Духова – разработчик аппаратуры программно-технических комплексов в составе СКУРО, СКУ СВО, СКУ В, УСБ, САППЗ, СКУ ТГ, ЭЧСР, СКУ ТО, СКУ ЭЧ, СКУ СВО на базе технических средств ТПТС;

ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ» – разработчик аппаратуры для комплексов оборудования СУЗ в части АКНП, АЗТП, АЛОС, АФСЗ, АСП, УСБ, АЗ, ПЗ, УСБИ, АКУ-КТСК (АРМ, РОМ, АКР, СКП, АК ВКУ);

НИЦ «СНИИП» – разработчик аппаратуры для систем СКУД, АСКРО, АСРК;

НПП «ВНИИЭМ» – разработчик аппаратуры для комплексов оборудования СУЗ исполнительной части АЗ-ПЗ. СГИУ, АРМ реактора, ПТК ИДС СУЗ, СИАЗ, оборудования электропитания и стенда вертикального;

фирма AREVA (Германия) – разработчик аппаратуры ТХС для комплексов оборудования СУЗ иницирующей части АЗ-ПЗ, УСБИ;

АО Московский завод «Физприбор» – разработчик аппаратуры для программно-технических комплексов УСБТ, СКУ РО, СКУ ТО, СКУ ХВО, СКУ СВО на базе технических средств КТПС-ПН и УКТС;

НИИИС им. Ю.Е. Седакова – разработчик аппаратуры систем верхнего блочного и станционного уровней (СВБУ и СВСУ) в со-

ставе УСУ, УТК, куда входят архиваторы, маршрутизаторы, синхронизаторы времени, РС-1, РС-2, РС-3, РС-ВП, РС-СБ, комплекты ВОЛС; а также программно-технические средства СРВПЭ; мозаичные панели систем контроля и управления (МПКУ) для БПУ и РПУ в составе технических средств оперативно-диспетчерского управления, экраны коллективного пользования;

АО «Приборный завод Тензор» – разработчик аппаратуры систем контроля и управления пожарной защитой АЭС (САППЗ), систем внутриреакторного контроля (СВРК), систем физической защиты (СФЗ);

АО «Завод Электропульт» – разработчик панелей и пультов для БПУ и РПУ, полномасштабных тренажеров, системы контроля и управления электротехническим оборудованием (СКУ ЭЧ), местных щитов контроля и управления (МПУ), специализированных систем контроля и управления импульсно-предохранительными устройствами систем аварийного охлаждения;

АО «Уральский электромеханический завод» – разработчик панелей и пультов для БПУ и РПУ, полномасштабных тренажеров, аппаратуры систем верхнего блочного и станционного уровней.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите основные составляющие структуры АСУ ТП.
2. Перечислите основных разработчиков ПТК.
3. Какие уровни иерархии АСУ ТП вам известны?
4. Перечислите основные подсистемы АСУ ТП.

## Глава 2. ПТК С ОБЪЕДИНЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ ИНИЦИИРОВАНИЯ СРАБАТЫВАНИЯ АЗ – ПЗ, УСБИ

### 2.1. Объект автоматизации

Объектом автоматизации в данных ПТК являются алгоритмы срабатывания аварийной и предупредительной защит реактора, а также управляющих систем безопасности в соответствии с проектными исходными событиями. Используется программируемая аппаратура типа TXS фирмы AREVA, Германия.

Проект «АЭС-2006» с реакторной установкой ВВЭР-1200 реализуется в двух версиях – с двумя и четырьмя каналами УСБ. В этой связи может быть использована схема измерения и соответствующей обработки информации от технологического объекта управления (ТОУ) по принципу как «2 из 4», так и «2 из 3». В обеих версиях проекта принят единый комплект датчиков для контроля и управления схемами АЗ – ПЗ и УСБ (рис. 2.1).

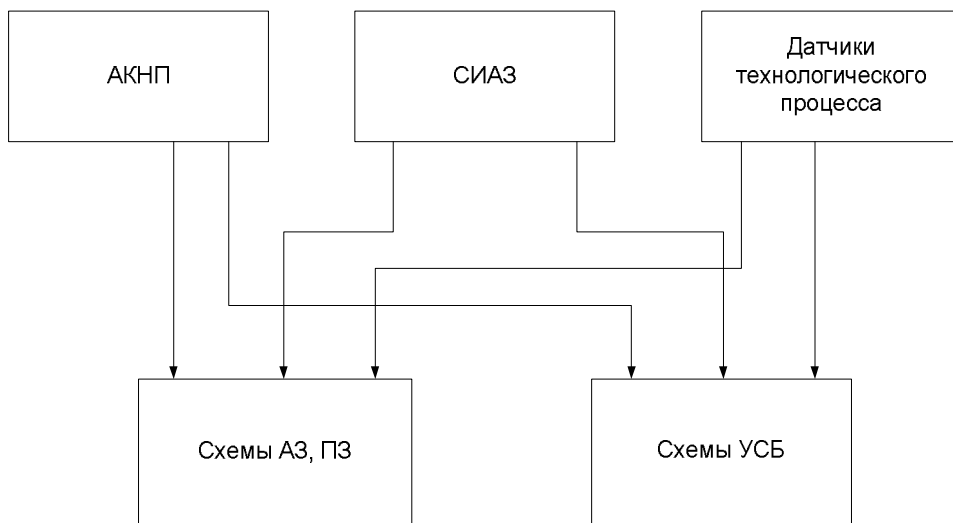


Рис. 2.1. Схема применения датчиков технологического процесса в проекте «АЭС-2006» с реактором ВВЭР-1200

Классификация СКУ безопасности по функциям выполнена согласно подходам, изложенным в документе МЭК 61226 «АЭС. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Клас-

сификация». В зависимости от важности функции безопасности она может быть отнесена к одной из трех категорий А, В, С или вообще не иметь классификации, если функция не имеет отношения к безопасности АЭС. Каждой категории соответствует набор технических и качественных требований, максимальный для категории А. Согласно разделу 5.2 МЭК 61226 «функции контроля и управления, вписывающиеся в рамки систем безопасности, в основном относятся к категориям А и В. Функции, определенные как связанные с безопасностью, в основном относятся к категориям В и С».

Представленные три категории функций безопасности: А, В и С реализуются на различном оборудовании СКУ, что дает возможность разделения различных уровней защиты и тем самым обеспечивает выполнение принципа «защиты в глубину». Классификация отдельных функций безопасности (ФБ) СКУ учитывает их влияние на безопасность станции, время, за которое они должны среагировать на обнаруженные неполадки, а также последствия постулированного нарушения функции безопасности. На основе проведенной классификации производится функциональное разделение на три группы базовых аппаратных и программных средств АСУ ТП, управляющей процессами, важными для безопасности:

на АСУ ТП в составе базовых аппаратных и программных средств, выполняющих функции категории А;

на АСУ ТП в составе базовых аппаратных и программных средств НЭ ВБ, выполняющих функции категории В и С для управления элементами систем, имеющих канальную структуру организации технологического процесса (т.е. технологическое оборудование в этих системах имеет распределение по каналам безопасности);

на АСУ ТП в составе базовых аппаратных и программных средств НЭ и НЭ ВБ, выполняющих функции категории В и С для управления элементами систем, не связанными с каналами безопасности.

Ниже приведен перечень функций безопасности (проектных исходных событий), при которых вырабатываются сигналы инициирования на срабатывание АЗ-ПЗ, УСБ.

1. АА11 – АЗ «Нарушения в управлении реактивностью и мощностью реактора».

2. АА12 – АЗ «Уменьшение расхода теплоносителя первого контура».

3. АА13 – АЗ «Потеря теплоносителя первого контура».

4. АА14 – АЗ «Потеря питательной воды/разрыв паропровода».

5. АА15 – АЗ «Разрыв теплообменной трубки ПГ».

6. АА16 – АЗ «Сейсмика».

7. AA17 – АЗ «Потеря напряжения питания 380».
8. AA18 – АЗ «Нарушение в распределении энерговыделения».
9. AA19 – УСБ «Аварийный ввод бора при АТWS».
10. AB11 – УСБ «Отсечение аварийного ПГ по питательной воде».
11. AB12 – УСБ «Запрет подачи чистого конденсата».
12. AB13 – УСБ «Переключение на подачу борного раствора 16 г/кг».
13. AC21 – ПЗ «Снижение мощности реактора (ПЗ1)».
14. AC22 – ПЗ «Ограничение мощности реактора (ПЗ2)».
15. AC23 – ПЗ «Ускоренное снижение мощности реактора».
16. AC24 – ПЗ «Снижение и ограничение мощности реактора».
17. BA11 – УСБ «Включение САОЗ ВД».
18. BA12 – УСБ «Включение САОЗ НД».
19. BA13 – УСБ «Управление клапанами на трубопроводах от GE1».
20. BA14 – УСБ «Управление рециркуляцией САОЗ ВД».
21. BA15 – УСБ «Управление рециркуляцией САОЗ НД».
22. BA16 – УСБ «Закрытие линии слива с уплотнений ГЦНА».
23. BA17 – УСБ «Закрытие ИПУ КД воздействием на ОК».
24. BB11 – УСБ «Включение системы промконтура».
25. BB12 – УСБ «Включение системы технической воды».
26. BC11 – УСБ «Управление сбросом пара из ПГ через БРУА».
27. BC12 – УСБ «Включение САР ПГ».
28. BC13 – УСБ «Полное открытие регулятора СПОТ».
29. BC14 – УСБ «Включение СПОТ при невключении САР ПГ».
30. BC15 – УСБ «Управление рециркуляцией САР ПГ».
31. BC16 – УСБ «Переключение режимов регулятора САР ПГ».
32. BD11 – УСБ «Закрытие БЗОК и дублирующей арматуры»..
33. BD12 – УСБ «Отключение ГЦНА по параметрам в ПГ».
34. BE11– УСБ «Управление ИПУ КД при высоком давлении или низкой температуре».
35. BE12 – УСБ «Отключение источников повышения давления при низких температурах».
36. BE13 – УСБ «Управление САГ».
37. BF11 – УСБ «Управление ИПУ ПГ».
38. BG11 – УСБ «Управление аварийной подпиткой бассейна выдержки».
39. CA11 – УСБ «Подача воды от спринклерной системы».
40. CA12 – УСБ «Управление рециркуляцией спринклерных насосов».

41. СВ11 – УСБ «Закрытие локализирующей арматуры».
42. СВ12 – УСБ «Управление подачей раствора для связывания йода».
43. CD11 – УСБ «Локализация ПГ при течи из первого контура во второй контур».
44. CD12 – УСБ «Управление впрыском в КД при течи из первого контура во второй контур».
45. DA11 – УСБ «Включение дизель-генератора при обесточивании».
46. DA12 – УСБ «Ступенчатое подключение механизмов СБ к ДГ».

## 2.2. Функции, назначение, классификация

ПТК АЗ-ПЗ, УСБИ предназначен для:

- контроля технологических параметров реакторной установки;
- формирования инициирующих сигналов аварийной защиты и выдачи их в исполнительную часть АЗ-ПЗ;
- формирования сигналов, инициирующих срабатывания технологических систем безопасности и выдачи их в исполнительную часть УСБ;
- формирования сигналов УПЗ, ПЗ-1 и ПЗ-2 и выдачи их в исполнительную часть АЗ-ПЗ и СГИУ.

Основные управляющие функции:

- аварийная защита реактора;
- инициирование срабатывания технологических систем безопасности;
- предупредительная защита реактора;
- автоматическое логическое управление технологическими операциями.

Основные информационные функции:

- сигнализация;
- отображение измеренной информации на показывающих приборах;
- обмен информацией со смежными системами.

Вспомогательные функции:

- загрузка программного обеспечения;
- диагностика функционирования технических и программных средств;

- параметризация (ввод или изменение значений констант и уставок);
- отображение диагностической информации;
- сигнализация отказов и нарушений в работе;
- регистрация диагностической информации.

Классификация функциональных составляющих в системах защиты разрабатывается в соответствии с техническими требованиями следующей нормативной документации:

1. Серия стандартов МАГАТЭ. Руководство по безопасности № NS-G-1.3 (2002). Аппаратура и системы управления, важные для безопасности атомных станций (2002).

2. НП-001-15. Общие правила при обеспечении безопасности атомных станций.

3. ПБЯ РУ АС-89. Правила ядерной безопасности реакторов атомных станций.

4. КТА 3501, выпуск 6/85. Система защиты реактора и контрольная аппаратура системы защиты.

При расхождении между этими нормами и стандартами проект выполняет технические требования стандарта МАГАТЭ по ядерной безопасности с дополнениями из стандартов МЭК.

ПТК АЗ-ПЗ, УСБИ участвует в следующих функциональных группах (ФГ) с классификационными обозначениями по НП-026-16:

ФГ «Аварийная защита» – 2УК1;

ФГ «Управляющая система безопасности» – 2УК1;

ФГ «Предупредительная защита» – 3НК3;

ФГ «Контроль параметров и состояния» – 3НК3;

ФГ «Обмен информацией с СВБУ» – 3НК3.

### 2.3. Структурные решения

В табл. 2.1 и 2.2 представлены укрупненные составы ПТК в проекте АЭС-2006. Характерной особенностью состава ПТК в табл. 2.1 является наличие одной подсистемы, инициирующей части предупредительной защиты. Это допускается правилами, так как данная функциональная часть относится к 3-му классу безопасности [3].

Особенность состава ПТК в табл. 2.2 – наличие двух комплектов инициирующей части предупредительной защиты реактора и двух комплектов инициирующей части запуска системы пассивного отвода тепла (СПОТ) на непрограммируемых технических средствах, отличных от аппаратуры ТХС. Существование двух комплектов инициирующей части ПЗ объясняется стремлением разработчика



сделать всю схему 2-комплектной, что упрощает кабельные связи. Наличие аппаратуры контроля и управления СПОТ на других технических средствах – это решение, направленное на реализацию принципа разнообразия в процедурах управления аварийными проектными исходными событиями. Обе таблицы характеризуют различный подход в некоторых вопросах разных разработчиков и проектировщиков.

Таблица 2.1

**Состав ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ в проекте ЛАЭС-2 с четырьмя каналами УСБ**

|                           |  |
|---------------------------|--|
| АЗ – УСБИ<br>1-й комплект | Подсистема иницирующей части аварийной защиты и управляющей системы безопасности (АЗ – УСБИ), 1-й комплект |
| АЗ – УСБИ<br>2-й комплект | Подсистема иницирующей части аварийной защиты и управляющей системы безопасности (АЗ – УСБИ), 2-й комплект |
| Комплект<br>ПЗ – И        | Подсистема иницирующей части предупредительной защиты (ПЗ – И)   |

Таблица 2.2

**Состав ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ в проекте НВАЭС-2 с двумя каналами УСБ**

|                           |  |
|---------------------------|--|
| АЗ – УСБИ<br>1-й комплект | Подсистема иницирующей части аварийной защиты и управляющей системы безопасности (АЗ – УСБИ), 1-й комплект                 |
| АЗ – УСБИ<br>2-й комплект | Подсистема иницирующей части аварийной защиты и управляющей системы безопасности (АЗ – УСБИ), 2-й комплект                 |
| ПЗ – И<br>1-й комплект    | Подсистема иницирующей части предупредительной защиты (ПЗ – И), 1-й комплект   |
| ПЗ – И<br>2-й комплект    | Подсистема иницирующей части предупредительной защиты (ПЗ – И), 2-й комплект   |
| СПОТ<br>1-й комплект      | Подсистема иницирующей части запуска системы пассивного отвода тепла на аппаратуре с «непрограммируемыми» ТС, 1-й комплект |
| СПОТ<br>2-й комплект      | Подсистема иницирующей части запуска системы пассивного отвода тепла на аппаратуре с «непрограммируемыми» ТС, 2-й комплект |

На рис. 2.2 представлена структурная схема, показывающая место ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ в схеме АСУ ТП, где показаны взаимосвязи ПТК с основными подсистемами АСУ ТП. Полная схема взаимодействия ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ с другими подсистемами для реализации работы всех заложенных алгоритмов выглядит следующим образом.

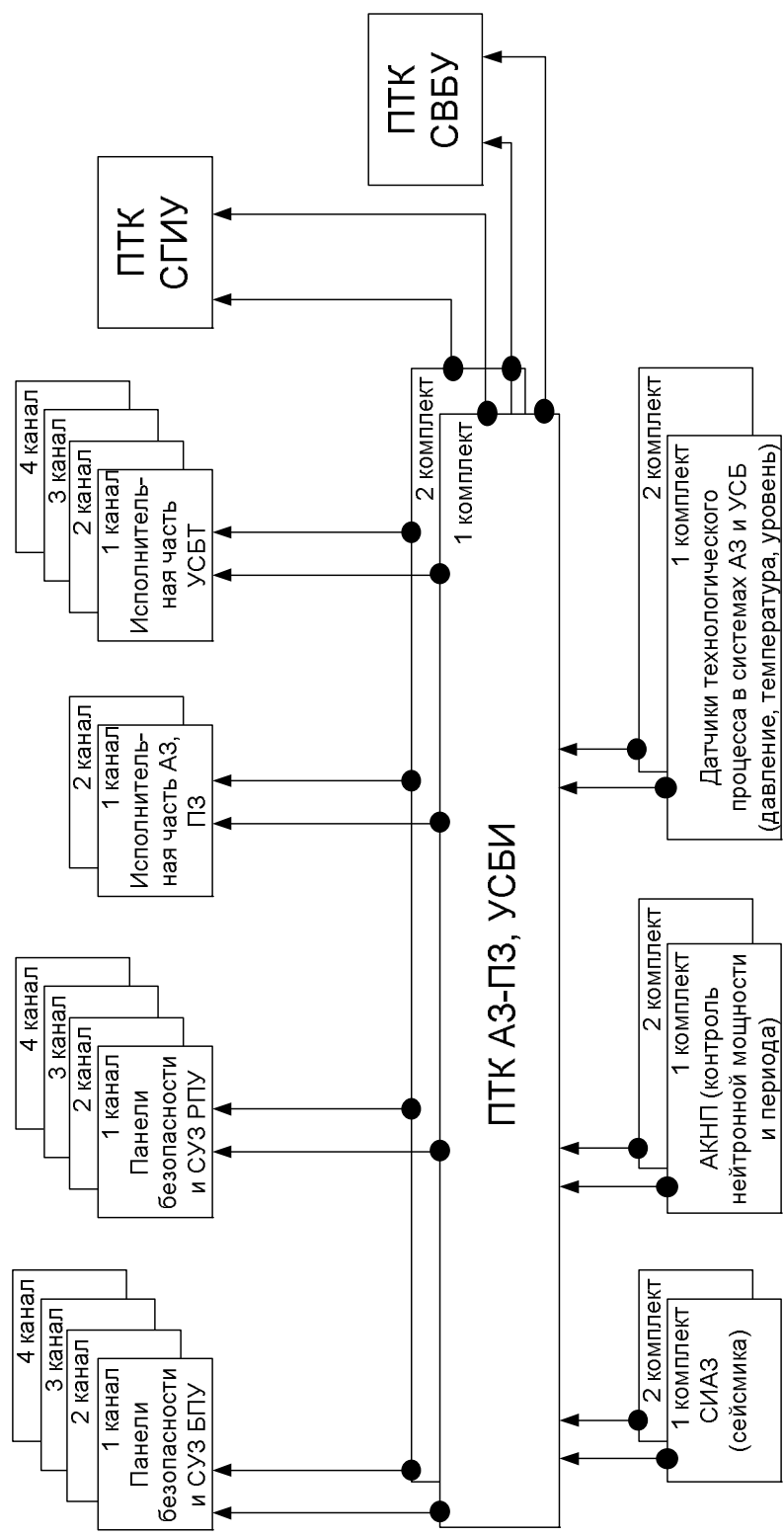


Рис. 2.2. ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ в схеме АСУ ТП  
 Примечание: схема приведена для проекта ЛАЭС-2.  
 В проекте НВАЭС-2 ПБ и СУЗ БПУ, РПУ, а также УСБТ содержат два канала

1. ПТК обеспечивает прием аналоговых и/или дискретных сигналов от:

- датчиков технологических параметров;
- системы внутрореакторного контроля (СВРК);
- аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП);
- системы промышленной антисейсмической защиты (СИАЗ);
- исполнительной части подсистемы АЗ;
- системы группового и индивидуального управления (СГИУ);
- информационно-диагностической системы (ИДС) СУЗ;
- исполнительной части УСБТ;
- панелей безопасности (ПБ БПУ/РПУ);
- релейной защиты оборудования системы аварийного электроснабжения и СКУ ЭЧ.

2. ПТК обеспечивает выдачу в смежные системы дискретных сигналов:

- управления в исполнительную часть подсистемы АЗ;
- управления в исполнительную часть УСБТ в ПТК приоритетного управления (ПУ) и в шкафы управления СПОТ;
- сигнализации в/на ПБ БПУ/РПУ;
- разрешения тестирования в АКНП;
- информационных сигналов об отключении ГЦНА и срабатывании АЗ в СКУД.

3. ПТК обеспечивает выдачу аналоговых сигналов в:

- автоматический регулятор мощности реактора (АРМР);
- СВРК;
- исполнительную часть УСБТ (ПТК локальной защиты);
- АКНП;

а также на показывающие приборы ПБ БПУ/РПУ.

В табл. 2.1 приведены некоторые количественные характеристики для ПТК с объединенными функциями инициирования срабатывания АЗ – ПЗ, УСБИ на базе аппаратуры фирмы AREVA [4, 5]. На рис. 2.2 и 2.3 приведены структурные схемы ПТК для проекта с четырьмя каналами УСБ, а на рис. 2.4 показана функциональная структура ПТК для проекта с двумя каналами УСБ.

Разные структурные решения связаны с разным количеством каналов безопасности и разными схемами резервирования по технологическим датчикам. Проект НВАЭС-2 содержит два канала безопасности и имеет схему резервирования по датчикам «2 из 3», а проект ЛАЭС-2 содержит четыре канала безопасности и схему резервирования по датчикам «2 из 4». Данные структурные решения предусматривают, что аппаратура АКНП и СИАЗ (система индуст-

риальной антисейсмической защиты) строится на других технических средствах и является смежной для ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ. Для реализации принципа физического разделения функций разного класса безопасности в ПТК с аппаратурой ТХС алгоритмы инициирования предупредительной защиты выполнены в отдельных шкафах от аппаратуры аварийной защиты (см. рис. 2.3).

Таблица 2.3

**Состав аппаратуры ТХС в ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ**

| Функциональное назначение  | Тип шкафа | ПТК с двумя каналами УСБ | ПТК с четырьмя каналами УСБ |
|--|-----------|--------------------------|-----------------------------|
| Прием, размножение и гальваническое разделение входных сигналов                        | SC&D      | 12 (2x6)                 | 8 (4x2)                     |
| Обработка и голосование сигналов, реализация алгоритмов аварийной защиты               | A&P       | 6 (2x3)                  | 8 (4x2)                     |
| Обработка и голосование сигналов, реализация алгоритмов предупредительной защиты       | PPS       | 6 (2x3)                  | 4 (1x4)                     |
| Обработка и голосование сигналов, реализация алгоритмов УСБИ                           | VO        | 8 (2x4)                  | 12 (4x3)                    |
| Сервисный интерфейс для связи ПТК с СВБУ   | GW&SU     | 3                        | 2                           |
| Сервисный интерфейс для связи ПТК с панелями безопасности и СУЗ на БПУ и РПУ           | MI        | 8 (2x4)                  | 12                          |
| Контрольно-сервисный интерфейс для диагностики ПО и ТС ПТК. Проверка работоспособности | MSI       | 4                        | 4                           |
| Итого  |           | 49                       | 50                          |

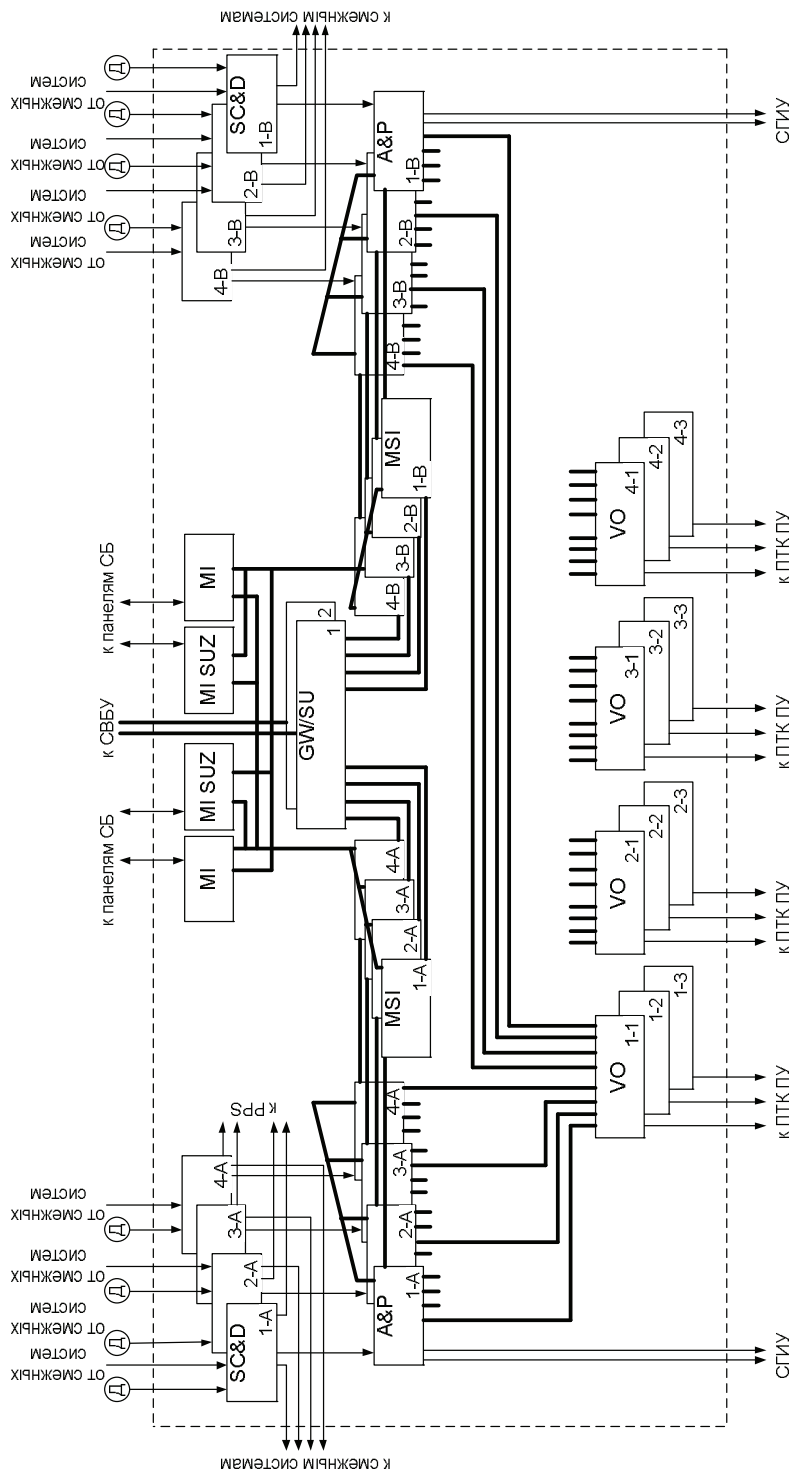


Рис. 2.3. Структура ПТК АЗ-ПЗ, УСБИ на аппаратуре ТХС в проекте с четырьмя каналами УСБ  
 Примечание: обозначение шкафов в соответствии с их функциональным назначением (см. табл. 2.1)

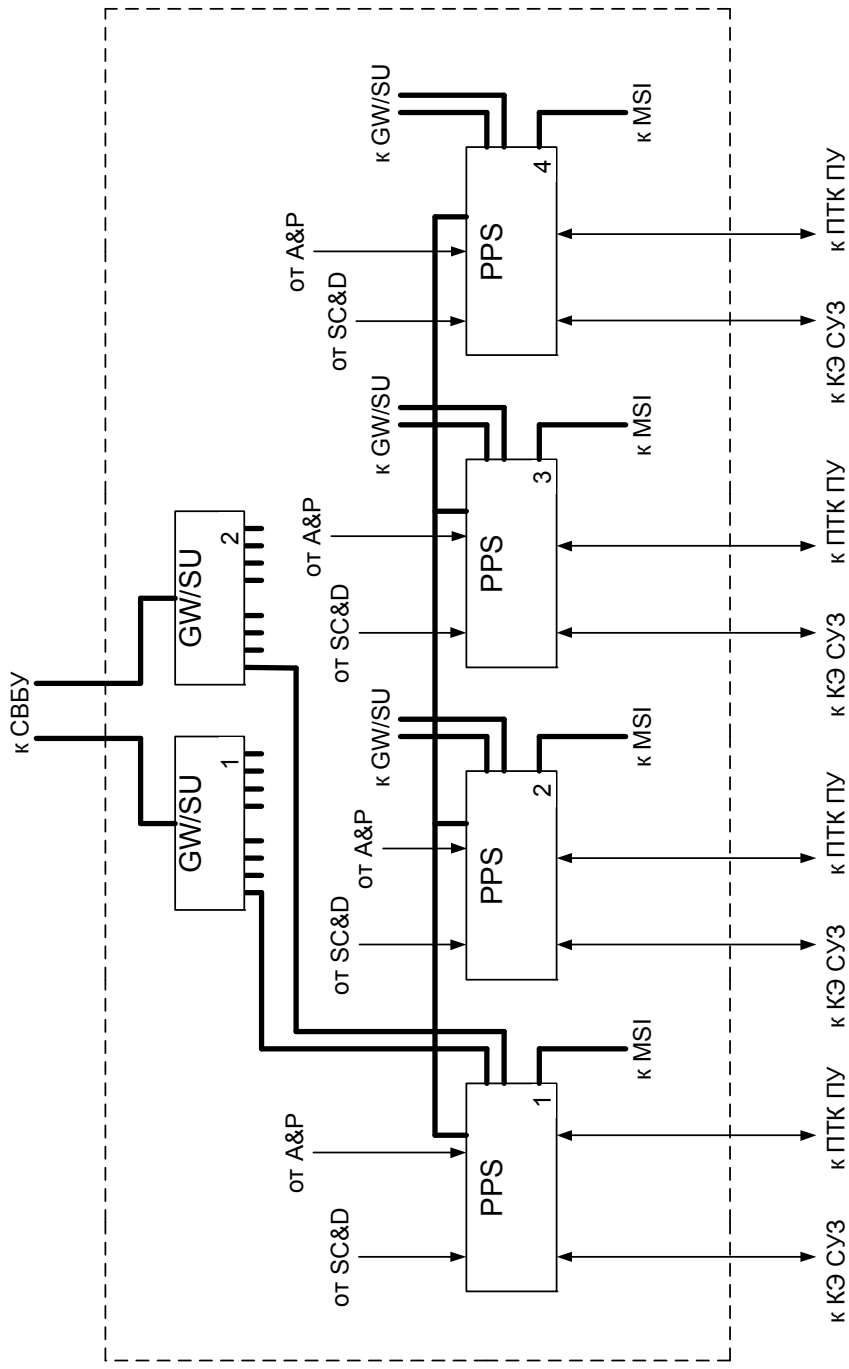


Рис. 2.4. Структура ПТК АЗ – ПЗ УСБИ в части предупредительной защиты на аппаратуре ТХС  
 Примечание: обозначение шкафов в соответствии с их функциональным назначением (см. табл. 2.1)

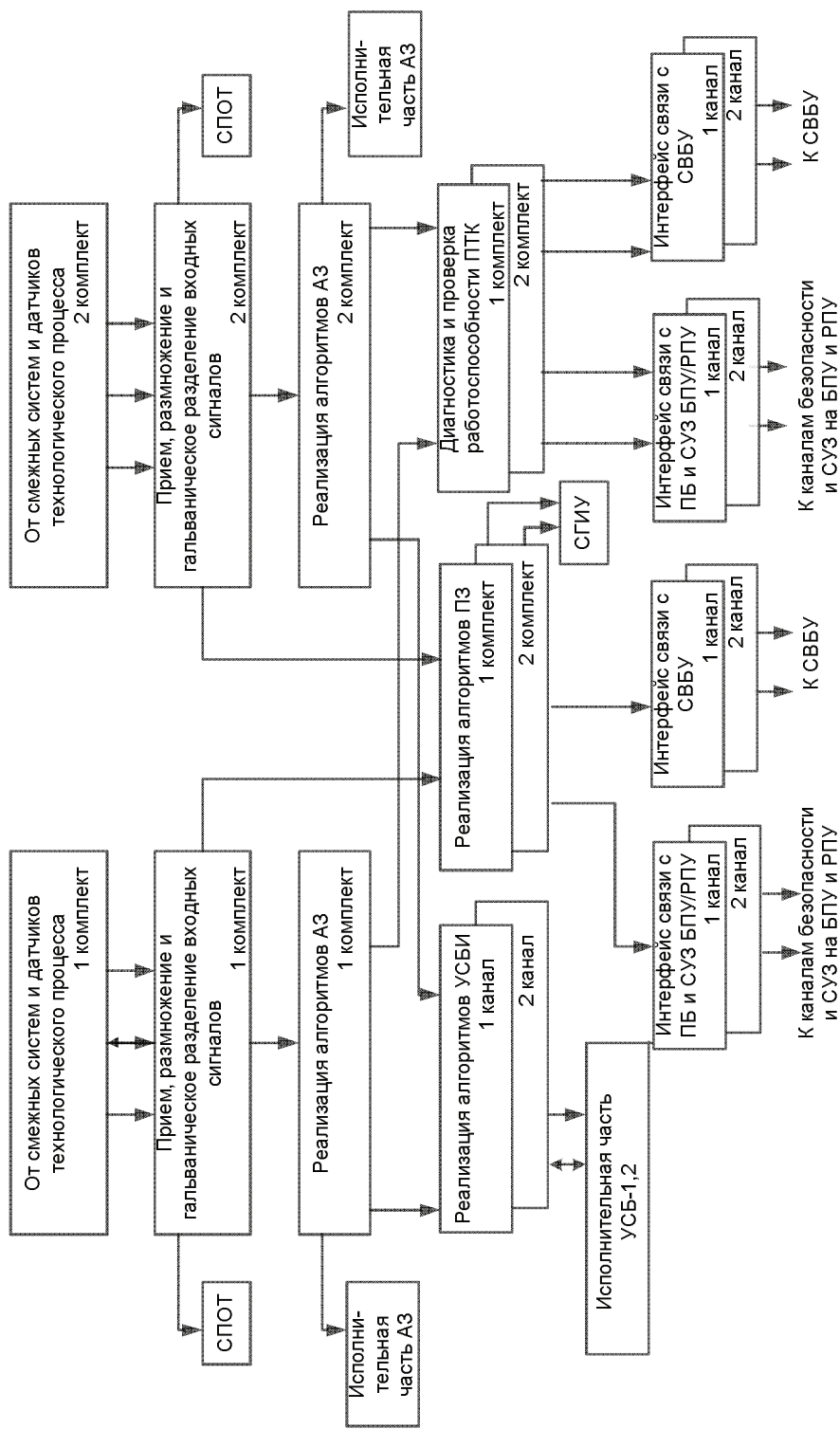


Рис. 2.5. Функциональная структура ПТК АЗ – ПЗ, УСБИ на аппаратуре ТХС в проекте с двумя каналами УСБ

## 2.4. Функционирование

### *Режимы функционирования*

1. Оборудование ПТК имеет следующие режимы функционирования:

«Основной режим» – выполнение заданных алгоритмов (циклический режим);

«Параметрирование/Имитация» – выполняются все функции «Основного режима», но доступна возможность параметризации и имитации (циклический режим);

«Тест/Диагностика» – функции «Основного режима» не выполняются, доступно выполнение сервисного обслуживания с возможностью тестирования, диагностирования и обновления ПО (циклический режим работы не выполняется).

2. «Основной режим» является режимом «по умолчанию» – оборудование ПТК при включении автоматически переходит в указанный режим.

Перевод оборудования ПТК в другие режимы выполняется при помощи сервисных станций SU, которые имеются отдельно для каждой подсистемы ПТК и входят в состав шкафов GW/SU.

3. Защита от несанкционированного доступа к сервисным станциям SU реализована следующими техническими мерами:

- наличием механических замков с ключами в шкафах TXS и сигнализации на БПУ об открытии дверей;

- использованием системы паролей разных уровней, разграничивающих полномочия разных пользователей по возможностям работы с оборудованием.

4. Для возможности изменения режима функционирования оборудования ПТК АЗ – ПЗ УСБИ на панелях БПУ установлены отдельно для каждого канала электрические ключи «Разрешение изменения режима». Сигналы от указанных ключей поступают в оборудование соответствующей подсистемы и канала и разрешают или блокируют возможность изменения режима. Сигнализация о наличии разрешения на изменение режима оборудования ПТК выводится на панель БПУ для каждого канала отдельно.

### *Реализация управляющих функций*

1. Для реализации функций «Аварийная защита» обеспечивается прием и обработка входных сигналов и формирование по заданным алгоритмам инициирующих выходных сигналов для КЭ СУЗ, который выполняет обесточивание приводов СУЗ.

2. Для реализации функций «Инициирование срабатывания технологических систем безопасности» обеспечивается прием и об-



работка входных сигналов и формирование по заданным алгоритмам управляющих сигналов для ПТК ПУ, который выдает соответствующие сигналы в коммутационную аппаратуру управления исполнительными механизмами систем безопасности.

3. Для реализации функций «Предупредительная защита» обеспечивается прием и обработка входных сигналов и формирование по заданным алгоритмам иницирующих сигналов для СГИУ, который выдает сигналы на приводы ОР СУЗ в режимах УПЗ, ПЗ-1, ПЗ-2.

4. Для реализации функций «Автоматическое программное логическое управление технологическими операциями» обеспечивается формирование по заданным алгоритмам последовательности иницирующих сигналов для ПТК ПУ, который выдает соответствующие управляющие сигналы на приводы исполнительных механизмов.

5. Инициация функций может осуществляться автоматически, до достижения какого-либо технологического условия, либо автоматизированным способом, путем задания команды на исполнение оператором.

#### *Сигнализация*

Для реализации функций «Сигнализация» обеспечивается формирование сигналов для световой и звуковой сигнализации на панелях безопасности БПУ/РПУ. Формирование сигналов для световой и звуковой сигнализации выполняется на основе заданных алгоритмов и включает в себя:

- измерение значения технологического параметра (прием и преобразование аналогового сигнала) или прием дискретных сигналов;
- сравнение измеренного значения с уставкой;
- формирование выходного дискретного сигнала на табло БПУ/РПУ.

#### *Отображение измеренной информации на показывающих приборах*

Для реализации функций «Отображение измеренной информации на показывающих приборах» обеспечивается формирование аналоговых сигналов для показывающих приборов ПБ БПУ/РПУ. Формирование аналоговых сигналов для показывающих приборов включает:

- измерение значения технологического параметра;
- расчетную обработку измеренного значения, включая процедуры масштабирования, линеаризации, мажоритарной обработки, учета корректирующих сигналов и др.;
- формирование выходного аналогового сигнала на показывающий прибор.

### *Обмен информацией со смежными системами*

Для реализации функций «Обмен информацией со смежными системами» обеспечивается формирование аналоговых и дискретных сигналов, а также обеспечение обмена данными по цифровым каналам связи и включаются следующие процедуры:

- измерение значений технологических параметров;
- прием дискретных входных сигналов;
- логическая (расчетная) обработка входных данных;
- формирование аналоговых и/или дискретных выходных сигналов;
- формирование массивов выходных данных;
- передача данных по оговоренному цифровому интерфейсу.

### *Временные характеристики*

Время формирования инициирующего сигнала аварийной защиты от момента формирования на входе в ПТК сигнала, превышающего уставку, не превышает 0,15 с. Время формирования инициирующего сигнала на запуск исполнительных механизмов систем безопасности от момента формирования на входе в ПТК сигнала, превышающего уставку, не превышает 0,25 с.

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите основные функции ПТК.
2. Нарисуйте схему ПТК для 2-канальной структуры УСБ.
3. Нарисуйте схему ПТК для 4-канальной структуры УСБ.
4. Что является объектом автоматизации для функций инициирования?
5. Какова схема ПТК для 2-канальной структуры УСБ?
6. Назовите режимы функционирования ПТК.

## Глава 3. ПТК С РАЗНЕСЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ ИНИЦИИРОВАНИЯ СРАБАТЫВАНИЯ АЗ – ПЗ, УСБИ

### 3.1. Общие положения

В настоящей главе описываются программно-технические комплексы с разнесенными функциями иницирующей части АЗ – ПЗ и иницирующей части УСБИ. В этих ПТК применяется аппаратура с функциями «жесткой логики» разработки ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ» двух видов – комплекс с ранее использованной аппаратурой типа АЗТП, АЛОС, АОП и комплекс усовершенствованной аппаратуры типа АФСЗ и АОП.

Эти виды ПТК применяются на АЭС с реакторными установками ВВЭР-1000 и БН-800 с разным количеством каналов УСБ: по три канала безопасности на энергоблоках Калининской, Ростовской и Белоярской АЭС и по четыре канала безопасности на энергоблоках АЭС «Бушер» и АЭС «Куданкулам». Это существенно влияет на структурные схемы ПТК.

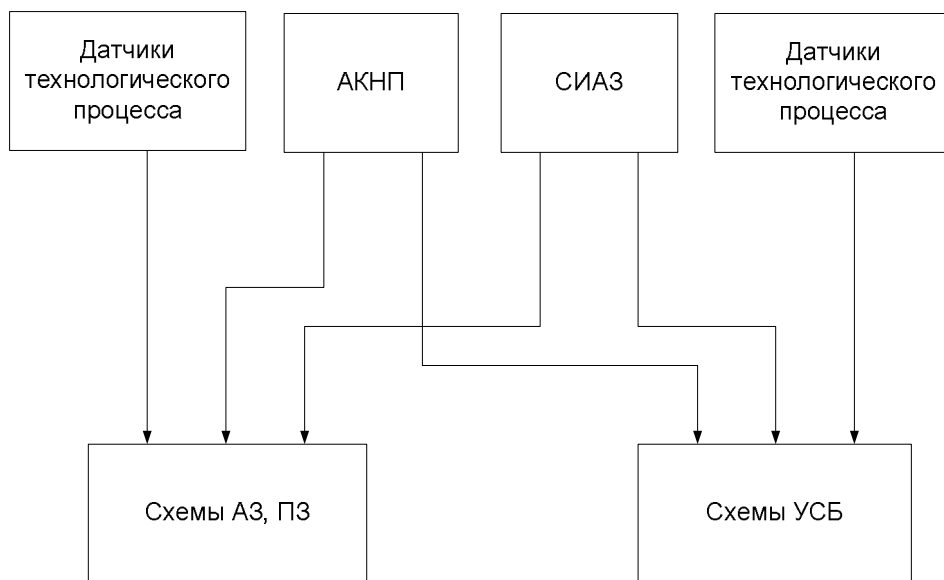


Рис. 3.1. Схема применения датчиков технологического процесса для энергоблока с ВВЭР-1000

Каждый ПТК-АЗ, ПЗ и ПТК – УСБИ имеют свой комплект датчиков технологического процесса (рис. 3.1), что является отличием от проекта «АЭС-2006».

### 3.2. Функции, назначение, классификация

Подсистема предназначена для выполнения следующих функций:

- контроль нейтронно-физических и технологических параметров реакторной установки;
- формирование сигналов аварийного останова реактора при проектных авариях;
- формирование сигналов управления при нормальных условиях эксплуатации;
- формирование сигналов разгрузки и ограничения мощности при нарушении условий безопасной эксплуатации;
- формирование поканальных сигналов первопричины срабатывания аварийной, предупредительной защиты и сигналов состояния оборудования подсистемы;
- архивирование и отображение всей информации, формируемой в подсистеме;
- передача информации в СВБУ и другие подсистемы.

По функциям защиты подсистема обеспечивает формирование команд инициирования аварийной защиты при следующих условиях:

- достижение нейтронно-физическими, технологическими и сейсмическими параметрами уставок АЗ;
- поступление дискретных сигналов отключения основного технологического оборудования;
- поступление сигналов от исполнительной части АЗ – ПЗ;
- выявление неисправности ТС, участвующих в формировании сигналов защит;
- исчезновение по двум вводам напряжения питания ТС ИЧ АЗ – ПЗ, участвующих в формировании сигналов защит.

В соответствии с требованиями НП-082-07 защитные функции выполняются автоматически при возникновении аварийных ситуаций. Команды АЗ имеют приоритет перед другими видами защит и управления. Действие АЗ доводится до конца независимо от снятия сигнала первопричины.

По функциям управления подсистема обеспечивает:

- формирование команд срабатывания предупредительной защиты первого и второго рода (ПЗ-1, ПЗ-2), в том числе при поступлении дискретных сигналов от СВРК;

- формирование сигналов срабатывания ускоренной предупредительной защиты (УПЗ) при определенном составе работающего оборудования и значении параметров РУ;
- формирование сигналов по нейтронно-физическим параметрам для АРМР;
- формирование сигналов «СТОП» от аппаратуры контроля перегрузки (АКП) в автоматику перегрузочной машины (ПМ);
- формирование сигналов по превышению сейсмическим воздействием уровня проектного землетрясения в системы управления перегрузочной машины и кругового крана.

В системы управления перегрузочной машины и кругового крана поступает по два управляющих сигнала (по одной команде из каждого комплекта).

По функциям контроля подсистема обеспечивает:

- контроль нейтронно-физических параметров реактора и сравнение их с заданными значениями уставок;
- контроль текущих значений технологических параметров и сравнение их с заданными значениями уставок (в том числе по вычисляемым параметрам);
- контроль нейтронно-физических параметров при пусковых операциях;
- оперативный многоканальный контроль реактивности во всем диапазоне изменения мощности реактора;
- контроль сейсмических параметров.

По информационным функциям подсистема обеспечивает:

- представление оператору информации по контролируемым нейтронно-физическим параметрам на цифровых индикаторах БПУ и РПУ;
- выдачу сигналов первопричины срабатывания АЗ, ПЗ, УПЗ для отображения на табло БПУ;
- выдачу сигналов от аппаратуры контроля ВКУ в СКВ (СКУД);
- сбор, обработку и накопление в аппаратуре АОП информации о контролируемых параметрах для передачи в СВБУ;
- оперативную проверку времени формирования и времени прохождения сигналов АЗ;
- выдачу информации о состоянии технических средств иницирующей части АЗ – ПЗ на цифровой индикатор УНО;
- выдачу сигналов в СВБУ и СВРК;
- сигнализацию «СТОП» и «РЕВЕРС» от АКП на пульт ПМ и пульт физика.

По вспомогательным функциям подсистема обеспечивает:

- диагностику состояния с помощью автоматического контроля, системной диагностики в АОП и ручной периодической проверки работоспособности с представлением оператору на БПУ информации о результатах контроля и проверки;
- синхронизацию времени в АОП со временем СВБУ;
- ручную и автоматизированную проверку защит и калибровку без отключения от УНО кабелей связи от датчиков;
- имитацию входных параметров, включая регламентированный перевод параметра (группы параметров) в заданное состояние, определяемое режимами пуска и останова РУ.

### 3.3. Схемные решения

#### 3.3.1. Схема с использованием АЗТП, АЛОС, АОП

На рис. 3.2 приведена структурная схема ПТК инициирующей части АЗ – ПЗ с применением техники АЗТП, АЛОС, АОП для энергоблока с ВВЭР-1000. Иницирующая часть организована в виде двух комплектов по три канала в каждом соответственно. Каждый канал АЗ является полностью независимым от остальных каналов, начиная от датчика, обеспечен индивидуальным электроснабжением от источника надежного электроснабжения 1 группы. Сигналы 0–50 кГц от датчиков поступают в аппаратуру обработки сигналов (АКНП, АЗТП и т.д.), где осуществляется первичная обработка и сравнение параметров с уставками.

Сигнал АЗ формируется в каждом АЛОС после голосования «2 из 3» и соответствующей логической обработки по схемам И/ИЛИ в соответствии с алгоритмами формирования аварийных защит.

Сигналы от датчиков нейтронного потока и технологических датчиков выдаются на нормализующие преобразователи, которые выполняют предварительное усиление полученных сигналов и их преобразование в сигналы с диапазоном частот 0–50 кГц. Нормализующие преобразователи расположены вне контейнента, преобразование в частоту имеет следующие преимущества:

- высокая помехозащищенность. Реальная электромагнитная обстановка на АЭС, длинные линии связи, реальные условия прокладки кабелей создают условия, при которых передача низкочастотных сигналов обычными методами (токовые сигналы и сигналы напряжения) затруднена;

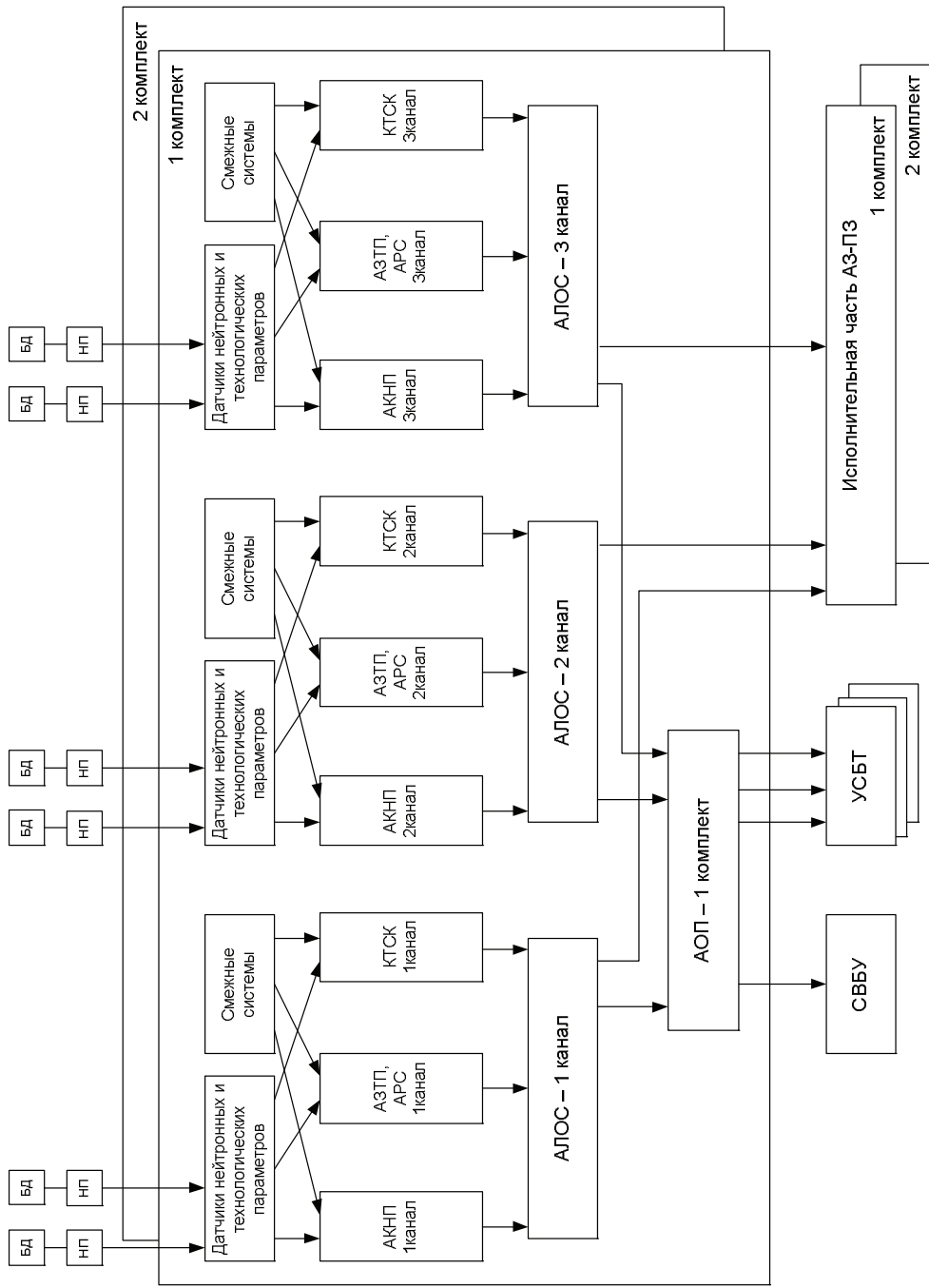


Рис. 3.2. Схема иницирующей части АЗ – ПЗ с аппаратурой АЗТП, АЛОС, АОП

- широкополосный частотный сигнал 0–50 кГц позволяет обеспечить необходимую точность при передаче сигнала, сохраняя при этом высокую помехозащищенность.

Комплекс аппаратуры контроля нейтронного потока АКНП предназначен для контроля физической мощности, периода, реактивности и локальных параметров активной зоны по значению плотности потока тепловых нейтронов, скорости его изменения и других параметров (температура теплоносителя на входе в реактор, давление в первом контуре, положение ОР). Информация позволяет учесть неравномерность энерговыделения в активной зоне и влияние изменения параметров теплоносителя на блоки детектирования для оперативной корректировки сигналов нейтронного потока.

АЗТП формирует сигналы аварийной защиты при отклонении значений технологических параметров РУ за допустимые пределы. Входная информация поступает в АЗТП от первичных преобразователей технологических параметров для измерения давления, уровня и измерения температуры. Информация, обработанная в АЗТП, выдается в АЛОС и АОП для представления информации на оперативном дисплее. Также, информация от АЛОС выдается в УСБТ для сигнализации на БПУ. Аппаратура относится к управляющим системам безопасности (класс 2НУ по НП-001-15).

Аппаратура АЗТП обеспечивает:

- прием входной информации от первичных преобразователей технологических параметров;
- обработку, сравнение с уставками и формирование дискретных сигналов как при превышении текущим значением параметра заданной уставки, так и при уменьшении текущего значения параметра ниже заданной уставки;
- формирование, размножение и выдачу в АЛОС дискретных сигналов при отклонении значений технологических параметров за пределы заданных уставок;
- автоматический контроль исправности и формирование сигналов «неисправность» и сигнала защиты по данному каналу для передачи их в АЛОС при отказе аппаратуры, при отсутствии на штатных постоянных местах функциональных узлов, а также при обесточивании каналов;
- автоматизированную и ручную проверку работоспособности каналов;
- поканальное отображение в устройстве накопления и обработки (УНО АЗТП) текущих значений контролируемых параметров и величины уставки в цифровом виде;



- передачу в АОП информации о текущем значении контролируемых параметров, величине уставок, превышении уставок, исправности каналов и нахождении каналов в режиме проверки;
- формирование и передачу в УСБТ обобщенной информации об исправности, превышении уставок по АЗ и проверке;
- формирование и передачу в АСП обобщенной по УНО информации об исправности, превышении уставок по АЗ, ПЗ-1, ПЗ-2 и проверке;
- передачу информации в аналоговом виде на индивидуальные приборы.

Каждое устройство накопления и обработки информации АЗТП состоит из устройства обработки, порогового устройства и измерительного устройства. Частотные сигналы принимаются устройством обработки и преобразуются в цифровой код для сравнения в пороговом устройстве. Пороговое устройство производит сравнение текущих значений сигналов с уставками и в случае превышения уставки дискретный сигнал выдается в АЛОС АЗ – ПЗ. Уставки могут быть заданы с точностью 0,1 % для технологических параметров и могут задаваться неоперативно. Уставки для функций предупредительной защиты по некоторым параметрам устанавливаются автоматически в заданной пропорции от уставок аварийной защиты.

В состав АЗТП входят следующие устройства и блоки (табл. 3.1).

Таблица 3.1

### Устройства и блоки АЗТП

| Наименование аппаратуры                                     | Количество, шт. |
|---|-----------------|
| Устройство накопления и обработки информации УНО в составе: | 6               |
| блок функциональной обработки БПМ;                          | 3               |
| блок вывода цифровой БВЦ;                                   | 3               |
| блок питания БНН  | 3               |
| Устройство преобразования УПХ                               | 48              |
| Комплект ЗИП  | 1               |
| Комплект монтажных частей                                   | 1               |
| Комплект инструмента и принадлежностей                      | 1               |

В целях отображения и хранения информация передается в СВБУ через АОП. Аналоговые величины выбранных параметров отображаются на оперативных дисплеях АОП. Помимо этого, АОП также сравнивает текущие величины уставок с действительными значениями уставок, которые хранятся в базе данных АОП, и в случае обнаружения отклонения формируется сигнал оператору на БПУ.

Вся связь между АЗТП и АОП осуществляется через гальванически развязанные выходы АЗТП. Аппаратура отображения и протоколирования АОП предназначена для сбора, хранения и вывода информации в СВБУ, полученной от аппаратуры:

- контроля нейтронного потока АКНП;
- защиты по технологическим параметрам АЗТП;
- логической обработки сигналов АЛОС;
- формирования аварийных команд ШАК;
- разгрузки и ограничения мощности АРОМ;
- регулирования мощности АРМ;
- сигнализации первопричины АСП.

АЛОС предназначена для логической обработки управляющих сигналов защиты, поступающих от АЗТП, АРС, АКНП, АРОМ, СКУД, формирования обобщенных по родам защит АЗ, ПЗ-1, ПЗ-2, УПЗ аварийных сигналов для передачи в аппаратуру формирования аварийных команд, а также для передачи информации о формировании сигналов защит в АСП и АОП. Аппаратура относится к управляющим системам безопасности (класс 2НУ по ОПБ-88/97).

АЛОС состоит из двух комплектов, каждый из которых независимо формирует одинаковые сигналы защит и полностью выполняет все необходимые функции. Комплект аппаратуры АЛОС состоит из трех независимых каналов УНО. Каждый канал УНО комплекта аппаратуры АЛОС принимает:

- дискретные сигналы от трех каналов соответствующего комплекта аппаратуры;
- дискретные сигналы от АКНП, АЗТП, АРОМ, СКУД и сигналы от АРС о состоянии основного технологического оборудования;
- сигнал разрешения опробования от ШАК.

Дискретные сигналы от АКНП, АЗТП, АРОМ, СКУД и АРС принимаются по гальванически развязанным цепям.

Каждый канал УНО аппаратуры АЛОС обеспечивает:

- мажоритированную обработку входных сигналов по логике «2 из 3»;
- формирование временных интервалов (задержек) при обработке сигналов по некоторым параметрам в соответствии с заданным перечнем защит. Величина задержек по каждому такому каналу регулируется с дискретностью 0,1 с;
- автоматическую блокировку некоторых сигналов в соответствии с перечнем защит;
- формирование обобщенных сигналов аварийных и предупредительных защит (АЗ, ПЗ-1, ПЗ-2 и УПЗ);

- проверку в режиме оперативного контроля логических схем и временных задержек по всем родам защит;
- проверку в ручном и автоматизированном режимах формирования сигналов защит при выводе в опробование одного из комплектов по всем ветвям защит с передачей результатов контроля в АОП.

Каждый шкаф АЛОС имеет четыре физически различных модуля: один для логической обработки и сигналов и выдачи сигнала АЗ, а остальные три модуля – для обработки и формирования каждого типа сигналов ПЗ (ПЗ-1, ПЗ-2, УПЗ). АЛОС также вырабатывает сигналы для выдачи в аппаратуру сигнализации первопричины для последующей выработки сигнализации первопричины для срабатывания на БПУ и РПУ, а также сигнала на срабатывание системы безопасности в случае отказа АЗ по требованию на ее срабатывание.

Каждый канал УНО аппаратуры АЛОС обеспечивает в реальном масштабе времени передачу в АОП по гальванически развязанным шинам следующей информации:

- о формировании сигналов по каждой из ветвей защиты и обобщенным выходным сигналам;
- об исправности каждой ветви защиты и УНО в целом;
- о нахождении УНО в режиме проверки.

В каждом канале УНО аппаратуры АЛОС обобщенные сигналы защит (АЗ, ПЗ-1, ПЗ-2, и УПЗ) выдаются в ШАК и в АСП в виде размыкания токовой петли. Питание токовых петель осуществляется приемниками ШАК и АСП. Информационные сигналы (в СВБУ, АСП, АОП) выдаются в виде замыкания оптоэлектронного ключа. Питание выходных цепей осуществляется приемниками информационных сигналов АСП, АОП.

В состав АЛОС входят следующие устройства и блоки (табл. 3.2).

Таблица 3.2

#### Устройства и блоки АЛОС

| Наименование  | Количество, шт. |
|---|-----------------|
| Устройство логической обработки сигналов УНО в составе: | 6               |
| блок функциональной обработки БПМ                       | 3               |
| блок контроля БКЗ                                       | 2               |
| блок связи БВЦ  | 1               |
| блок питания БНН  | 2               |

Аппаратура размножения сигналов (АРС) относится к управляющим системам безопасности, класс 2УН по НП-001-15. Аппаратура предназначена для размножения дискретных сигналов от датчи-

ков основного технологического оборудования, для передачи их в аппаратуру логической обработки сигналов АЛОС и аппаратуру, требующую размножения дискретных сигналов. Информация о состоянии аппаратуры АРС поступает в аппаратуру отображения и протоколирования АОП и аппаратуру сигнализации первопричины АСП.

В некоторых проектах при объединении функций инициирования АЗ-ПЗ, УСБИ используют АСП – аппаратуру сигнализации первопричины. АСП предназначена для фиксации первого сигнала, вызвавшего формирование управляющих сигналов защиты, фиксации состояния аппаратуры УСБ АЗ, ПЗ с выдачей сигналов для отображения полученной информации на табло БПУ. АСП относится к элементам систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности, класс ЗН по НП-001-15.

### ***3.3.2. Схема с использованием АФСЗ, АОП***

На рис. 3.3 приведена схема инициирующей части АЗ – ПЗ СУЗ энергоблока с ВВЭР-1000 с использованием аппаратуры АФСЗ, АОП [6].

В состав входит оборудование следующих функциональных подсистем:

- аппаратура контроля нейтронного потока АКНП;
- аппаратура формирования сигналов защит АФСЗ;
- аппаратура отображения и протоколирования АОП;
- аппаратура контроля загрузки/перегрузки топлива АКП;
- аппаратура разгрузки и ограничения мощности АРОМ;
- аппаратура контроля фиксации внутрикорпусных устройств АК ВКУ;
- аппаратура индустриальной антисейсмической защиты АИАЗ.

Структура удовлетворяет требованиям «Правил ядерной безопасности реакторных установок атомных станций» НП-082-07 и состоит из двух комплектов, каждый из которых содержит три канала формирования сигналов управления и защиты. Каждый комплект подсистемы выполняет функции защиты и управления в полном объеме.

Каждый комплект подсистемы содержит:

- три канала контроля нейтронного потока АКНП;
- три канала формирования сигналов защит АФСЗ;
- три канала контроля перегрузки АКП;
- три канала разгрузки и ограничения мощности АРОМ;
- три канала индустриальной антисейсмической защиты АИАЗ.

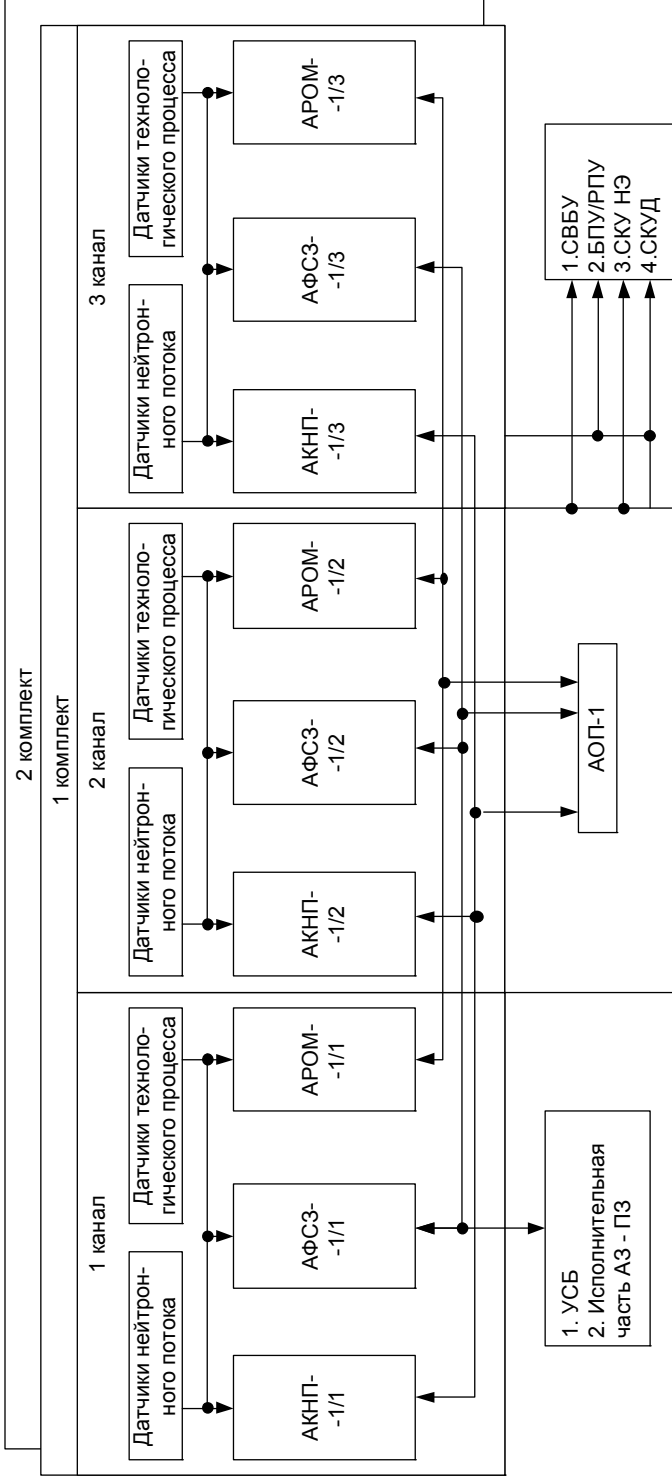


Рис. 3.3. Иницирующая часть АЗ – ПЗ СУЗ энергоблока с ВВЭР-1000

Общее оборудование подсистемы включает в себя:

- один комплект аппаратуры контроля фиксации внутрикорпусных устройств АК ВКУ;
- два комплекта аппаратуры отображения и протоколирования АОП, каждый из которых принимает информацию от своего комплекта ТС подсистемы.

Сигналы защиты на входах каждого из алгоритмов по АЗ, ПЗ-1, ПЗ-2 и УПЗ проходят обработку по мажоритарному принципу «2 из 3». Информационный обмен между компонентами подсистемы реализован следующим образом:

- связь ТС подсистемы осуществляется гальванически разделенными дискретными и аналоговыми сигналами при напряжении пробоя не менее 0,5 кВ;
- связь ТС подсистемы с аппаратурой отображения и протоколирования АОП осуществляется последовательным интерфейсом RS-485;
- связь между каналами АФСЗ осуществляется по последовательному интерфейсу, реализованному в программируемых логических матрицах с использованием оптоволоконной линии связи.

Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП выполняет следующие функции:

- контроль нейтронного потока (АКНП);
- контроль энергораспределения (АКЭ);
- контроль реактивности (АКР).

Каналы контроля АКНП обеспечивают:

- формирование сигналов защиты по нейтронной мощности реактора в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-7}$  до 150 % от номинального значения мощности ( $N_{ном}$ ), равного 100 %;
- формирование сигналов защиты по периоду в пределах от 5 до 999 с во всем диапазоне контроля мощности;
- формирование дискретных сигналов защиты о выходе за пределы уставок измеренных значений мощности и периода и передачу в АФСЗ;
- расчет характеристик среднего для активной зоны аксиального распределения (аксиального коэффициента неравномерности энерговыделения и аксиального офсета) по сигналам вне реакторных датчиков АКНП;
- передачу сигналов, пропорциональных плотности нейтронного потока в АК ВКУ;
- передачу сигналов в аппаратуру АРОМ;
- определение значения мощности реактора, откорректированного с учетом формы энергораспределения, температуры тепло-

носителя в циркуляционных петлях на входе в реактор, положения управляющих групп и выгорания топлива;

- представление информации о значении нейтронной мощности и периода реактора на индивидуальных приборах;
- передачу информации о значении нейтронной мощности, периода реактора, значении уставок, срабатывании пороговых схем в АОП;
- выдачу сигналов в аппаратуру АРМР (КЭ СУЗ).

Аппаратура формирования сигналов защит АФСЗ выполняет функции:

- защиты по технологическим параметрам (АЗТП);
- логической обработки сигналов (АЛОС);
- формирования поканальных сигналов первопричин.

АФСЗ по функциям АЗТП обеспечивает контроль технологических параметров и формирование дискретных сигналов АЗ, ПЗ-1, ПЗ-2, УПЗ при достижении контролируемыми параметрами заданных уровней уставок защиты. АФСЗ принимает аналоговые сигналы от датчиков технологических параметров.

АФСЗ обеспечивает по каждому контролируемому параметру задание уставок защиты в диапазоне от 0,1 до 100,0 % от верхнего предела контролируемого параметра с дискретностью выбора не более 0,1 % от верхнего предела контролируемого параметра. При этом выполняется сравнение текущих значений параметров с заданными уставками и формирование дискретных сигналов при выходе текущих значений за пределы уставки.

Аппаратура отображения и протоколирования АОП обеспечивает сбор, обработку, регистрацию, архивацию и отображение следующей информации:

- нейтронно-физические, технологические, сейсмические параметры, по которым осуществляется защита реактора;
- значения уставок защит;
- сигналы срабатывания защит;
- первопричина срабатывания защит;
- состояния ТС подсистемы;
- сигналы блокировки каналов.

АОП выполняет передачу текущей информации в подсистемы АСУ ТП-СВБУ, СКУД, СРВПЭ.

Аппаратура контроля перегрузки АКП обеспечивает контроль нейтронно-физических параметров реактора в период первого пуска и в период загрузки/перегрузки топлива по сигналам чувствительных датчиков нейтронного потока, устанавливаемых в каналы бетонной защиты и перемещаемых после выхода на минимально кон-

тролируемый уровень мощности (МКУ), а также передачу контролируемой информации в АОП.

АКП передает в АОП информацию о вычисленном среднем в каждом канале значении частоты импульсов и скорости ее изменения, о срабатывании уставок «СТОП», «РЕВЕРС», сигнал собственной исправности и сигнал открытия дверей шкафа УНО. Отображение текущих значений контролируемых параметров осуществляется в цифровом виде с помощью индикаторов, установленных на передней панели блока АКП. АКП выполняет передачу из каждого канала сигналов о срабатывании уставки «СТОП» в автоматику перегрузочной машины. АКП обеспечивает автономное задание уставок «СТОП» и «РЕВЕРС» по частоте. АКП обеспечивает автономное для каждого канала задание уставок по скорости (периоду) изменения частоты.

Аппаратура разгрузки и поддержания мощности АРОМ обеспечивает ограничение тепловой мощности в зависимости от числа работающих ГЦН, турбопитательных насосов ТПН, конденсатных электронасосов (КЭН), циркуляционных насосов (ЦН), состояния стопорных клапанов (СК) турбины, блочного выключателя турбогенератора (ТГ) и выключателя ОРУ. При четырех работающих ГЦН, двух работающих ТПН, включенном блочном выключателе, открытых СК, включенных ЦН и КЭН 1 и 2 ступеней разрешенный уровень мощности составляет 106 % от  $N_{\text{ном}}$ . При отключении части оборудования реакторной установки АРОМ обеспечивает снижение мощности.

АРОМ формирует и передает в аппаратуру АФСЗ сигнал обобщенной разгрузки. Сигнал обобщенной разгрузки передается от каждого канала АРОМ в три канала АФСЗ соответствующего комплекта.

Аппаратура контроля ВКУ обеспечивает:

- прием импульсных сигналов, формируемых в канале поддиапазона АКНП;
- формирование выходных аналоговых сигналов в СКУД (СКВ).

Аппаратура промышленной антисейсмической защиты АИАЗ предназначена для регистрации сейсмических воздействий на РУ и формирования дискретного сигнала превышения установленного уровня сейсмического воздействия для останова реактора. АИАЗ состоит из двух комплектов, в состав каждого из которых входят три канала измерения сейсмических воздействий, выполненных на базе трехкомпонентных сейсмодатчиков СД. В состав АИАЗ входят соединительные коробки для передачи сигналов от СД в аппаратуру АФСЗ, АОП и УСБТ. Также в состав АИАЗ входит калибратор, состоящий из пульта проверки СД и набора стандартных приборов.



### 3.3.3. Схема для энергоблока с реактором БН-800

На рис. 3.4 приведена схема иницирующей части АЗ – ПЗ СУЗ для энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БН-800. Схема состоит из трех каналов с комплектами *A* и *B*, в каждом комплекте имеется разделение на две линии защиты LoPA и LoPB для обеспечения принципа разнообразия.

Каждая линия защиты LoPA комплекта *A* выполняет следующие функции:

- прием аналоговых и дискретных сигналов для измерения технологических параметров и формирования сигналов защит по технологическим, сейсмическим и нейтронно-физическим параметрам (АЗ, ПЗ, ПС);
- реализацию алгоритмов защиты АЗ, ПЗ, ПС и формирование обобщенных сигналов защиты в исполнительную часть комплекса электрооборудования СУЗ (КЭ СУЗ) и смежные системы.

Каждая линия защиты LoPB комплекта *A* выполняет следующие функции:

- прием аналоговых и дискретных сигналов от датчиков технологического контроля (АЗ) и датчиков системы общего обесточивания блока (СООБ);
- реализацию алгоритмов защиты и формирование обобщенных сигналов защиты в КЭ СУЗ, а также передачу обобщенных сигналов АЗ и обобщенного сигнала СООБ в смежные системы.

Каждая линия защиты LoPA комплекта *B* выполняет следующие функции:

- прием аналоговых и дискретных сигналов для измерения технологических параметров и формирования сигналов защит по технологическим, сейсмическим и нейтронно-физическим параметрам (АЗ);
- реализацию алгоритмов защиты АЗ и формирование обобщенных сигналов защиты в КЭ СУЗ и смежные системы.

Каждая линия защиты LoPB комплекта *B* выполняет следующие функции:

- прием аналоговых и дискретных сигналов от датчиков технологического контроля (АЗ) и датчиков СООБ;
- реализацию алгоритмов защиты и формирование обобщенных сигналов защиты в КЭ СУЗ, а также передачу обобщенных сигналов АЗ и обобщенного сигнала СООБ в смежные системы.

В линиях защиты LoPA и LoPB комплектов *A* и *B* реализован принцип разнообразия по алгоритмам формирования сигналов защит для одних и тех же исходных событий. В линиях защиты LoPB комплектов *A* и *B* реализован принцип разнообразия по входным сигналам и алгоритмам для формирования обобщенного сигнала СООБ.

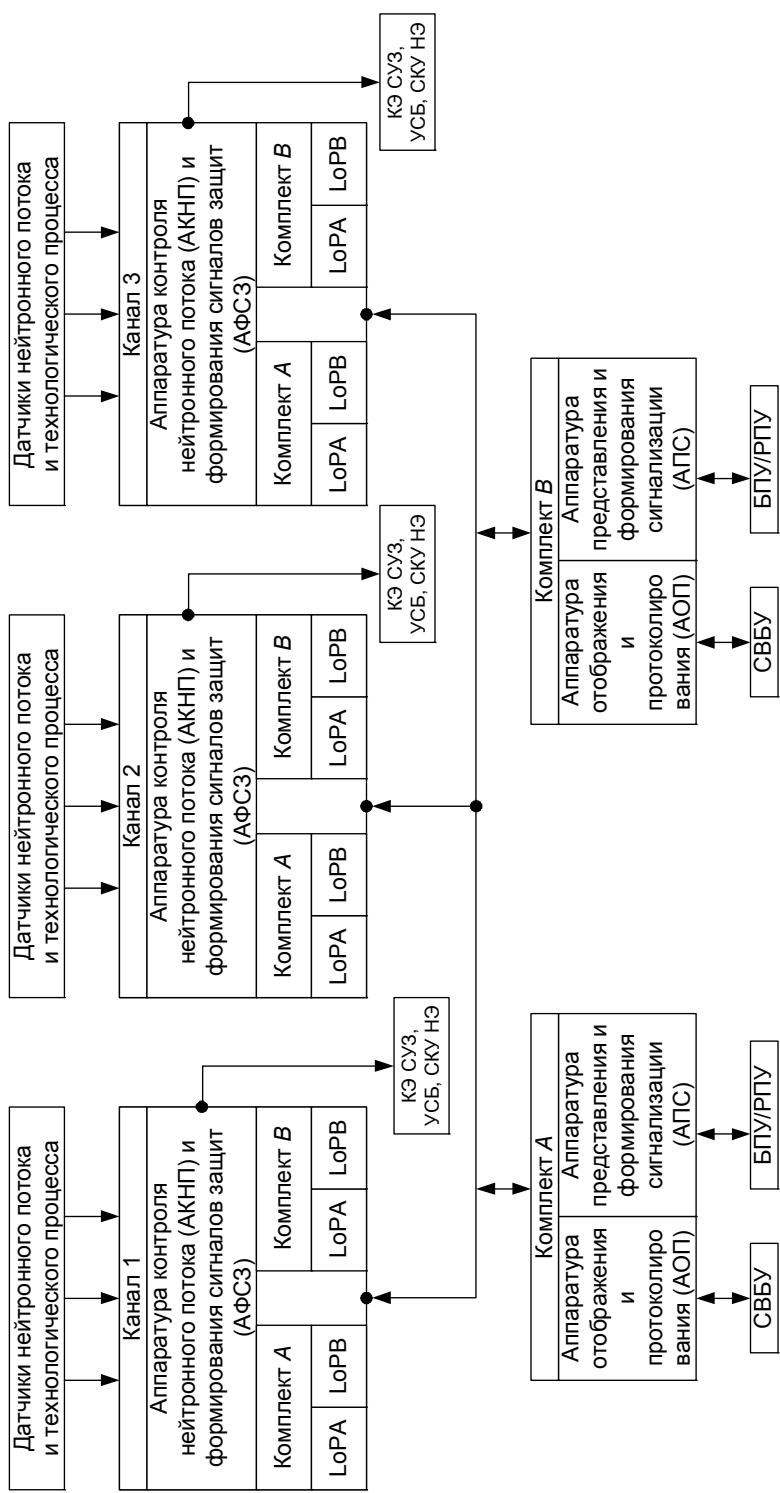


Рис. 3.4. Иницирующая часть АЗ – ПЗ СУЗ энергоблока с БН-800

Аппаратура АПС для каждого комплекта *A* и *B* выполняет следующие функции:

- прием информации по реализации каждого алгоритма в линиях защиты LoPA и LoPB данного комплекта и сигналов первопричин (ПП) от КЭ СУЗ;
- прием информации о состоянии оборудования данного комплекта ИЧ АЗ – ПЗ – ПС и КЭ СУЗ;
- мажоритирование по 2 из 3 сигналов от трех линий LoPA и трех линий LoPB по каждому алгоритму и формирование сигналов ПП для вывода их на индикационные панели БПУ, РПУ;
- формирование обобщенных сигналов по состоянию оборудования ИЧ АЗ – ПЗ – ПС и КЭ СУЗ для вывода их на индикационные панели БПУ, РПУ;
- вывод информации о сигналах ПП и состоянии оборудования в АОП.

Аппаратура АОП для каждого комплекта *A* и *B* выполняет следующие функции:

- прием информации по интерфейсу RS-485, реализованному на оптоволоконной линии связи, от линий защиты LoPA и LoPB аппаратуры АФСЗ, АКНП и АПС;
- архивирование поступившей информации, отображение ее на дисплее АОП и передачу в систему верхнего блочного уровня (СВБУ) и систему регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ).

Формирование сигналов защит АЗ, ПЗ и ПС осуществляется по трем каналам каждого комплекта, отдельно для линий защиты LoPA и LoPB. Формирование сигналов согласования алгоритмов в каждой линии защиты LoPA и LoPB осуществляется после предварительного мажоритирования входных сигналов для каждого алгоритма по логике «2 из 3» за счет обмена информации по дискретным сигналам от датчиков и дискретным сигналам срабатывания пороговых схем между каналами комплекта. Обмен осуществляется по последовательному интерфейсу, реализованному на базе оптоволоконной линии связи. Все каналы комплектов *A* и *B* унифицированы в части используемых модулей для приема, обработки и вывода информации.

## Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные функции ПТК.
2. Нарисуйте схему ПТК для аппаратуры АЗТП, АЛОС, АОП.
3. Нарисуйте схему ПТК для аппаратуры АФСЗ, АОП.
4. Нарисуйте схему ПТК для энергоблока с реактором БН-800.
5. Каковы схемные решения для аппаратуры АЗТП, АЛОС, АОП?
6. Нарисуйте схему ПТК для аппаратуры АФСЗ.

## Глава 4. ПТК ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ АЗ – ПЗ

### 4.1. Функции, классификация

Исполнительная часть АЗ – ПЗ предназначена для:

- приема обобщенных сигналов защиты из иницирующей части;
- мажоритарной обработки этих сигналов по логике «2 из 4» или «2 из 3»;
- формирования команд на срабатывание АЗ и ПЗ реактора;
- выдачи сигналов для представления информации оператору на БПУ и РПУ;
- выдачи сигналов в другие подсистемы СУЗ, СКУД и АСУ ТП.

Команды аварийной защиты из исполнительной части обесточивают аппаратуру силового управления всех приводов ОР СУЗ по постоянному и переменному току, что приводит к падению ОР СУЗ под действием собственного веса до крайнего нижнего положения при:

- поступлении обобщенных сигналов из соответствующего комплекта иницирующей части;
  - исчезновении напряжения в любом комплекте иницирующей части АЗ или исчезновении силового питания 220 В 50 Гц на двух вводах СУЗ;
  - иницировании срабатывания АЗ от ключей на БПУ или РПУ.
- Действие АЗ не прекращается при снятии сигнала первопричины.

Команды предупредительной защиты из исполнительной части обеспечивают:

- предупредительную защиту первого рода при поступлении обобщенных сигналов из соответствующего комплекта иницирующей части или иницировании срабатывания ПЗ-1 от ключей на БПУ;
- предупредительную защиту второго рода при поступлении обобщенных сигналов из соответствующего комплекта иницирующей части;
- ускоренную предупредительную защиту при поступлении обобщенных сигналов из соответствующего комплекта иници-

рующей части или инициировании срабатывания УПЗ от органов управления (ключей) на БПУ.

Время задержки срабатывания АЗ в исполнительной части – 0,15 с. Исполнительная часть АЗ – ПЗ обеспечивает возможность вывода любого одного комплекта инициирующей и исполнительной части АЗ – ПЗ из работы по функциям АЗ, ПЗ с обеспечением соответствующей сигнализации на БПУ. При этом схемные решения запрещают вывод более одного комплекта АЗ. Процедура вывода состоит из ряда последовательных контролируемых действий.

Оборудование исполнительной части АЗ – ПЗ выдает сигналы о формировании аварийных команд:

- в инициирующую часть для последующей передачи в СВБУ;
- для дальнейшей обработки и сигнализации первопричины;
- в АРМ, СКУД, систему борного регулирования и ЭГСР.

## 4.2. Схемные решения

Исполнительная часть АЗ – ПЗ (рис. 4.1) выполнена в виде двух независимых комплектов оборудования, осуществляющих:

- реализацию срабатывания аварийной защиты при поступлении, по крайней мере, двух из трех обобщенных сигналов АЗ от любого комплекта инициирующей части АЗ – ПЗ или при инициировании срабатывания аварийной защиты от органов ручного управления на БПУ или РПУ;

- реализацию срабатывания предупредительной защиты при поступлении, по крайней мере, двух из трех обобщенных сигналов ПЗ (УПЗ, ПЗ-1 и ПЗ-2) от любого комплекта инициирующей части АЗ – ПЗ или при инициировании срабатывания предупредительной защиты от органов ручного управления на БПУ.

Каждый комплект исполнительной части состоит из ШАК и ППП, конструктивно состоящих из трех шкафов (ШПУК, ШП), которые получают сигналы, вырабатываемые АЛОС, и выдают команды на прерывание питания к управляющим стержням СУЗ, чтобы осуществить останов реактора.

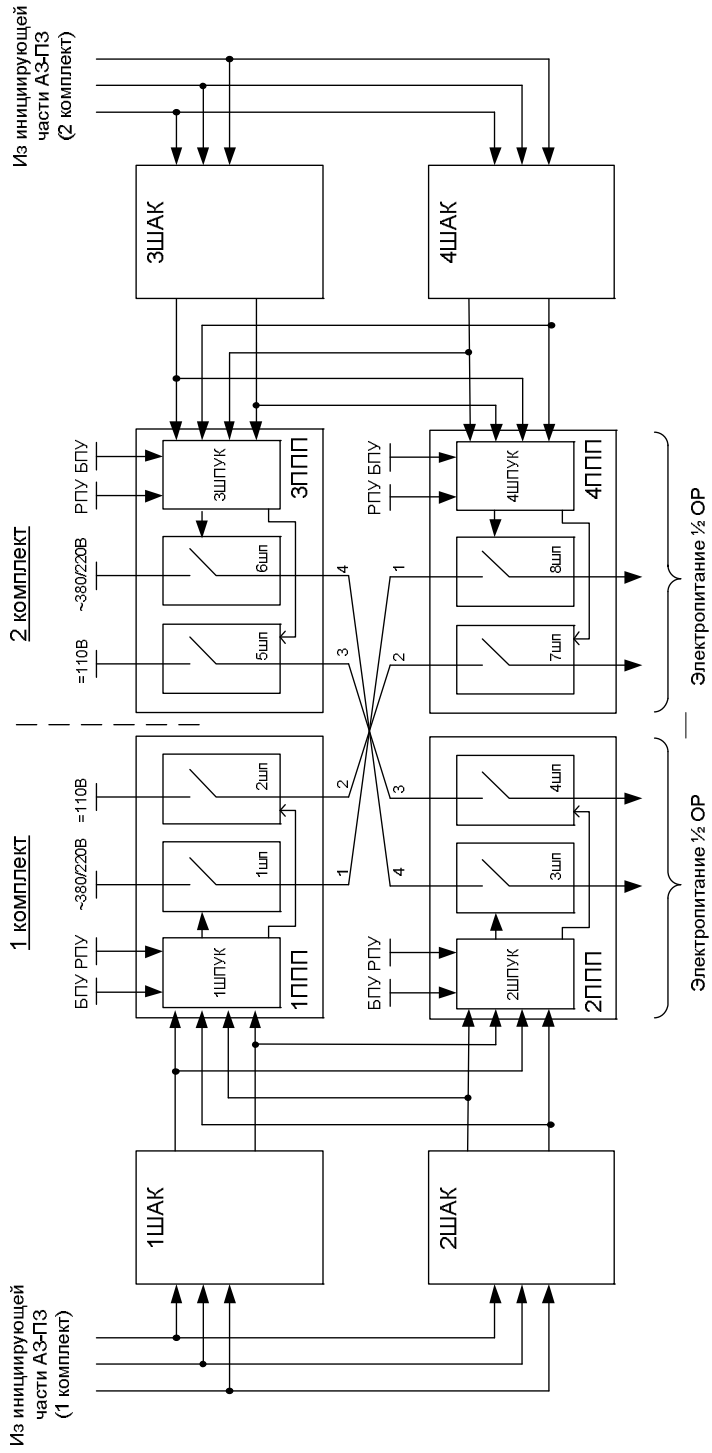


Рис. 4.1. Исполнительная часть АЗ – ПЗ СУЗ

Сигнал АЗ, сформированный в АЛОС инициирующей части, подается в исполнительную часть. Исполнительная часть состоит из четырех шкафов ШАК, которые находятся попарно в помещениях первого и второго комплектов системы безопасности и четырех панелей прерывателей питания (1ППП–4ППП), расположенных попарно в тех же помещениях. Сигнал АЗ от трех АЛОС поступает на вход ШАК 1 и ШАК 2 для первого комплекта АЗ (группа 1), и ШАК-3 и ШАК-4 для второго комплекта АЗ (группа 2). После голосования «2 из 3» в ШАК контакторы электроснабжения обесточиваются в блоках ППП, в результате чего управляющие стержни падают для выполнения функции АЗ. Шкафы питания 1-8ШП в панелях прерывания питания 1ППП–4ППП обеспечивают подачу напряжения 380 В переменного тока и 110 В постоянного тока для электроснабжения управляющих стержней через контакторы. Любой из четырех панелей прерывания питания достаточно для срабатывания АЗ и падения всех управляющих стержней.

Сформированные команды АЗ поступают в приемные модули шкафов ШПУК. Из ШПУК выдается команда на прерывание электропитания приводов ОР СУЗ в шкафы прерывателей питания 1–8 ШП и в СГИУ. В составе шкафов прерывателей питания для реализации принципа разнообразия применены механические контакторы разных фирм-производителей, что существенно снижает вероятность отказа по общей причине.

В шкафах 1, 8, 3, 6 ШП силовые контакторы обесточивают питание привода ОР СУЗ по переменному току. В шкафах 2, 7, 4, 5 ШП силовые контакторы обесточивают питание привода ОР СУЗ по постоянному току.

Срабатывание защиты происходит при срабатывании любого из комплектов оборудования исполнительной части АЗ – ПЗ. При перерыве питания на одном вводе переменного тока вся нагрузка подключается к остающемуся в работе вводу с помощью оборудования силового электропитания, при этом в работе остаются только силовые цепи двух шкафов исполнительной части АЗ – ПЗ по переменному току, относящихся к разным комплектам.

При перерыве питания на двух вводах переменного тока вся нагрузка переключается на сеть 110 В постоянного тока (питание от аккумуляторной батареи). Батарея рассчитана на работу в течение 3 с при максимальном суммарном токе 1300 А. При этом в оборудовании инициирующей части АЗ формируется инициирующий сигнал аварийной защиты по потере силового электропитания переменного тока по двум вводам.



Время реакции аппаратуры по функции АЗ складывается из времени реакции инициирующей части системы и времени реакции исполнительской части системы. Максимальное время прохождения сигнала в системе АЗ – 0,3 с. Время реакции аппаратуры по функции АЗ рассчитывается от момента достижения уставки сигналами на входах двух каналов аппаратуры инициирующей части до момента снятия напряжения питания со всех приводов ОР.

Для срабатывания исполнительской части достаточно срабатывания одного ШАК по любому из критериев и связанного с ним комплекта прерывателей питания. Поскольку в ШАК сигнал АЗ от инициирующей части распараллеливается на две цепочки, следующие далее одновременно в каждый ШПУ комплекта прерывателей питания, то при анализе времени реакции исполнительской части АЗ рассматриваются два параллельных пути прохождения сигнала, оканчивающихся своими прерывателями питания, входящими в рассматриваемый комплект.

Шкаф формирования исполнительских команд предупредительных защит (на рис. 4.1 не показан) предназначен для:

- приема команд УПЗ, ПЗ-1 и ПЗ-2 от шкафов ШАК и органов ручного управления на БПУ;
- обработки этих сигналов и выдачи исполнительских команд в оборудование СГИУ по двум цепям;
- проверки тракта формирования команд ПЗ;
- выдачи информации о первопричинах срабатывания предупредительной защиты и наличии тестирования в соответствующий комплект инициирующей части ПЗ;
- выдачи информации о функционировании оборудования шкафа и о первопричинах срабатывания защит в оборудовании ПТК ИДС.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите основные функции и классификацию оборудования ПТК.
2. Нарисуйте схему ПТК.
3. Какова схема исполнительской части СУЗ?

## **Глава 5. ПТК УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ УСБ**

### **5.1. Общие положения**

Управляющая система безопасности (УСБ) предназначена для автоматизации:

- процессов отвода тепла от активной зоны при нарушении нормальной эксплуатации;
- защиты первого и второго контуров от превышения давления;
- процедур локализации гермообъема;
- перевода реактора в подкритическое состояние в режимах с вводом положительной реактивности;
- контроля и управления системами безопасности.

Управляющая система безопасности обеспечивает контроль и управление во всех предусмотренных проектом режимах защитными, локализирующими и обеспечивающими системами безопасности, основными из которых являются:

- аварийного и планового расхолаживания 1 контура и охлаждения топливного бассейна;
- ввода бора высокого давления;
- аварийного газоудаления;
- гидроемкостей САОЗ;
- спринклерной системы;
- аварийного энергоснабжения;
- локализирующей арматуры систем нормальной эксплуатации;
- промконтура ответственных потребителей;
- аварийной питательной воды;
- вентиляции помещений систем безопасности;
- вентиляции охлаждения помещений насосов, аппаратуры УСБ, БПУ и РПУ.

ПТК УСБ проектируется с учетом следующих основных принципов:

- канальности построения системы;
- независимости каналов;
- принципа единичного отказа;

- разнообразия;
- обеспечения управления с БПУ или с РПУ при отказе управления с одного из них по общей причине.

УСБ подразделяют на иницирующую и исполнительную части. Иницирующая часть УСБ в проекте АЭС-2006 входит в состав иницирующей части СУЗ, иницирующая часть УСБ в проектах для энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БН-800 и энергоблоков с ВВЭР-1000 не входят в состав иницирующей части СУЗ, и здесь канал УСБ может представлять собой единое целое или более сложную структуру для реализации принципа разнообразия.

Исполнительную часть обычно обозначают аббревиатурой УСБТ – управляющая система безопасности технологическая, а иницирующую часть – УСБИ, имея в виду следующее. Иницирующая часть УСБИ предназначена для функций, связанных со сбором и обработкой информации, выявлением исходного события и запуском систем безопасности. Исполнительная часть УСБ предназначена для автоматического пуска и ступенчатого нагружения ДГ, авторегулирования, технологических защит и блокировок, организации технологической сигнализации. В автоматизированном режиме выполняются задачи перевода управления с БПУ на РПУ и обратно, дистанционного управления, задания режима работы резервированных агрегатов и регуляторов, а также квитирование сигналов технологической сигнализации и вызов видеокадров на монитор рабочей станции.

Одной из основных особенностей, которая учитывается при проектировании ПТК УСБ, является двухфункциональность использования технологических систем безопасности в зависимости от режима. Часть этих систем включается только в аварийных ситуациях, а часть работает постоянно, совмещая функции нормальной эксплуатации и функции безопасности. В этой связи на рис. 5.1 представлена структурная схема, показывающая место ПТК УСБ в составе всей схемы и взаимосвязь основных составляющих этого ПТК с основными подсистемами АСУ ТП. При нормальной эксплуатации, когда отсутствуют сигналы проектных исходных событий, характеризующих аварийную ситуацию, оператор управляет системами безопасности с АРМ БПУ/РПУ через ПТК СВБУ, шину EN, ПТК УСБ. В аварийных ситуациях управление возможно только с панелей безопасности БПУ/РПУ через 30 мин.

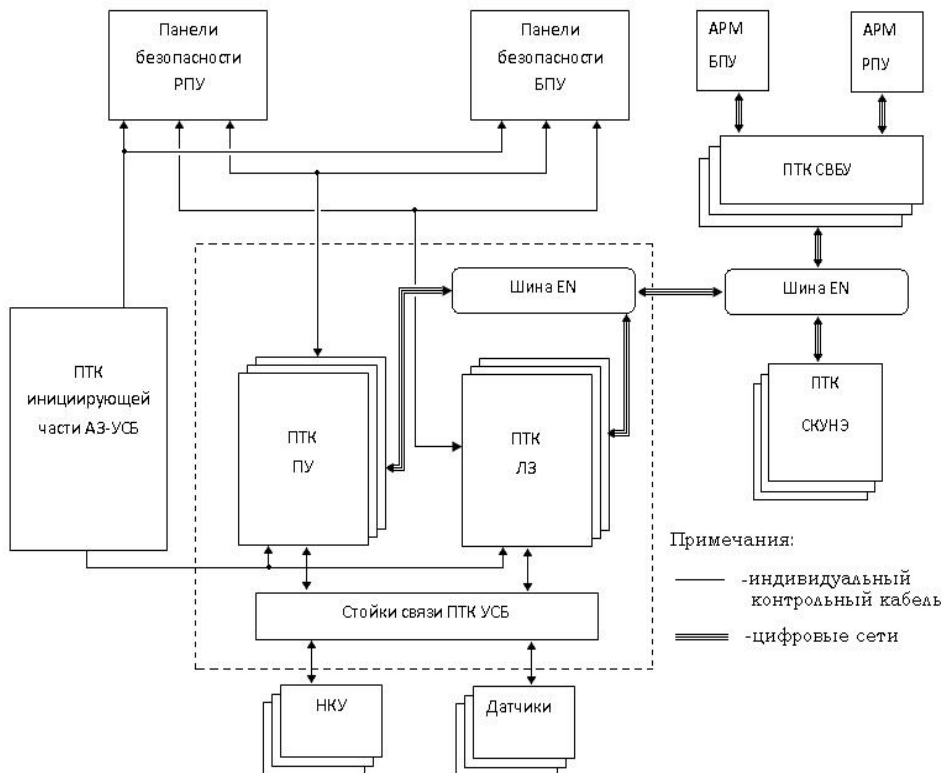


Рис. 5.1. Упрощенная структурная схема ПТК УСБ

Основные проектные решения, реализуемые в УСБ, заключаются в следующем:

- в пределах каждого канала УСБ применяются свои независимые измерительные преобразователи (ИП) с кабельными линиями и трубными проводками, осуществляющие измерение, контроль и передачу сигналов технологических и электрических параметров ТОО;
- в каналах УСБ обработка сигналов измерения и контроля производится идентично;
- передача сигналов управления из УСБ на исполнительные механизмы СБ производится для всех трех каналов.

В зависимости от назначения, влияния на безопасность и выполняемых функций в УСБ применяется следующая кратность резервирования ИП одного параметра в канале УСБ с соблюдением принципа однократного ввода информации по параметру:

- три ИП для формирования иницирующих сигналов в защитах безопасности;

- два ИП для формирования сигналов срабатывания «собственных» защит технологического оборудования систем безопасности и в схемах регулирования технологических параметров;
- один ИП для формирования сигналов технологической сигнализации, измерения и индикации.

При обнаружении любой неисправности (недостоверности) аналогового сигнала, логика обработки предусматривает возможность перехода на замещающий сигнал, являющийся либо последним достоверным значением, либо заранее установленной константой.

При разработке проекта ПТК УСБ применен ряд мер, направленный на минимизацию вероятности отказов по общей причине аппаратуры УСБ из-за ошибки в аппаратно-программном обеспечении:

- применяется принцип трехкратного резервирования – ПТК УСБТ состоит из трех независимых комплектов;

- защиты УСБ реализованы в двух диверситетах: в разных приборных стойках;

- в аппаратуре ТПТС реализована глубокая самодиагностика. При выявлении отказа формируется вызов для его устранения – признак недостоверности, который обеспечивает проектную деградацию принятия решений (с «2 из 3» на «2 из 2») и надежно блокирует формирование ложных команд. При дальнейшей деградации формируется сообщение о неисправности защиты;

- функционирование программ модулей ТПТС не зависит от внешнего источника единого времени, что исключает времезависимые отказы программного обеспечения;

- коммуникационный модуль защищен от высокоинтенсивных входных потоков сообщений на шинах EN, ENS. При поступлении от одной из шин потока сообщений, опасного для суммарной производительности модуля интенсивности, обработка этой шины блокируется вплоть до снижения интенсивности входного потока. Работоспособность прочих шин при этом сохраняется в полном объеме;

- программное обеспечение ПТК УСБ разрабатывается сотрудниками различных организаций, коллективы которых не имеют персональных пересечений. Это снижает вероятность одинаковой ошибки в прикладном программном обеспечении в трех комплектах;

- ПТК УСБ подвергается функциональным испытаниям на заводе-изготовителе, автономным испытаниям на АЭС, предва-

рительным комплексным испытаниям ПТК УСБ с панелями БПУ/РПУ, рабочими станциями СВБУ и комплексным испытаниям.

## 5.2. Функции, классификация

### 5.2.1. Иницирующая часть УСБИ

УСБИ осуществляет:

- прием и преобразование сигналов по параметрам, необходимым для запуска СБ и выполнения локальных защит безопасности, запуска ДГ и его ступенчатого погружения;
- сравнение текущих значений параметров с заданными уставками, формирование дискретных сигналов о выходе параметров за пределы уставок и передачу этих сигналов в логическую часть своей подсистемы;
- выдачу аналоговых сигналов о контролируемых параметрах в УСБТ для последующей обработки и предоставления на индивидуальных показывающих приборах БПУ, РПУ и дискретных сигналов на табло БПУ и РПУ;
- выдачу дискретных сигналов в УСБТ для последующей обработки и организации воздействия на исполнительные механизмы;
- выдачу информации для целей регистрации контролируемых параметров и неисправностей УСБИ и передачи ее в СВБУ для предоставления на дисплее на пульте оператора БПУ, РПУ;
- непрерывный контроль исправности технических средств системы и периодические, с участием персонала, проверки ее функционирования.

Классификационное обозначение оборудования иницирующей частей АЗ – ПЗ, УСБИ и секций ПБ БПУ/РПУ по безопасности в соответствии с НП-001-15-2У (2УК1), часть элементов, непосредственно не участвующих в реализации функций безопасности, но являющихся вспомогательными средствами (сервисные, элементы ввода информации в СВБУ), относятся к ЗНУ (ЗНУК3).

УСБ имеет классификационное обозначение 2НУК2 и 3НК3 для элементов выдачи информации в СВБУ и приема команд из СВБУ. УСБ обеспечивает контроль и управление во всех режимах защитными, локализирующими и обеспечивающими системами безопасности. Часть этих систем включается только в аварийных ситуациях, а часть работает постоянно, совмещая функции нормальной эксплуатации и функции безопасности. УСБ разрабатываются в соответствии с «Общими положениями по обеспечению безопасно-

сти» НП-001-15 и «Требованиями к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций» НП-026-16.

### **5.2.2. Исполнительная часть УСБТ**

Функции управления, выполняемые автоматически:

- сбор и обработка информации,
- пуск и ступенчатое нагруженные аварийных дизель-генераторов,

- автоматическое регулирование,
- технологические защиты и блокировки,
- технологическая сигнализация.

В автоматизированном режиме выполняются:

- перевод управления с БПУ на РПУ и обратно,
- дистанционное управление механизмами,
- задание режимов работы резервированных агрегатов и регуляторов,
  - квитирование сигналов технологической сигнализации и вызов видеокладов.

ПТК УСБТ при нормальной эксплуатации осуществляет:

- непрерывный контроль исправности технических средств системы и периодические, с участием персонала, проверки ее функционирования;
  - контроль за механизмами систем безопасности и представление информации оперативному персоналу;
  - реализацию локальных технологических защит и блокировок нормальной эксплуатации в системах, совмещающих функции нормальной эксплуатации и безопасности с выдачей управляющих воздействий на механизмы;
    - контроль и управление оборудованием;
    - автоматическое регулирование;
    - дистанционное управление;
    - прием задания от оператора режима работы резервированных агрегатов и авторегуляторов.

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

- по инициирующим сигналам, получаемым из ПТК УСБИ, формирует управляющее воздействие на исполнительные механизмы;
  - запуск ДГ и его ступенчатое нагружение;
  - реализует необходимые приоритеты действий автоматики и оператора;

- выдает сигналы о состоянии механизмов в СВБУ;
- осуществляет контроль за выполнением заданных функций;
- запрещает управление с СВБУ и действие от локальных защит;
- при необходимости, дистанционное управление с панелей безопасности.

#### *Классификация системы*

Элементы УСБТ, выполняющие функции приоритетного управления (ПТК ПУ) по влиянию на безопасность в соответствии с НП-001-15, классифицируются по классу 2У. Классификационное обозначение ПТК ПУ с учетом категории качества – 2УК1 в соответствии с НП-026-16.

Шкафы локальных защит (ПТК ЛЗ), элементы выдачи информации в СВБУ и приема команд из СВБУ отнесены к классу 3Н. Классификационное обозначение ПТК ЛЗ с учетом категории качества – 3НК3 в соответствии с НП-026-16. В соответствии с НП-031-01 исполнительная часть УСБТ относится к 1 категории сейсмостойкости.

### **5.3. Схема УСБИ на аппаратуре АЗТП, АЛОС, АОП, АСП**

На рис. 5.2 представлена схема ПТК иницирующей части УСБИ для энергоблоков с реакторной установкой ВВЭР-1000 с применением аппаратуры АЗТП, АЛОС, АОП, АСП.

Система запуска УСБИ реализована в виде трех трехканальных комплексов, размещенных в трех помещениях каналов УСБ, расположенных в обстройке гермооболочки. Для размещения первичных преобразователей, относящихся к разным каналам системы безопасности, используются специальные помещения, расположенные на отметке –6,0 м (в помещениях 1 канала СБ – 1 комплект АЗ, в помещениях 3 канала СБ – 2 комплект АЗ). Импульсные трубопроводы разных каналов СБ прокладываются по независимым трассам. Для выхода из контеймента в каждом канале СБ используется «своя» проходка.

Каналы независимы. Независимость каналов достигается физическим разделением каналов, наличием в каждом канале автономных источников энергоснабжения, автономного комплекса средств контроля, автоматического и дистанционного управления.

На рис. 5.3 приведена структурная схема приема сигналов в УСБТ от УСБИ. Схема показывает взаимосвязь иницирующей части с применением аппаратуры АЗТП, АЛОС, АОП и исполнительной части УСБТ с использованием аппаратуры ТПТС.



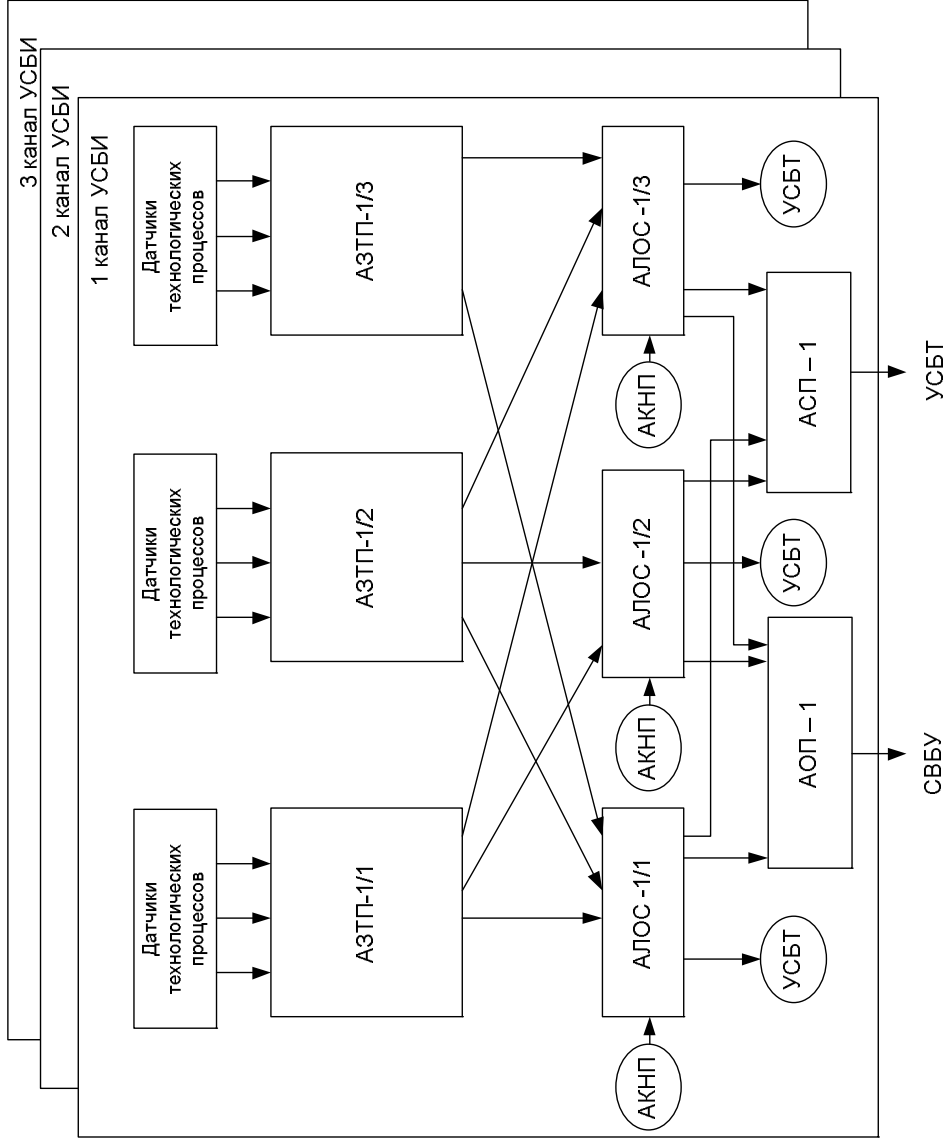


Рис. 5.2. Схема инициирующей части УСБИ

Здание ЗК2

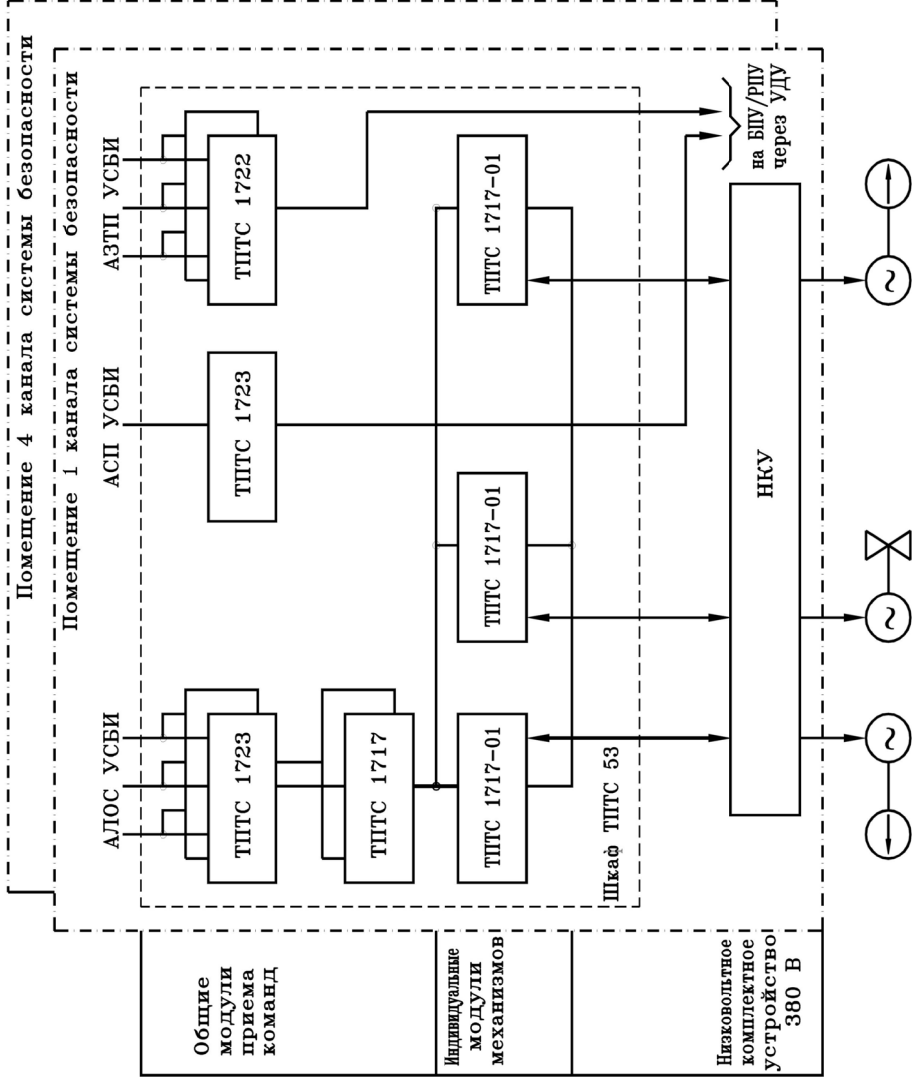


Рис. 5.3. Структурная схема приема сигналов в УСБТ от УСБИ

## 5.4. Основные решения в исполнительной части УСБТ

В состав исполнительной части УСБТ входят:

- ПТК приоритетного управления (ПУ) оборудованием систем безопасности, состоящий из шкафов с модулями приоритета;
- ПТК локальных защит (ЛЗ) оборудования, в которых на средствах ТПТС-ЕМ реализованы локальные защиты, не выполняющие функции безопасности;

- первичные измерительные преобразователи;
- средства индивидуального контроля и управления БПУ/РПУ;
- интерфейсы связи (средства передачи команд и информации).

Основными целями создания ПТК ПУ являются:

- обеспечение выполнения системами безопасности и системами, совмещающими функции безопасности с функциями нормальной эксплуатации своих функций. В частности:

- обеспечение передачи управляющих воздействий, сформированных в иницирующей части СУЗ-УСБТ на исполнительные механизмы систем безопасности;

- обеспечение передачи команд дистанционного управления от мозаичных панелей СБ БПУ и РПУ и контроля состояния на мозаичных панелях СБ БПУ и РПУ исполнительных механизмов систем безопасности;

- обеспечение передачи управляющих воздействий локальных защит и блокировок (НЭ), сформированных в ПТК ЛЗ, а также дистанционного управления с АРМ СВБУ и контроля состояния на АРМ СВБУ исполнительных механизмов систем безопасности;

- обеспечение приоритета команд от иницирующей части СУЗ-УСБТ над командами НЭ и командами дистанционного управления;

- реализация сбора и обработки информации от объекта управления в объеме, необходимом для выполнения ПТК УСБТ своих функций;

- формирование информации в СУЗ-УСБТ в объеме, необходимом для представления информации от ПТК УСБТ на мозаичных панелях безопасности БПУ/РПУ.

Основными целями создания ПТК ЛЗ являются:

- сохранение оборудования систем безопасности при нарушениях в режимах его работы в отсутствие исходных событий аварии, требующих работы этих систем;

- отделение в достаточной степени функций УСНЭ, выполняемых ПТК ЛЗ, от функций УСБ, выполняемых ПТК ПУ, в такой мере, чтобы нарушение или вывод из работы любого элемента или канала УСНЭ не влиял на способность УСБ выполнять свои функции;

- управление оборудованием СБ, не выполняющим защитные и локализирующие функции, не участвующим в управлении от алгоритма ступенчатого нагружения ДГ, не имеющего управления с мозаичных панелей СБ, но имеющего резервированное дистанционное управление через СВБУ (БПУ/РПУ) и приборные стойки ТПТС с сенсорным монитором на фасаде (ПСА), которые входят в состав ПТК ЛЗ или в состав МЦУ и в этом случае размещаются по месту управления;

- формирование сигналов на панели СБ (через иницилирующую часть СУЗ-УСБТ) в объеме, необходимом для контроля работы систем безопасности.

Структурная схема исполнительной части УСБТ и связанных с ней подсистем АСУ ТП приведена на рис. 5.4.

В соответствии с назначением и целями создания ПТК УСБТ имеют функциональные связи со следующими подсистемами АСУ ТП:

- иницилирующей частью УСБИ;
- мозаичными панелями СБ БПУ/РПУ и НЭ БПУ;
- СВБУ и СРВПЭ;
- СКУ НЭ;
- элементами уровня связи с ТОУ (датчики, НКУ, КРУ и т.п.).

ПТК ПУ в одном канале реализован на модулях приоритетного управления (МПУ) с программной обработкой команд из иницилирующей части УСБИ. Другой канал реализован на МПУ с аппаратной обработкой команд из иницилирующей части УСБИ. Связь ПТК МПУ с ПТК ЛЗ и СВБУ в канале осуществляется по шине EN ТПТС-ЕМ.

ПТК ПУ состоит из специальных функциональных модулей, которые выполняют все функции, относящиеся к управлению и контролю механизмами систем безопасности с учетом приоритета. Шкафы с модулями приоритета комплектуются по технологической принадлежности. Дублирующие механизмы одного канала разнесены в разные шкафы. В МПУ возможна реализация управления электроприводами запорной арматуры, электромагнитными клапанами, исполнительными механизмами регулирующих клапанов, электродвигателями насосов, вентиляторов. Модуль руководит очередно-

стью выполнения автоматических команд, поступающих от иницилирующей части УСБИ, сигналами ручного управления с панелей безопасности, сигналами управления с дисплея через СВБУ, автоматическими сигналами управления.

Сигналы защит безопасности, сформированные в иницилирующей части УСБИ, поступают в шкафы ПТК ПУ индивидуальными проводными связями непосредственно на соответствующие входы модулей приоритетного управления механизмами.

Кнопки «Включить/отключить», «Открыть/закрыть» и соответствующие лампы положения для каждого механизма располагаются на панелях безопасности БПУ и РПУ. На каждой панели СБ БПУ и РПУ предусмотрены кнопки подтверждения команд. Выбор пункта управления осуществляется с помощью ключа выбора на РПУ.

Команды от панелей БПУ и РПУ, а также от кнопок подтверждения команд приходят на модули приоритета по проводным связям. Команды от иницилирующей части СУЗ-УСБИ также приходят по проводным связям. Сигналы управления от ПТК ЛЗ передаются к модулю ПУ по шине PROFIBUS в микропроцессорную часть модуля. Сигналы обратной связи о состоянии механизмов поступают в иницилирующую часть СУЗ-УСБИ по проводной связи, а в СВБУ – по шине EN.

В МПУ принцип разнообразия реализован в части автоматических команд системы безопасности следующим образом. Автоматические команды СБ обрабатываются двумя независимыми способами – в аппаратной и процессорной частях модуля. Автоматические команды СБ от аппаратуры УСБИ принимаются по аппаратному интерфейсу. Далее эти команды передаются как в аппаратную схему вычисления, так и в процессорную.

Выходные команды из аппаратной и процессорной части объединяются между собой в блоке «Аппаратная логика выдачи результирующей команды». Далее результирующие автоматические команды СБ по логике приоритетов объединяются с дистанционными командами СБ и командами СНЭ (которые обрабатываются только в процессорной части). Обобщенные команды выдаются на исполнительный механизм по аппаратному интерфейсу. В модуле имеется возможность выбора приоритета выдачи команд управления, сформированных процессорной логикой или аппаратной. На рис. 5.5 представлены интерфейсы модуля приоритетного управления.

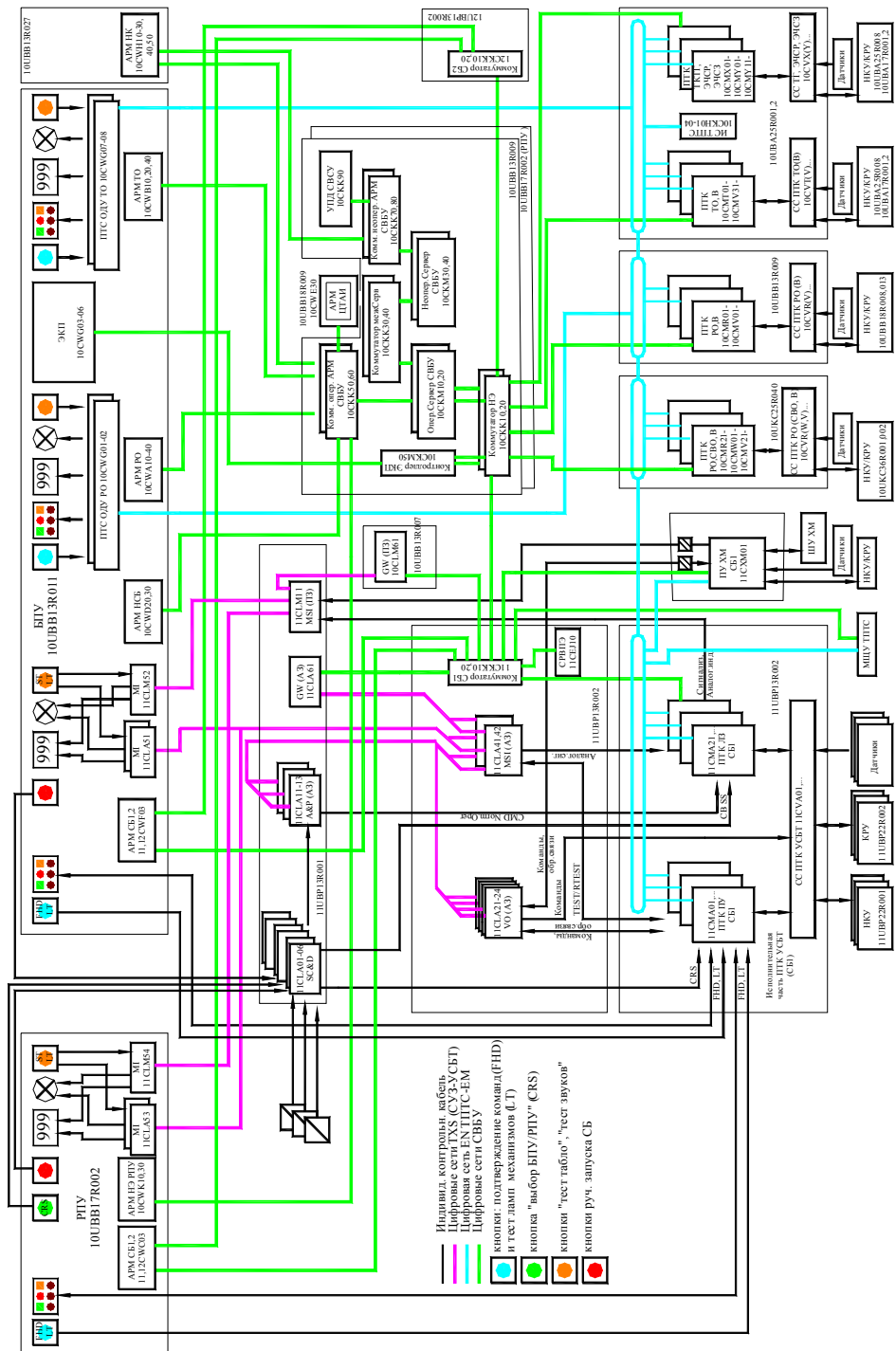


Рис. 5.4. Структурная схема ПТК УСБТ и его связей со смежными подсистемами АСУ ТП

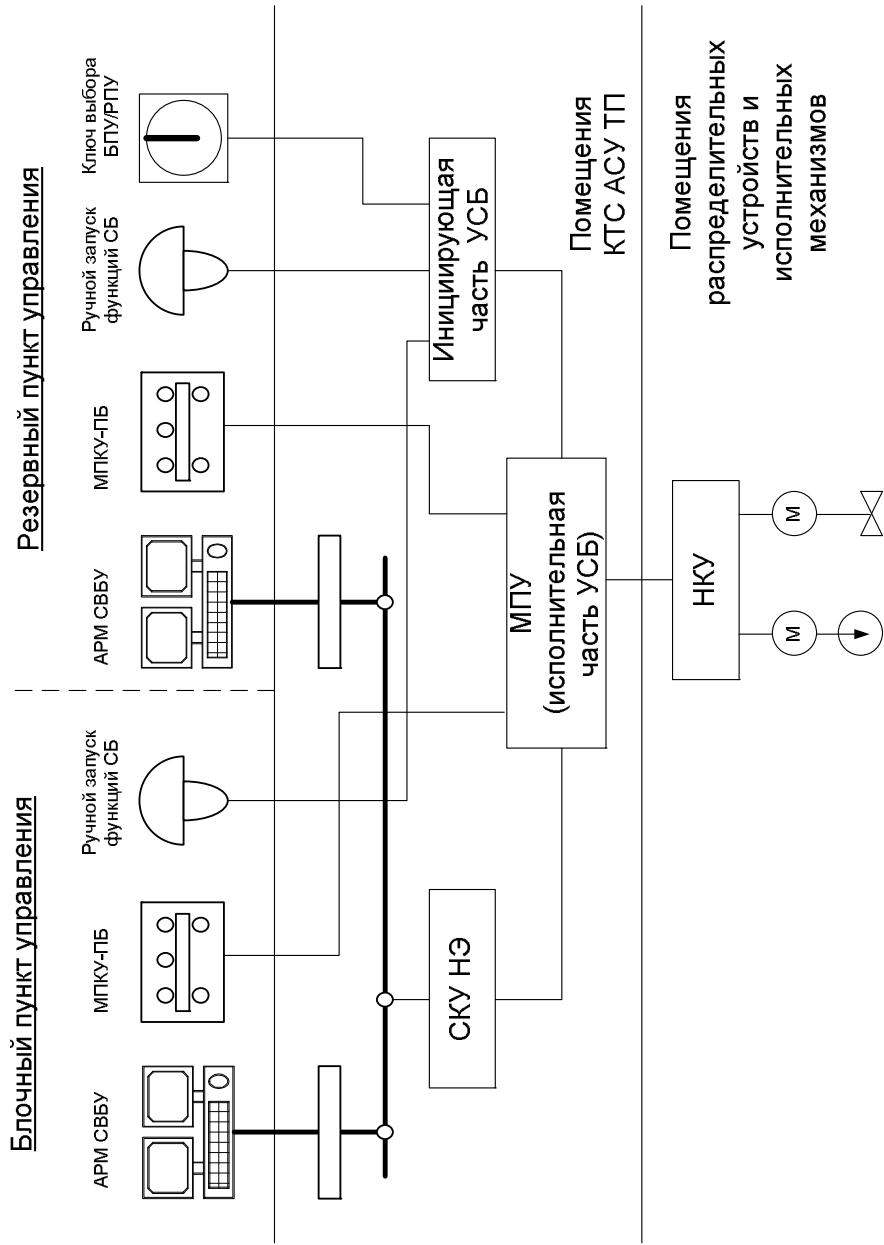


Рис. 5.5. Интерфейсы модуля приоритетного управления

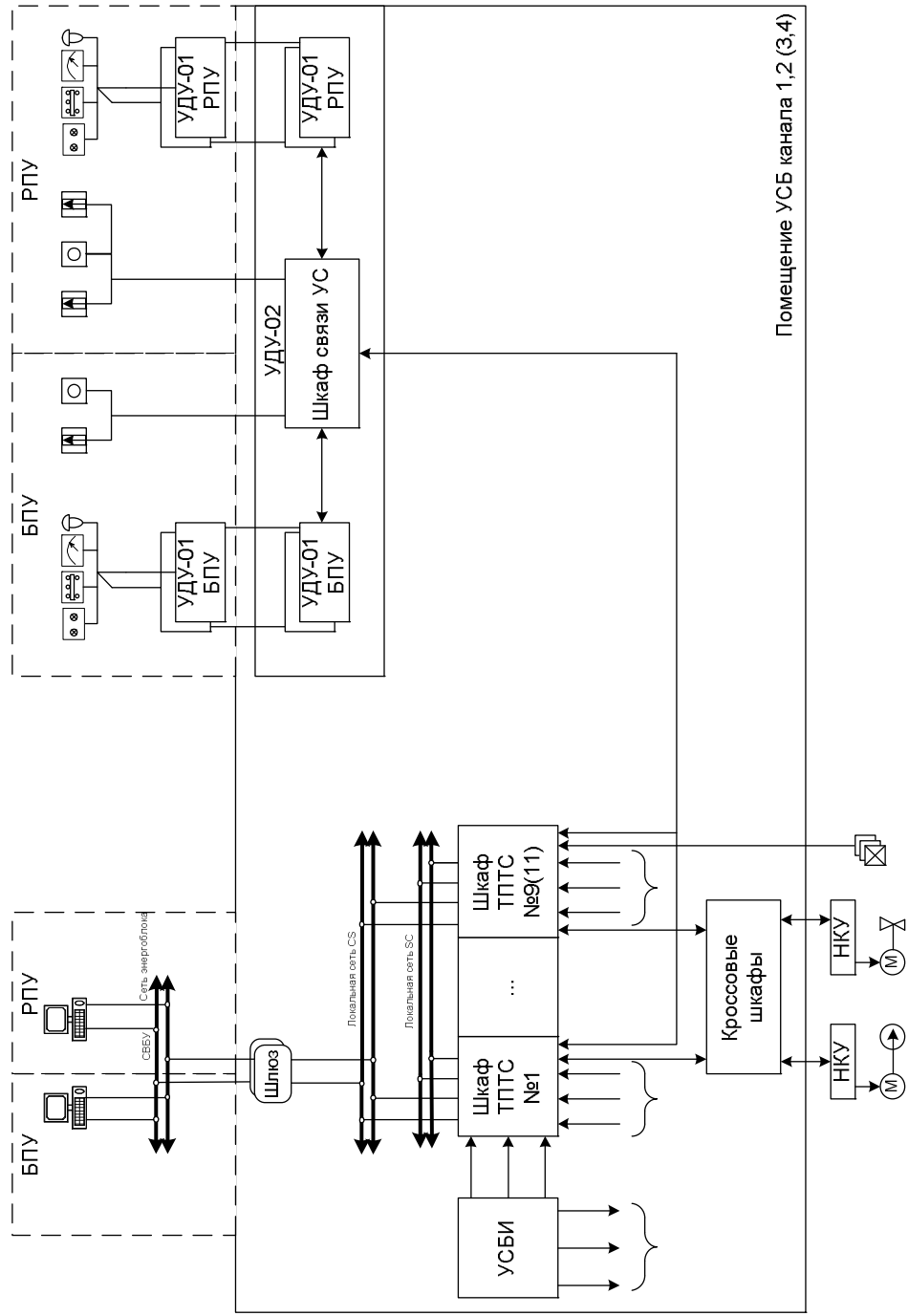


Рис. 5.6. Структурная схема УСБТ без модуля приоритетного управления



Функции двойного управления с БПУ и РПУ в проекте без МПУ обеспечивает применение аппаратуры типа УДУ (устройства дистанционного управления, разработка АО «Физприбор»). Устройства дистанционного управления связывают элементы дистанционного управления БПУ и РПУ со средствами автоматики каналов УСБ. Аппаратура УДУ обеспечивает:

- выбор поста управления оператором;
- управление оборудованием систем безопасности и контроль за его работой;
- исключение влияния неисправностей в средствах управления на одном из постов на контроль и управление с другого;
- гальваническую развязку цепей контроля и управления.

Комплект устройств дистанционного управления оборудованием одного канала систем безопасности состоит из двух приемопередающих станций БПУ(РПУ) – УДУ-01, двух приемопередающих станций низового уровня – УДУ-02, оптоволоконных линий связи и устройства связи с ГПТС-53 – УС. УДУ-01 состоит из двух комплектов устройств, передающих команды управления УПДУ1 и УПДУ2, двух комплектов устройств приема сигналов и измерений – УПРС1 и УПРС2 и панели диагностики ПД1-1 и ПД1-2.

УДУ-02 состоит из двух комплектов устройств, принимающих команды управления, УПРУ1 и УПРУ2, двух комплектов устройств передачи значений измерений и сигнализации УПДС1 и УПДС2 и панели диагностики ПД2-1 и ПД2-2. На рис. 5.6 приведена структурная схема одного канала УСБТ без модуля приоритетного управления.

### **5.5. Схема канала УСБ на единых ПТС**

В ПТК УСБ с применением единых ПТС выполняются следующие функции:

- защиты безопасности;
- технологические защиты и блокировки;
- дистанционное управление;
- автоматическое управление;
- автоматическое регулирование;
- технологическая сигнализация;
- измерение и индикация.

Современные проекты программно-технических комплексов УСБ проектируются и используются в основном с применением

техники ТПТС-ЕМ. Основные функции ПТС УСБ на базе ТПТС-ЕМ обеспечивают:

- прием и обработку аналоговой и дискретной информации с контролем достоверности;
- диагностику технических средств ПТК УСБ;
- преобразование команд дистанционного управления, формируемых оператором посредством переключателей (кнопок), расположенных на панелях ПБ БПУ/РПУ, в формат EN-шины;
- преобразование информации, выдаваемой из базовых шкафов ПС по шине EN, в дискретную и аналоговую форму для представления на ПБ БПУ/РПУ на МПКУ, измерительных приборах, индикаторах, табло сообщений аварийной и предупредительной сигнализации и звуковой сигнализации;
- передача информации в другие подсистемы АСУ ТП;
- питание первичных преобразователей питанием 220 В;
- контроль достоверности информации от датчиков и формирование обобщенного признака достоверности для каждого сигнала.

В состав ПТК УСБ входят:

- стойки приборные (ПС) для установки функциональных модулей, блоков шлюза сопряжения, коммуникационных модулей, коммутаторов и оптических кроссов;
- стойки сопряжения (СС) для связи приборных стоек (ПС) с приводами арматуры, механизмов и пр., связи с КРУЗА, КРУ-6кВ, ввода/вывода сигналов в ПС по технологическим параметрам;
- стойки питания (СП), обеспечивающие электропитание стоек ПС от внешних сетей переменного и постоянного напряжения;
- система шин EN-EN для обмена цифровыми данными между ПС, ПБ БПУ и ПБ РПУ в пределах одного канала УСБ, обмен информацией между разными каналами УСБ, передача данных в СКУ НЭ.

Функциональная структура ПТК УСБ на единых программно-технических средствах на базе ТПТС-ЕМ используется при контроле и управлении системами безопасности на энергоблоке с реактором БН-800. В этой схеме приборная стойка (шкаф) содержит элементы как иницирующей части УСБИ, так и исполнительной части УСБИ. При этом в рамках технических средств иницирующей части решаются задачи логики (алгоритмов) и выдачи сигналов управления по каналам *A* (основной) и *B* (резервный), а также формируются сигналы

представления и сигнализации для их выдачи на соответствующие устройства в виде табло и приборов на панелях БПУ/РПУ.

Основными элементами исполнительной части в данной приборной стойке является модуль приоритетного управления и устройство, реализующее функции приема и размножения общих команд с БПУ/РПУ. К таким командам относятся сигналы от ключей выбора пункта управления, устанавливаемых на РПУ, сигналы от общепанельных кнопок подтверждения команд управления индивидуальными механизмами и сигналы от кнопок запуска функций безопасности.

## **5.6. Основные схемы контроля и управления через ПТК УСБ**

### *Дистанционное управление*

Упрощенная структурная схема типового канала дистанционного управления задвижками, двигателями, клапанами, выключателями для УСБТ с БПУ/РПУ или АРМ СВБУ представлена на рис. 5.7.

Дистанционное управление осуществляется:

- а) с СВБУ через блок шлюза сопряжения (БШС) и шину EN;
- б) с панели безопасности (ПБ) БПУ и РПУ по проводам и шинам EN канала УСБ. Используются модули обработки двоичных сигналов 1723 в приборной стойке (ПС) 8 и 9.

Для связи с приводом ИМ и его блоком управления КРУЗА или 6 кВ используется нерезервированный модуль приоритетного управления ТПТС52-2.1716.

Упрощенная структурная схема типового канала дистанционного управления регулирующим клапаном для УСБ с БПУ/РПУ или АРМ СВБУ представлена на рис. 5.8. Дистанционное управление регулирующим клапаном осуществляется:

- а) с СВБУ через БШС и шину EN;
- б) с ПБ БПУ и РПУ по проводам и шинам EN канала УСБ. Используются модули 1723 для дискретных сигналов и 1722 для вывода значения указателя положения на ПБ в ПС 8 и 9.

Для связи с приводом регулирующего клапана и его блоком управления КРУЗА используется нерезервированный модуль регулирования ТПТС52-2.1411.

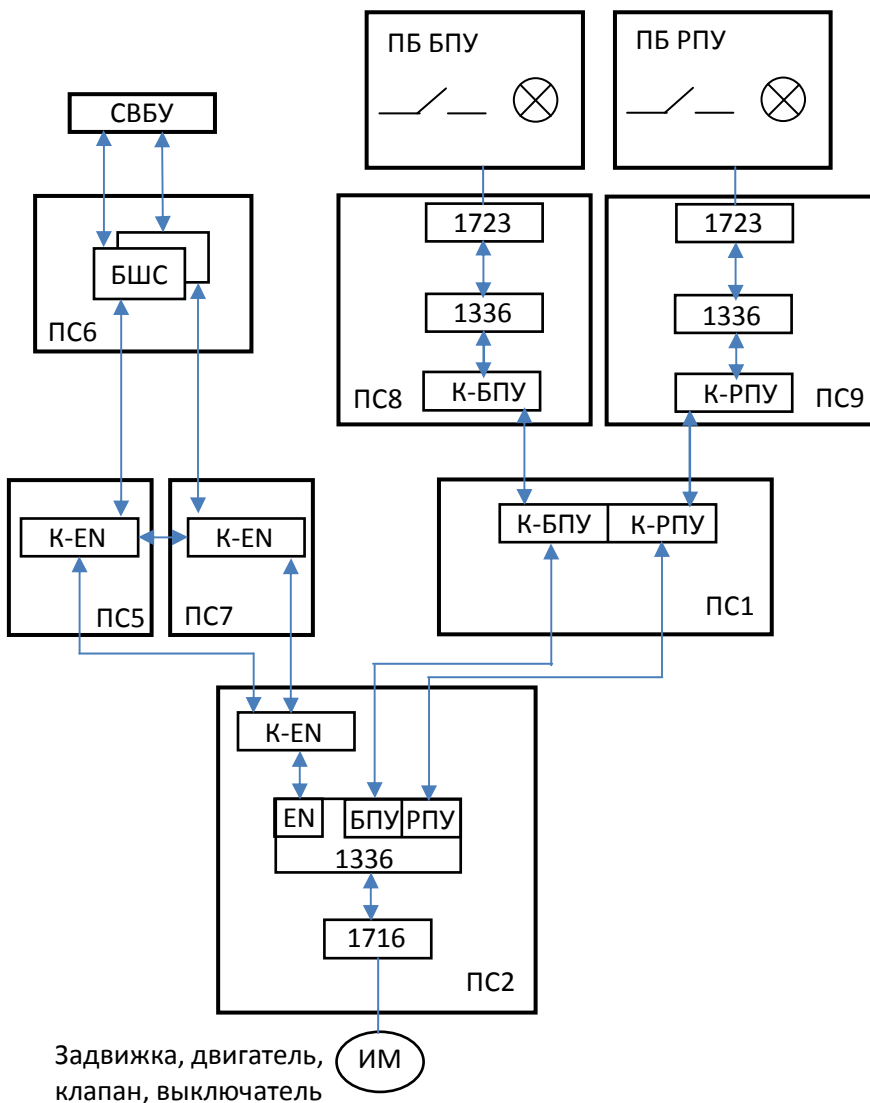


Рис. 5.7. Структурная схема типового канала дистанционного управления задвижками, двигателями, клапанами, выключателями для УСБ с БПУ/РПУ или АРМ СВБУ

### Технологическая сигнализация

На рис. 5.9 показан канал сигнализации для технологического параметра. Для параметра используются три датчика – аналоговые или дискретные. Для аналоговых датчиков сравнение с уставками производится для каждого датчика, далее выполняется дискретный алгоритм «2 из 3» с учетом подавления неактуальной сигнализации или первопричины (алгоритм сигнализации) и выдача сигналов на СВБУ и на табло ПБ БПУ и РПУ. Для дискретных датчиков значения

по каждому датчику передаются в дискретный алгоритм «2 из 3», выполняется алгоритм сигнализации и выдается сигнал на СВБУ и на табло ПБ БПУ и РПУ. Алгоритм дискретного «2 из 3» и сигнализации выполняется в одном из модулей приема сигнала или в дополнительном модуле (в схеме не показано), например, с алгоритмом ТЗиБ.

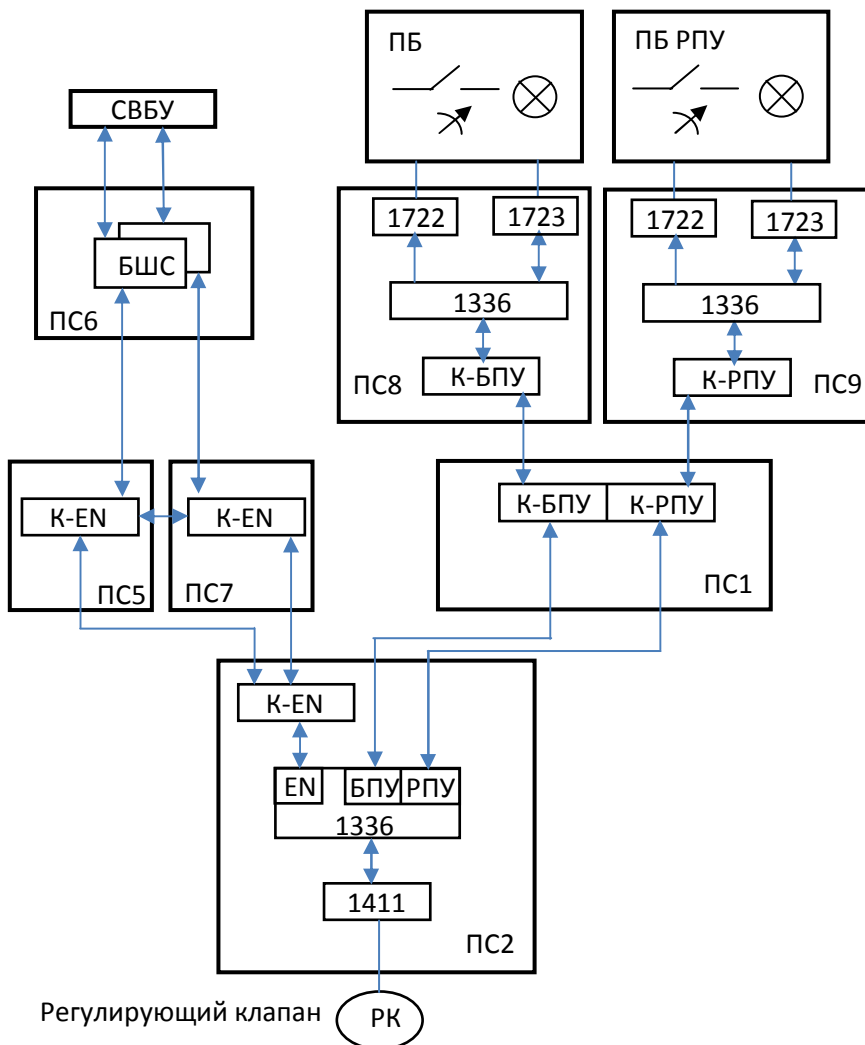


Рис. 5.8. Структурная схема типового канала дистанционного управления регулирующим клапаном для УСБ с БПУ/РПУ или АРМ СВБУ

При использовании одного датчика вместо трех в схеме будут отсутствовать элементы для датчиков «А» и «С» и выдачи на ПБ БПУ и ПБ РПУ. При использовании двух датчиков вместо трех для одного технологического параметра в схеме будут отсутствовать элементы для датчика «С».

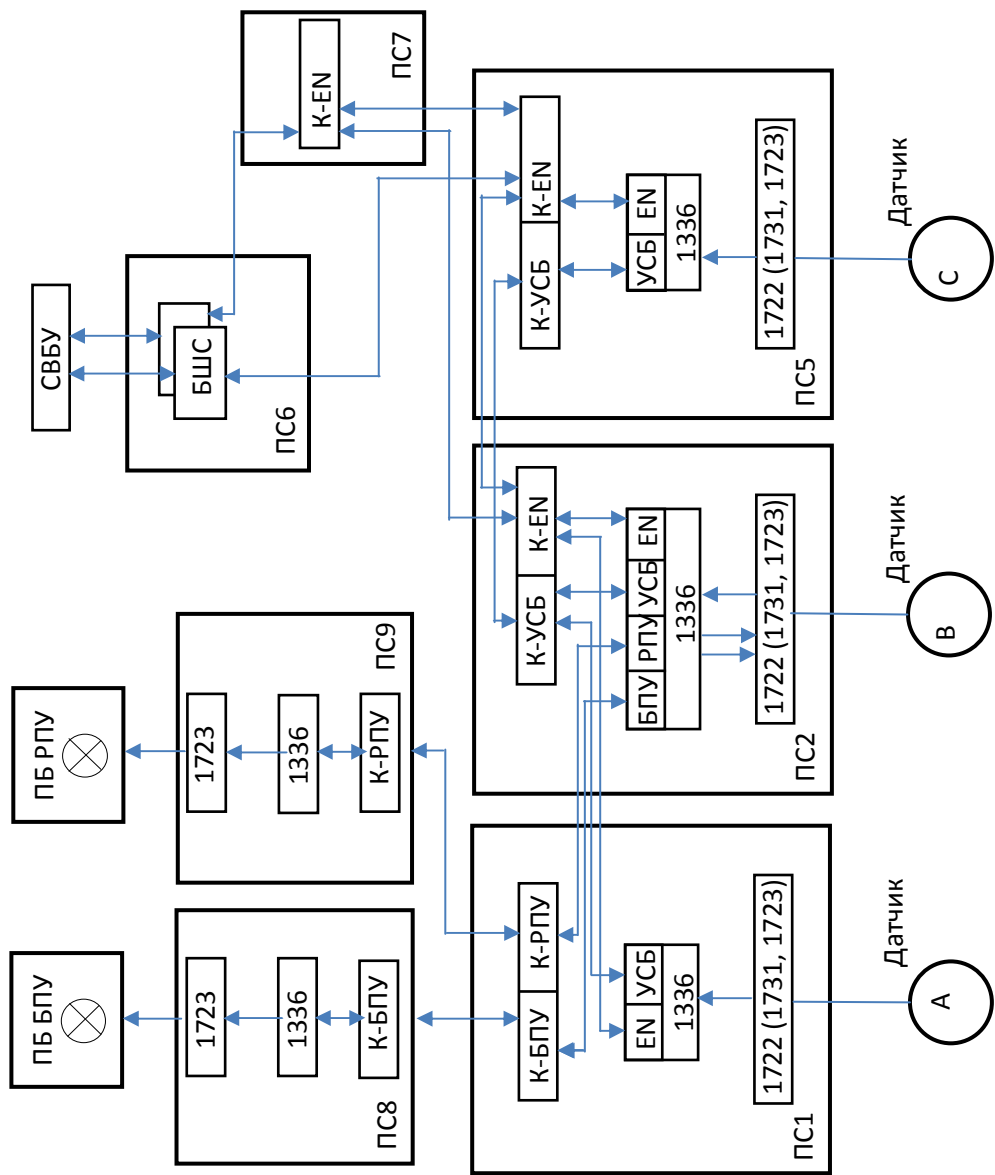


Рис. 5.9. Структурная схема типового канала сигнализации на рабочей станции и/или ОМС БПУ

На рис. 5.7, 5.8, 5.9 используются обозначения из табл. 5.1.

Таблица 5.1

| Обозначение на рисунке | Устройства/ модули ТПТС   |
|------------------------|---|
| 1722                   | ТПТС52-2.1722 – модуль приема унифицированных аналоговых сигналов тока 0 (4) – 20 мА и напряжения 0 (2) – 10 В                        |
| 1731                   | ТПТС52-2.1731 в паре с ТПТС51-2.1719 – модуль приема сигналов от датчиков температуры (термопары, термопреобразователи сопротивления) |
| 1723                   | ТПТС52-2.1723 – модуль приема дискретных сигналов   |
| 1716                   | ТПТС52-2.1716 – модуль приоритетного управления   |
| 1411                   | ТПТС52-2.1411 – модуль регулирования  |
| 1336                   | Модуль управления коммуникациями СБ ТПТС52.1336   |
| ПС                     | ТПТС51.2010 – приборная стойка ТПТС-ЕМ. Номера ПС приведены для примера и могут быть другими по проекту                               |
| К-EN                   | Коммутаторы МОХА шины EN (для связи с СВБУ и ПТК СКУ НЭ)  |
| К-УСБ                  | Коммутаторы МОХА шины EN-S внутри канала УСБ между ПС   |
| К-БПУ                  | Коммутаторы МОХА шины EN-S внутри канала УСБ между ПС и ПС связи с ПБ БПУ   |
| К-РПУ                  | Коммутаторы МОХА шины EN-S внутри канала УСБ между ПС и ПС связи с ПБ РПУ   |
| БШС                    | ТПТС52.4501 – блок шлюза сопряжения ТПТС с СВБУ   |
| ПБ БПУ                 | Панель безопасности БПУ   |
| ПБ РПУ                 | Панель безопасности РПУ   |

### 5.7. Схема каналов УСБ на разных ПТС

Важным обстоятельством при разработке ПТК АСУ ТП АЭС в части безопасности является использование принципа разнообразия как фактора, кардинально повышающего уровень безопасности СКУ, особенно в условиях формирования возможного отказа по общей причине (ООП). В современной отечественной и зарубежной НТД есть общее требование о необходимости применения принципа разнообразия в СКУ безопасности, но не устанавливаются способы, формы и места реализации этого принципа, что позволяет разработчикам самим определять эти условия.

Известны следующие четыре типа разнообразия, которые используются при проектировании СКУ безопасности: алгоритмическое, функциональное, параметрическое и аппаратное. Наименее затратное и наиболее легкое в плане реализации – это алгоритмическое (проектное) разнообразие, которое реализовано с применением аппаратуры ТХС в виде различных методов обработки исходных данных и формирования сигналов запуска систем безопасности. Но при

этом сохраняются существенные риски ООП из-за применения одинаковых аппаратных и программных средств в разных комплектах аппаратуры. В этой связи использование аппаратуры разных производителей для проектирования смешанных ПТК кардинальным образом решает вопросы применения разнообразия в аппаратных и программных средствах, резко снижает риски ООП и существенно повышает уровень безопасности АЭС.

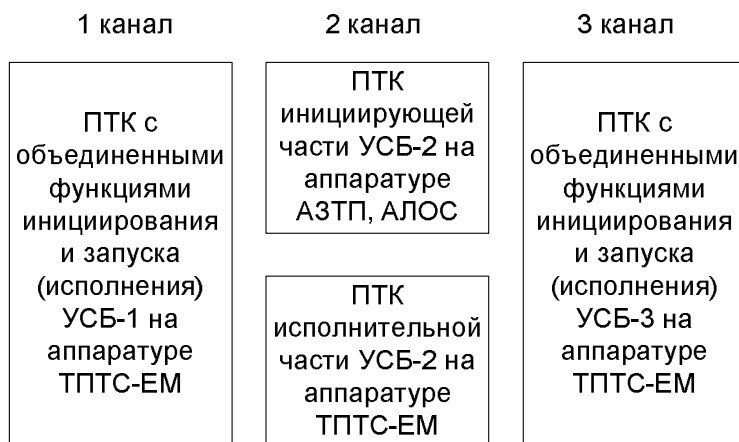


Рис. 5.10. Схема ПТК УСБ с применением различных ПТС для реализации принципа аппаратного разнообразия, энергоблок АЭС с ВВЭР-1000

При проектировании смешанных ПТК используется как программируемая аппаратура (ТПТС-ЕМ), так и аппаратура с функциями «жесткой логики» (АЗТП, АЛОС, АФСЗ), что исключает возможные ООП в части программных средств и дополнительно усиливает безопасность процессов контроля и управления АЭС за счет использования свойств диверсификации структурных схем СКУ. На рис. 5.10 и 5.11 представлены схемы ПТК УСБ смешанного типа для реализации функций инициирования (УСБИ) и исполнения (УСБИТ) в канале на ПТС разных производителей.

### Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключаются основные задачи УСБ?
2. Какова схема УСБИ на аппаратуре АЗТП, АЛОС, АОП, АСП?
3. Приведите схемные решения в исполнительной части УСБИТ.



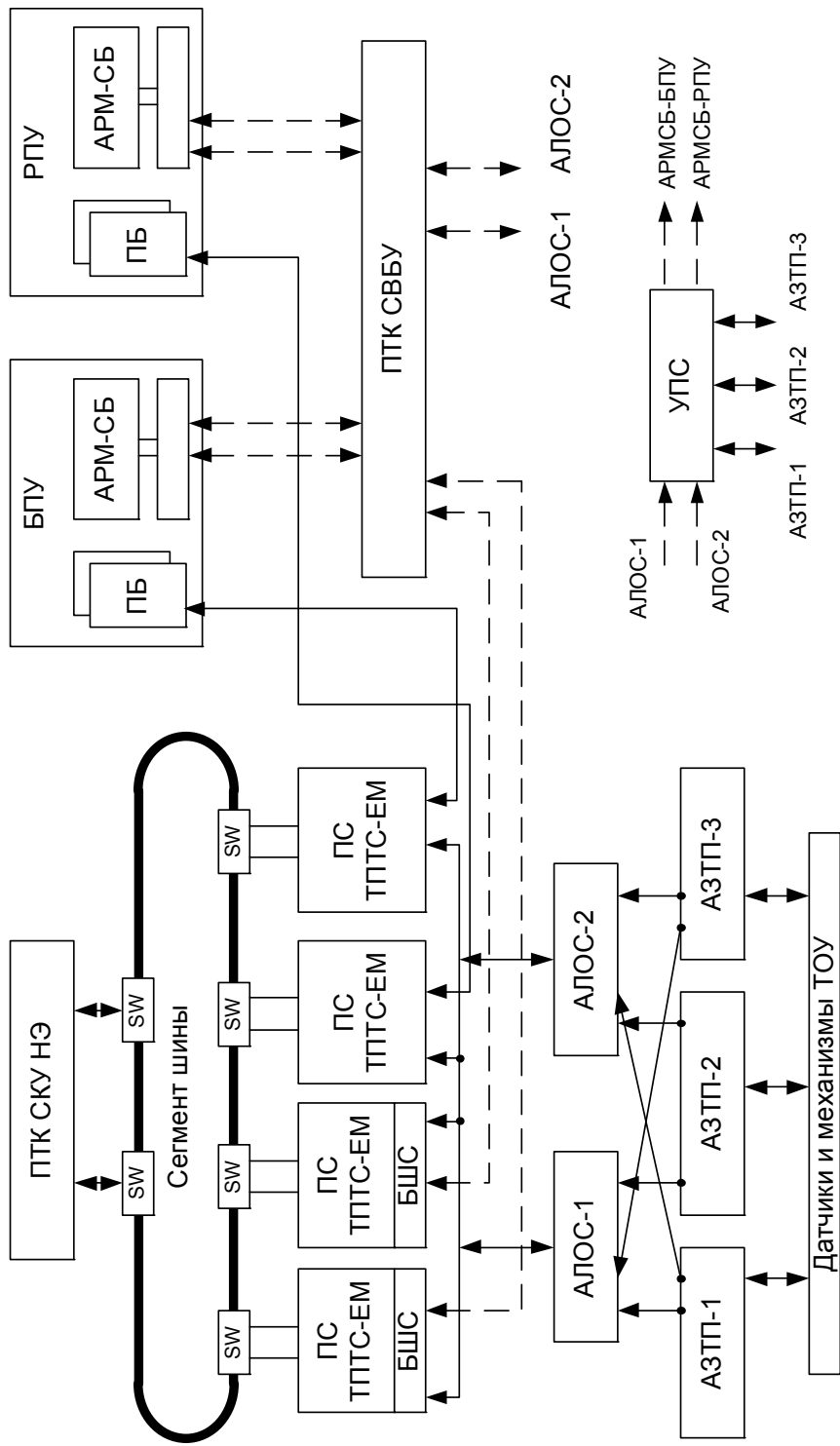


Рис. 5.11. Структурная схема ПТК канала USB-2 с аппаратурой разных производителей

## Глава 6. ПТК СКУ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

### 6.1. Функции, классификация, состав

Функции СКУ НЭ в режиме штатного функционирования:

- сбор, обработка информации и формирование сигналов о выходе параметров за установленные пределы;
- непрерывный контроль исправности технических средств системы и периодические, с участием персонала, проверки ее функционирования;
- контроль за состоянием технологического оборудования и представление информации оперативному персоналу;
- реализация локальных технологических защит и блокировок нормальной эксплуатации систем с выдачей управляющих воздействий на технологическое оборудование;
- автоматическое регулирование;
- дистанционное управление;
- прием заданий от оператора по режиму работы резервированных агрегатов и авторегуляторов, ввода и вывода защит.

Основной целью управления СКУ НЭ в режимах с нарушением условий нормальной эксплуатации является возврат энергоблока в нормальные условия системами нормальной эксплуатации, важными для безопасности, без необходимости работы систем безопасности, выявление отклонений от нормальной работы и их устранение, сохранение работоспособности систем и оборудования. При возникновении нарушений нормальной эксплуатации по сигналам о выходе за установленные пределы параметров или отключении оборудования или иных событиях СКУ НЭ реализует следующие функции:

- по инициирующим сигналам о положении оборудования и параметрам формирует управляющее воздействие на исполнительные механизмы;
- реализует необходимые приоритеты действий автоматики и оператора;
- при срабатывании защит, блокировок и т.п. выдает сигналы на панели и в СББУ для всех задач, включая представление информации на мониторах и регистрации;
- осуществляет контроль за выполнением заданных функций;
- при необходимости, осуществляется дистанционное управление.

Для преодоления нарушений условий нормальной эксплуатации формируются соответствующие программы автоматического управления, направленные на локализацию нарушения и недопущение перерастания предаварийных ситуаций в аварию. В случаях отказа СВБУ перевод энергоблока в состояния «Горячий останов», «Холодный останов» возможен с резервной зоны управления и контроля БПУ. При возникновении аварийных ситуаций по сигналам из УСБ возможно отключение оборудования НЭ в объеме, заданном алгоритмами.

Для уменьшения вероятности возникновения возможных сбоев в работе системы элементы SKU проектируются с использованием принципа резервирования. Резервирование применяется для защиты такого основного технологического оборудования, как, например, турбина, ГЦН, регулирующие клапаны. В соответствии с [7] предусмотрены средства для вывода неисправных защит в ремонт. Для этих целей предусмотрены так называемые «накладки». Накладки предусматриваются для следующего оборудования:

- ГЦН;
- турбина;
- защиты по внутренним параметрам КЭН;
- защиты по внутренним параметрам насосов неотчетственных потребителей;
- защиты по насосам подпитки обессоленной водой;
- защиты по системе продувки – подпитки.

Элементы SKU НЭ по влиянию на безопасность в соответствии с [3] классифицируются по классу 3Н и 4Н. Классификационное обозначение SKU НЭ, с учетом категории качества, ЗНКЗ в соответствии с [7]. В соответствии с [8] SKU НЭ относится ко 2 категории сейсмостойкости.

ПТК SKU НЭ подразделяется на:

- ПТК SKU РО для контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации реакторного отделения;
- ПТК SKU СВО для контроля и управления оборудованием спецводоочистки;
- ПТК SKU ТО для контроля и управления оборудованием машзала, включая защиты турбины;
- ПТК SKU вентиляции для контроля и управления систем вентиляции реакторного отделения, спецкорпуса и машзала;
- ПТК SKU ТГ для температурного контроля генератора, контроля и управления оборудованием охлаждения генератора;
- ПТК ЭЧСР для контроля и управления системой регулирования турбины.

На рис. 6.1 приведена упрощенная схема подключения управляющей системы нормальной эксплуатации (УСНЭ) в составе общей

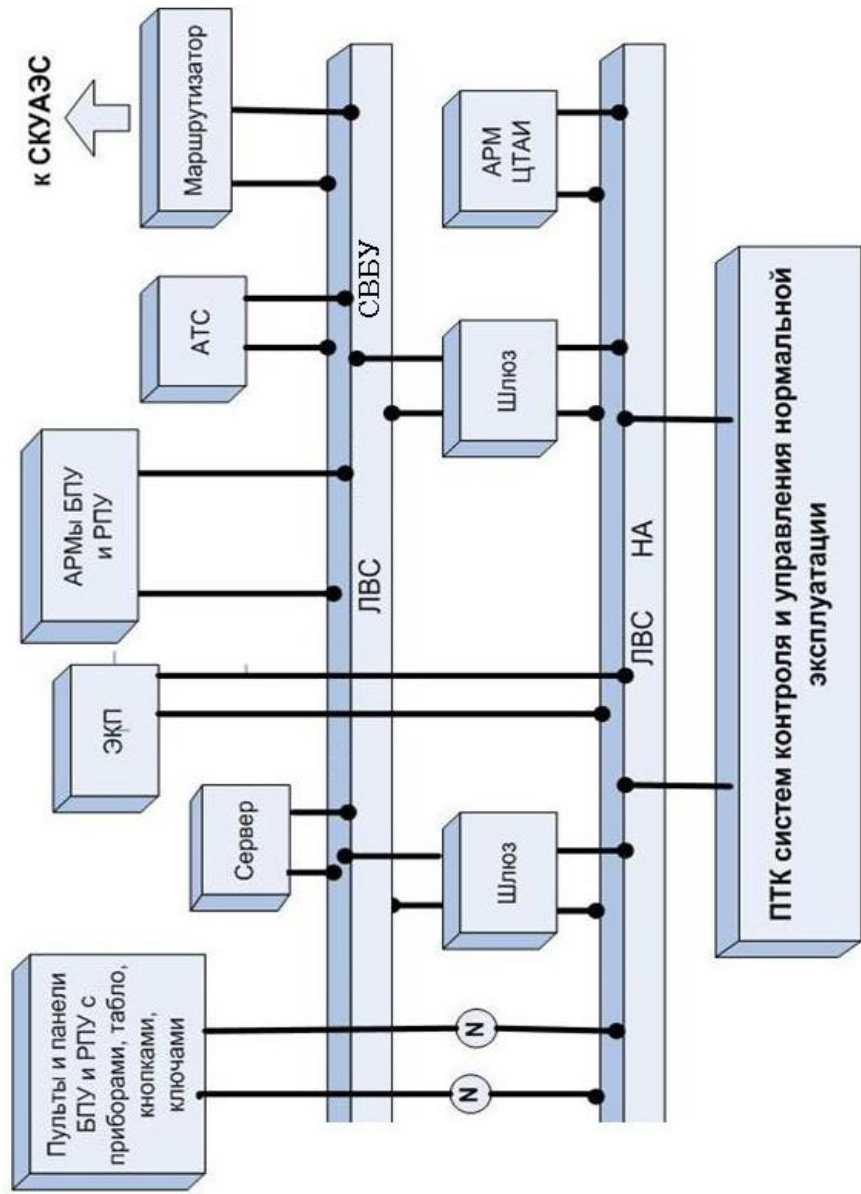


Рис. 6.1. Упрощенная схема подключения УСНЭ

схемы АСУ ТП энергоблока. Из схемы следует, что аппаратура ПТК СКУ НЭ подключается к панелям БПУ, РПУ и АРМ СВБУ через локализующую вычислительную сеть низовой автоматики (ЛВС НА), входящей в состав ПТК СКУ НЭ. При этом панели БПУ, РПУ и ЭКП подключаются напрямую к ЛВС НА, а АРМ БПУ и РПУ – через сеть шлюзов и ЛВС СВБУ. В части ЭКП подобная схема подключения позволяет сохранять информацию для оператора при «потере» СВБУ.

## **6.2. Описание ТПТС**

### **6.2.1. Общие данные**

ПТК СКУ НЭ реализуется на программно-технических средствах ТПТС-ЕМ, NT, в состав которых входят:

- приборные стойки (ПС), оснащенные процессорными модулями и коммутационным оборудованием;
- стойки питания (СП), осуществляющие подачу необходимого напряжения питания на приборные стойки;
- стойки сопряжения (СС), осуществляющие связь ПС с датчиками и исполнительными механизмами;
- коммутаторы OSM/ESM (в составе ПС) для объединения абонентов в единую систему;
- трансиверы (в составе ПС) для подключения удаленных абонентов к шине EN;
- интерфейсные модули для подключения абонентов к шине EN;
- оптоволоконные кабели и промышленные витые пары для передачи данных;
- оптические кроссы для сопряжения оптических кабелей разных диаметров;
- блоки шлюзов сопряжения (БШС) в составе ПС;
- шлюзовые устройства, обеспечивающие связь ПС с СВБУ.

#### *Приборные стойки (ПС)*

Приборные стойки являются основными функциональными составляющими ПТК, в которых реализуются заданные алгоритмы контроля и управления технологическим оборудованием энергоблока. ПС осуществляют:

- сбор и первичную обработку входных дискретных сигналов;
- измерение технологических параметров;
- выполнение необходимых вычислений;

- автоматическое и дистанционное управление исполнительными механизмами;
- обмен данными и командами со смежными ПТС, базирующимися на других программно-технических средствах;
- реализацию технологических защит и блокировок;
- автоматическое регулирование;
- групповое и подгрупповое управление;
- выдачу аналоговых и дискретных сигналов на панели БПУ, РПУ и в другие системы управления энергоблока;
- прием команд дистанционного управления и обмен информацией с СВБУ.

Кроме того, в ПС устанавливаются следующие средства коммуникации:

- коммуникационный модуль ЦМ-Е для организации обмена данными между ФМ в ПС и для связи с абонентами шин EN;
- модуль связи шин ввода/вывода для связи резервированных шин ввода/вывода (шин обмена данными внутри ПС);
- модуль базовый коммуникационный для связи с интеллектуальными датчиками, приводами или смежными ПТК по шине RS-485, обеспечивающий передачу данных по шине EN;
- коммутаторы и оптические кроссы для соединения абонентов шин EN;
- модули электропитания, сигнализации неисправности ПС и т.д.;
- средства подключения кабелей (клеммники, соединители).

### *Стойки сопряжения (СС)*

Используются при построении ПТК в тех случаях, когда необходимо осуществить:

- переход с одного типа кабеля (внешнего) на другой (внутренний, используемый в аппаратуре ТПТС);
- гальваническое разделение цепей ПС и цепей периферийного устройства;
- увеличения тока через контакты внешних устройств, для которых требуется повышенная токовая нагрузка;
- преобразование входного сигнала с напряжением 220 В в дискретный сигнал в виде коммутации контактов цепи с низким напряжением 24 (48) В;
- преобразование выходного потенциального сигнала 24 В в дискретный сигнал в виде коммутации контактов цепи с напряжением 220 В;

- преобразование выходного аналогового сигнала ПС [0 (4) – 20 мА; 0 (2) – 10 В] в аналоговый сигнал другого уровня.

СС используется для сопряжения сигнальных цепей ПС с внешними кабелями и проводами, передающими:

- входные аналоговые и дискретные сигналы следующих видов:

- унифицированный потенциальный сигнал с диапазоном от 0 (2) до 10 В,
- унифицированный токовый сигнал с диапазоном от 0 (4) до 20 мА,

- сигнал от термоэлектрического преобразователя (термопары);
- сигналы от термопреобразователя;
- потенциальный сигнал 24 (48) В;
- коммутацию «сухих контактов», питаемых напряжением 24 (48) В от ТПТС-ЕМ;

- выходные сигналы к периферийным устройствам – приемникам выходных сигналов ТПТС-ЕМ.

### **6.2.2. ТПТС-ЕМ**

«Интеллектуальной» основой ПС в серии ТПТС-ЕМ являются функциональные модули (ФМ). ФМ подключаются к шине ввода-вывода, которая организована внутри ПС и находится под управлением модуля ЦМ-Е. По шине ввода-вывода осуществляется:

- обмен данными между ФМ;
- прием дистанционных команд оператора от СВБУ (БПУ, РПУ) в ФМ через модуль ЦМ-Е;
- передача данных из ФМ в СВБУ (или БПУ, РПУ) с помощью сообщений, формируемых модулем ЦМ-Е.

ФМ устанавливаются в крейты, в ПС их четыре. Емкость одного крейта – 14 мест (слотов) для установки модулей. Максимальное количество ФМ в ПС – 52 в основной ПС и 56 в ПС расширения. На рис. 6.2 представлена внутренняя структура функционального модуля.

ФМ имеют следующие интерфейсы:

- интерфейс шины ввода/вывода;
- аппаратный интерфейс для связи с периферийными устройствами;
- последовательный интерфейс «токовая петля».

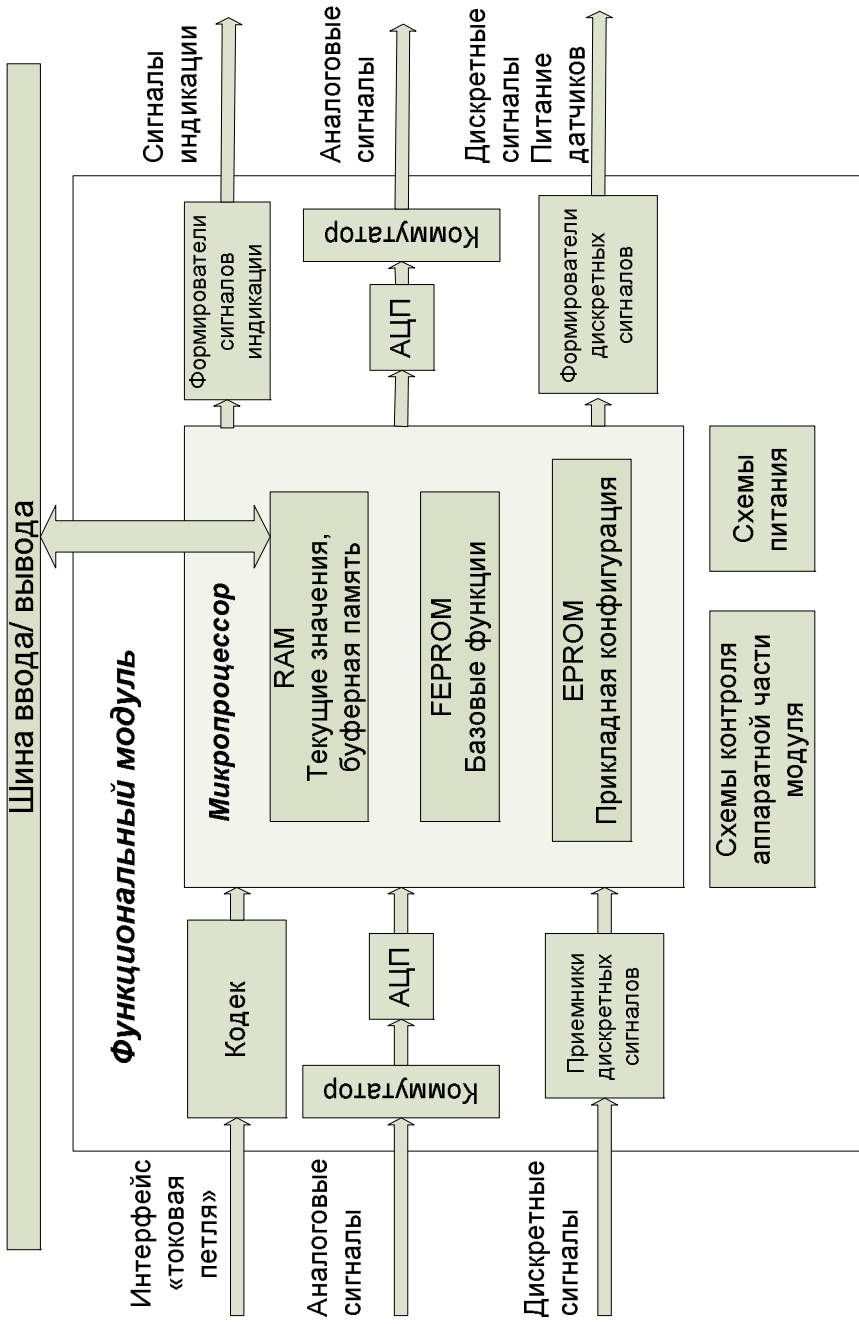


Рис. 6.2. Внутренняя структура функционального модуля



Интерфейс шины ввода/вывода представляет собой параллельную шину, состоящую из 8-разрядной шины данных, 12-разрядной адресной шины и шины управления. Интерфейс служит для обмена данными между ФМ в границах ПС через модуль ЦМ-Е (или ЦМ-СБ). Обмен данными по шине ввода/вывода осуществляется с помощью соответствующего драйвера в модуле ЦМ-Е (или ЦМ-СБ) через передающую оперативную память ФМ, доступ для чтения и записи к которой имеют как процессор самого ФМ, так и процессор модуля ЦМ-Е (или ЦМ-СБ).

Через аппаратный интерфейс к ФМ подключаются кабели, идущие от датчиков и исполнительных механизмов, а также от щитов и панелей управления (напрямую или через стойки сопряжения).

Основные типы функциональных модулей для построения ПТК на основе ТПТС-ЕМ представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

#### Функциональные модули ТПТС-ЕМ

| Номер ФМ<br>ТПТС-ЕМ | Описание функциональных возможностей  |
|---------------------|---|
| 1411, 1412          | Модули <i>S</i> - и <i>K</i> -регуляторов применяются в системах нормальной эксплуатации в качестве двухканальных регуляторов с дискретным или аналоговым выходом, управляющих процессом через исполнительные механизмы. При помощи конфигурирования в модулях можно реализовать два независимых друг от друга канала регулирования или два зависимых друг от друга процесса регулирования (связанное регулирование)  |
| 1414                | Модуль противоаварийной автоматики применяется в системах нормальной эксплуатации и предназначен для реализации функции противоаварийного управления мощностью турбогенератора  |
| 1717, 1719          | Модуль индивидуального управления применяется в системах нормальной эксплуатации и предназначен для индивидуального управления электродвигателями, сервоприводами задвижек и электромагнитными клапанами. В модуле может быть реализовано несколько независимых каналов управления (максимум 5), также модуль используется для выполнения функции автоматического ввода резерва при выборе двух из трех агрегатов с отключением дефектного канала и для переключения режимов работы. Для увеличения числа двоичных входов и выходов предусмотрена совместная работа модуля 1717 с модулем расширения двоичных сигналов 1719 |
| 1722                | Модуль обработки аналоговых сигналов предназначен для сбора и обработки сигналов от 14 измерительных преобразователей в диапазоне измерений от 0 до 5 мА, от 0 до 20 мА, от 4 до 20 мА, от 0 до +10 В или от +2 до +10 В. Модуль имеет 14 аналоговых выходов с диапазоном от 0 до +10 В или от 2 до +10 В и 14 двоичных входов/выходов  |

| Номер ФМ<br>ТПТС-ЕМ | Описание функциональных возможностей  |
|---------------------|---|
| 1723                | Модуль сбора и обработки двоичных сигналов применяется в системах нормальной эксплуатации и предназначен для сбора и обработки информации от дискретных датчиков. Модуль имеет 28 дискретных входов и 28 дискретных выходов, которые могут использоваться для питания датчиков. Если выходы не используются для питания датчиков, то их можно перенастроить и использовать в качестве дополнительных входов |
| 1726                | Модуль подгруппового управления применяется в системах нормальной эксплуатации и предназначен для использования в качестве модуля подгруппового управления. В модуле можно реализовать до четырех каналов подгруппового управления с пошаговым (с использованием стандартных шаговых программных блоков) или комбинаторным (по алгоритму пользователя) методом управления                                   |
| 1724                | Модуль счета импульсов применяется в системах нормальной эксплуатации и используется для счета импульсов (максимально по восьми каналам) или измерения частоты (максимально по четырем каналам)   |
| 1728                | Модуль преобразования частоты применяется в системах нормальной эксплуатации и обеспечивает преобразование сигналов, поступающих по трем каналам от датчиков частоты вращения, в шестнадцатирядный цифровой код и аналоговые сигналы напряжений постоянного тока, соответствующие частоте вращения и скорости изменения частоты вращения  |
| 1730, 1731, 1732    | Модули аналогового ввода применяются в системах нормальной эксплуатации для приема и обработки сигналов от термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления без использования промежуточных преобразователей. Все четыре канала модуля могут также, при необходимости, принимать сигналы измерительных преобразователей от 0 до 20 мА или от 4 до 20 мА                            |
| 1703                | Модуль расширения аналогового ввода применяется в системах нормальной эксплуатации и в системах безопасности, используется для увеличения числа измерительных каналов модулей 1730, 1731 и обеспечивает прием сигналов термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления  |
| 1704                | Модуль расширения аналогового ввода применяется в системах нормальной эксплуатации, используется для увеличения числа измерительных каналов модуля 1732 и обеспечивает прием сигналов термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления. К одному модулю аналогового ввода можно подключить максимум два модуля расширения  |

| Номер ФМ ТПТС-ЕМ | Описание функциональных возможностей  |
|------------------|---|
| 1725             | <p>Модуль группового управления применяется в системах нормальной эксплуатации и реализует функции группового управления (максимум 4 канала). Групповое управление по одному каналу координирует работу от двух до девяти подчиненных подгрупп. В свою очередь, каждая подчиненная подгруппа может координировать работу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• отдельного исполнительного механизма;</li> <li>• группы механизмов, объединенных общей функцией;</li> <li>• установки управляемой пошаговой программой.</li> </ul> <p>Управление по каждому каналу может осуществляться как автоматическими, так и ручными командами, передаваемыми через шинные системы или, в случае использования панели или пульта блочного пункта управления, непосредственно через интерфейс связи с процессом</p> |
| 1416             | <p>Модуль регулирования частоты (МРЧ) применяется в системах нормальной эксплуатации в качестве ведущего регулятора электронной части системы регулирования частоты (ЭЧСР) турбогенераторной установки. Базовое программное обеспечение модуля ориентированно на реализацию регуляторов основных технологических режимов работы турбины, обеспечивающих требования к первичному регулированию частоты в промышленной сети</p>   |

К недостаткам ТПТС-ЕМ можно отнести следующее:

- для выполнения требований по быстродействию (менее 20 мс) для решения отдельных задач необходимы специализированные технические решения, что ограничивает возможности проектировщика и приводит к увеличению номенклатуры технических средств;
- необходимость использования аппаратных передач между функциональными модулями в случае, если алгоритм реализуется в разных функциональных модулях и необходимо обеспечить время реакции его менее 200 мс;
- крайне ограниченные возможности реализовать территориальное распределение аппаратуры сбора информации о состоянии объекта управления;
- из-за ограниченного количества сигналов, принимаемых одним функциональным модулем, возникают трудности при проектировании некоторых типов алгоритмов управления (необходимость формирования достаточно большого количества пересылок, разделение одной функции между несколькими функциональными модулями и т.п.);
- функциональные модули ТПТС-ЕМ обеспечивают возможность разрешения последовательности входных дискретных сигнала-

лов, различающихся по времени их возникновения более чем на 10 мс, что не соответствует современным требованиям (1 мс);

- недостаточные возможности для приема данных от интеллектуальных датчиков и управления интеллектуальными исполнительными механизмами.

### 6.2.3. ТПТС-НТ

Основные цели разработки комплекса средств автоматизации ТПТС-НТ:

- сократить до 100–200 мс время реакции алгоритмов, использующих сигналы;

- обеспечить возможность решения локальных задач с ограниченным количеством входных сигналов (10–30) со временем реакции до 5–10 мс;

- обеспечить возможность территориального распределения аппаратуры, решающей задачи сбора и первичной обработки информации и индивидуального управления;

- обеспечить возможность централизовать по технологическому признаку решение задач автоматического (автоматизированного) управления;

- обеспечить возможность решения задач автоматизации технологических процессов как с большим, так и с малым количеством сигналов и исполнительных механизмов;

- сократить цикл измерения унифицированных аналоговых сигналов до 5–20 мс и улучшить качество измерений в условиях значительного технологического шума;

- обеспечить возможность разрешения последовательности входных дискретных сигналов, различающихся по времени их возникновения более чем на 1 мс;

- обеспечить возможность взаимодействия с интеллектуальными устройствами по полевым шинам;

- обеспечить возможность подключения всех типов полевых кабелей, применяемых в промышленной автоматизации.

Структурная схема комплекса средств автоматизации ТПТС-НТ приведена на рис. 6.3. В состав КСА ТПТС-НТ входят семь основных компонентов:

станция ввода-вывода (СВВ) – выполняет базовые функции измерения аналоговых сигналов, приема и обработки дискретных сигналов, индивидуального управления, регулирования. Набор функций, выполняемых станцией ввода-вывода, определяется составом установленных в ней модулей;

процессор автоматизации (ПА) – выполняет функции обмена данными со станциями ввода-вывода, другими процессорами автоматизации, алгоритмы вычисления технологических параметров, алгоритмы автоматического и автоматизированного управления с использованием данных от подключенных к нему станций ввода-вывода и (или) других процессоров автоматизации;

блок шлюза сопряжения (БШС) – выполняет сопряжение КСА ТПТС-НТ с системой верхнего блочного уровня;

инженерная станция (ИС) – используется для разработки прикладных алгоритмов, схем соединений, выпуска документации, загрузки прикладных программ;

приборная стойка (ПС) – шкаф с установленным в нем СВВ, ПА, БШС и другими компонентами в соответствии с проектом. В зависимости от назначения и размещения приборные стойки выполняются в различных конструктивных исполнениях;

стойка питания (СП) – шкаф с установленными в нем в соответствии с проектом источниками питания 220/24 В;

стойка сопряжения (СС) – шкаф с установленными устройствами сопряжения (модулями гальванического разделения, промежуточными реле, контакторами и т.п.), компонентами, необходимыми для организации сигнализации, элементами, предназначенными для закрепления и подключения кабелей.

Сбор данных, выдача управляющих воздействий, а также ряд стандартных функций, таких как фильтрация и нормализация, индивидуальное управление, регулирование, реализуется в СВВ. СВВ включают в себя набор ПМ-модулей (модули связи с процессом), обеспечивающих прием и выдачу сигналов, а также выполнение базовых функций автоматизации. Вся цифровая информация из ПМ-модулей собирается интерфейсными модулями (ИМ) и передается выше через локальную шину ENL. Информация, приходящая в СВВ по шине ENL, распределяется теми же ИМ по ПМ-модулям в соответствии с адресацией. Связь ИМ и ПМ-модулей в пределах СВВ осуществляется по последовательной шине ввода/вывода (ШВВ), имеющей радиальную структуру, что обеспечивает высокую скорость обмена информацией.

Связь СВВ через коммутаторы по локальным шинам ENL с ПА показана на рис. 6.4. ПА выполняют прикладные функции управления и являются программируемыми. Именно ПА выполняют прикладные алгоритмы, функции защиты, блокировки, функционально-групповое управление. ПА связаны друг с другом локальной сетью EN, а связь с верхним уровнем АСУТП осуществляется через шлюзы, связывающие шину EN и локальную сеть СВБУ.

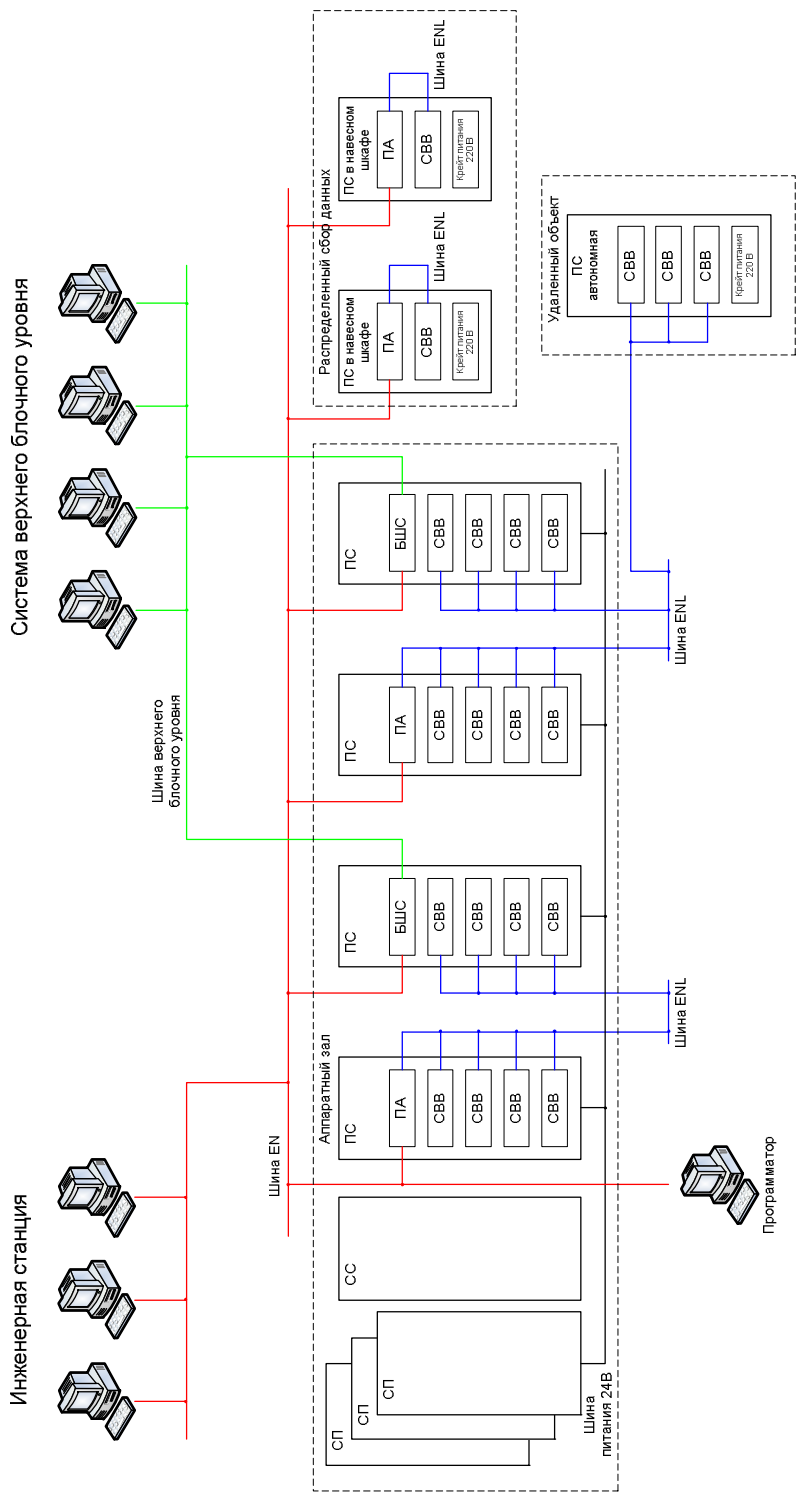
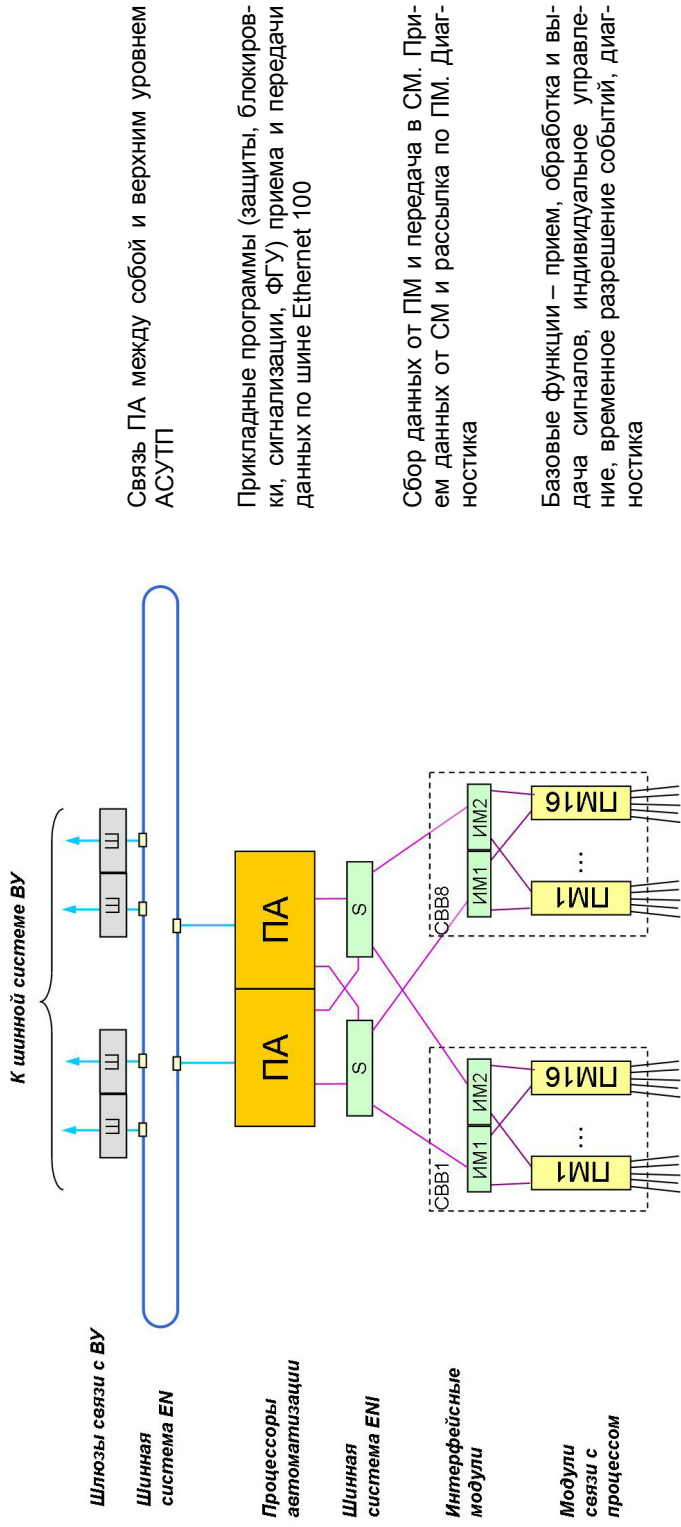


Рис. 6.3. Структурная схема комплекса средств автоматизации ТПС-НТ:

СП – стойка питания; СВ – стойка сопряжения; ПА – приборная стойка;

ПА – процессор автоматизации; СВВ – станция ввода-вывода; БШС – блок шлюза сопряжения



Связь ПА между собой и верхним уровнем АСУТП

Прикладные программы (защиты, блокировки, сигнализации, ФГУ) приема и передачи данных по шине Ethernet 100

Сбор данных от ПМ и передача в СМ. Прием данных от СМ и рассылка по ПМ. Диагностика

Базовые функции – прием, обработка и выдача сигналов, индивидуальное управление, временное разрешение событий, диагностика

Рис. 6.4. Функциональная структура резервирования

Такая структура обеспечивает удобство обработки данных процесса, так как каждый параметр процесса легко доступен каждому ПА. Это – следствие высокого быстродействия информационных каналов и высокой скорости опроса в СВВ. Соответственно, существенно повышается наглядность при проектировании и сопровождении, а также последующей модификации системы. Номенклатура ПМ-модулей и выполняемые ими функции показаны в табл. 6.2.

Таблица 6.2

### Характеристики ПМ-модулей

| Тип модуля  | Функции  |
|---|--|
| Модуль ввода-вывода дискретных сигналов   | Прием дискретных сигналов; питание дискретных датчиков; индивидуальное управление; обслуживание табло и ламповой сигнализации; разрешение последовательности входных дискретных сигналов |
| Модуль ввода унифицированных сигналов тока  | Фильтрация; диагностика измерительных каналов; питание датчиков; прием сигналов интеллектуальных датчиков (протокол HART)  |
| Модуль ввода сигналов термоэлектрических преобразователей, термометров сопротивления и унифицированных сигналов тока и напряжения | Измерение температуры; фильтрация; диагностика измерительных каналов; питание датчиков (термометр сопротивления); измерение сигналов тока и напряжения                                   |
| Модуль вывода унифицированных аналоговых сигналов   | Вывод сигналов напряжения, тока; ввод сигналов напряжения; диагностика каналов воспроизведения   |
| Модуль индивидуального управления   | Управление исполнительными механизмами   |
| Модуль ввода импульсных сигналов  | Измерение частоты входного сигнала; счет входных импульсов; измерение скорости изменения частоты   |
| Модуль регулирования  | Реализация закона регулирования (PI, PID, P), управление регулирующим клапаном   |

#### *Коммуникационная система*

Коммуникационная система ТПТС-НТ осуществляет информационную связь между устройствами комплекса программно-технических средств нерезервированной (УСБ) и резервированной (СКУ НЭ) на уровне устройств системы автоматизации. В состав коммуникационной системы входят шины передачи данных: EN, ENSEN1 и шина ввода/вывода.



## *Шина EN*

Предназначена для выполнения следующих функций:

- передачи данных технологического процесса и результатов их обработки между процессорами автоматизации (ПА) при выполнении задач автоматического управления;
- передачи данных технологического процесса и результатов обработки из ПА в систему верхнего уровня для архивирования и отображения на экранах операторов;
- передачи диагностической информации о состоянии технологического процесса и системы автоматизации из ПА в систему верхнего уровня для регистрации и оповещения операторов.

Шина обеспечивает связь между всеми ПА низовой автоматики, входящими в систему нормальной эксплуатации и управляющую систему безопасности, и выполнена как магистральная шина, по которой осуществляется одновременная передача данных между различными абонентами. Все абоненты шины имеют право доступа к среде передачи данных в соответствии с предварительно установленными логическими связями. Шина реализована на базе интерфейса IndustrialEthernet 100 Мбит/с в виде стандартной кольцевой структуры (виртуального кольца) последовательно соединенных сетевых коммутаторов и всегда резервируется как центральный компонент системы, влияющий на работоспособность системы автоматизации в целом. Резервирование шины осуществляется путем реконфигурации избыточной структуры связей и использования двух сред передачи данных (двух кольцевых структур сетевых коммутаторов).

Основными аппаратными компонентами шины EN являются:

- сетевой коммутатор, имеющий два магистральных порта и несколько абонентских портов, работающих в полнодуплексном режиме;
- конвертер, обеспечивающий преобразование сигналов витой пары в сигналы для волоконно-оптического кабеля и наоборот;
- электрические и оптоволоконные соединения типа «точка-точка», выполненные в виде витой пары или оптоволоконного кабеля;
- центральный коммуникационный модуль EN-C процессора автоматизации (ПА), обеспечивающий подключение ПА к абонентским портам коммутаторов шины EN;
- интерфейсные модули EN-PCI, предназначенные для подключения к шине EN компьютеров программатора и инженерной станции;
- интерфейсный модуль EN-PCI, предназначенный для подключения к шине EN компьютеров шлюзов.

Коммутаторы последовательно соединяются друг с другом по магистральным портам, образуя так называемое виртуальное кольцо. Один из коммутаторов, назначаемый менеджером резервирования, управляет резервированием шины посредством реконфигурации кольца, поддерживая одну из связей в кольце разомкнутой и замыкая ее в случае нарушения связи в магистрали.

### *Шины ENS*

Предназначены для передачи данных технологического процесса и результатов обработки между ПА каналов безопасности, а также передачи параметров технологического процесса, данных диагностики и управления между ПА каналов безопасности и ПА блочного и резервного пультов управления управляющей системы безопасности. Шины ENS используют те же протоколы и принципы связи и передачи данных, что и шина EN, и отличаются от шины EN только наборами телеграмм и возможностями резервирования. Шина реализована на базе интерфейса IndustrialEthernet 100 Мбит/с в виде стандартной кольцевой структуры последовательно соединенных сетевых коммутаторов. Каждый ПА имеет до шести каналов для подключения максимально к шести отдельным шинам ENS, к каждой шине ПА подключаются по одному каналу. Шина не резервирована, но имеет возможность восстановления работоспособности при отказах магистральных связей между коммутаторами путем реконфигурации кольцевой структуры.

### *Шина ENL*

Предназначена для выполнения следующих функций:

- циклический сбор процессором автоматизации параметров технологического процесса, подготовленных интерфейсными модулями (ИМ) станций ввода/вывода (СВВ);
- передача процессором автоматизации команд управления в ИМ станций ввода/вывода для последующей передачи в ПМ-модули по шине ввода/вывода;
- циклический сбор процессором автоматизации диагностической информации, отражающей состояние ПМ-модулей и технологического процесса, подготовленной интерфейсными модулями путем опроса ПМ-модулей по шине ввода/вывода, и состояние собственно интерфейсных модулей;
- ациклический обмен данными с ИМ станций ввода/вывода для выполнения параметрирования ПМ-модулей и расширенной диагностики;

- событийная прямая передача данных между интерфейсными модулями на фоне централизованной передачи данных под управлением ПА.

Шина ENL обеспечивает подключение к ПА до 16 станций ввода/вывода. Шина реализована на базе интерфейса Industrial-Ethernet 100 Мбит/с с радиальной топологией подключения абонентов к одному или нескольким связанным сетевым коммутаторам. Обмен данными по шине между ПА и ИМ осуществляется централизованно под управлением процессора автоматизации. ПА выполняет на шине функции master-устройства, имеющего прямой доступ к шине для передачи данных в ИМ или запросов на прием данных из ИМ. Интерфейсные модули, выполняющие на шине функции slave-устройств, передают данные на шину только при поступлении соответствующих запросов от ПА.

Шина ENL может использоваться в нерезервированном и резервированном варианте исполнения. В системе безопасности шина ENL, как и другие устройства комплекса, не резервируется, и каждый абонент подключается к шине по одному каналу. В системе нормальной эксплуатации шина ENL резервируется. Резервирование выполняется путем введения двух отдельных шин, к каждой из которых подключаются оба резервируемых ПА и по одному из каждой пары резервируемых ИМ станций ввода/вывода.

### *Шина ввода/вывода (ШВВ)*

Предназначена для выполнения следующих функций:

- циклического сбора интерфейсным модулем параметров технологического процесса и диагностических данных от ПМ-модулей станции ввода/вывода;
- циклической передачи интерфейсным модулем в ПМ-модули данных управления;
- ациклического обмена данными между интерфейсным модулем (инициатором обмена) и ПМ-модулями для передачи в ПМ-модули их параметров и приема от ПМ-модулей данных расширенной диагностики;
- инициативной передачи ПМ-модулями в ИМ дискретных данных технологического процесса при изменении входных данных.

Шина ввода/вывода состоит из 16 отдельных стандартных последовательных интерфейсов с дуплексным режимом передачи данных, по которым к интерфейсному модулю могут быть подключены до 16 ПМ-модулей. Передача данных по шине осуществляется централизованно под управлением интерфейсного модуля, который вы-

полняет на шине функции master-устройства. ПМ-модули выполняют функции slave-устройств и передают данные по шине по запросу ИМ. Предусмотрена также возможность передачи на шину данных по инициативе ПМ-модулей для их дальнейшей прямой передачи интерфейсным модулем другим интерфейсным модулям по шине ENL. В системе нормальной эксплуатации шина ввода/вывода резервируется. Так как обмен данных между интерфейсным модулем и ПМ-модулями осуществляется максимально по 16 последовательным интерфейсам практически одновременно, можно считать, что максимальная физическая скорость передачи данных по шине ввода/вывода составляет около 16 Мбит/с.

### 6.3. Структурные решения

На рис. 6.5 представлена структурная схема для ПТК СКУ нормальной эксплуатации с использованием аппаратуры ТПТС первого поколения. Программно-технический комплекс состоит из нескольких связанных между собой локальными сетями функциональных комплексов (ФК). ФК или шкаф с аппаратурой ТПТС представляет собой набор функциональных модулей, объединенных одной шиной ввода/вывода. В состав ФК входят также служебные модули и устройства шинных коммуникаций. ФК является абонентом как системной шины CS для связи с СВБУ через шлюз, так и абонентом шины оперативного обмена SC, предназначенной для передачи с большой скоростью информации между отдельными функциональными комплексами внутри ПТК. Системная шина обеспечивает обмен информацией с системой верхнего блочного уровня, а также с другими ФК. ФК может размещаться в одной (основной) или двух (основной и расширения) приборных стойках.

Важной особенностью структуры ПТК УСНЭ является прямой выход из функциональных модулей ТПТС 1717, 1722 прямыми проводными связями на мозаичные элементы панелей контроля и управления резервной зоны БПУ, минуя все локальные вычислительные сети низовой автоматики и СВБУ. Такая схема позволяет сохранить возможность контроля и управления технологическим оборудованием с помощью индивидуальных технических средств резервных панелей при отказе рабочих станций или серверов СВБУ. Иногда группу резервных панелей для контроля и управления оборудованием технологических систем нормальной эксплуатации называют обобщенной мнемосхемой (ОМС).

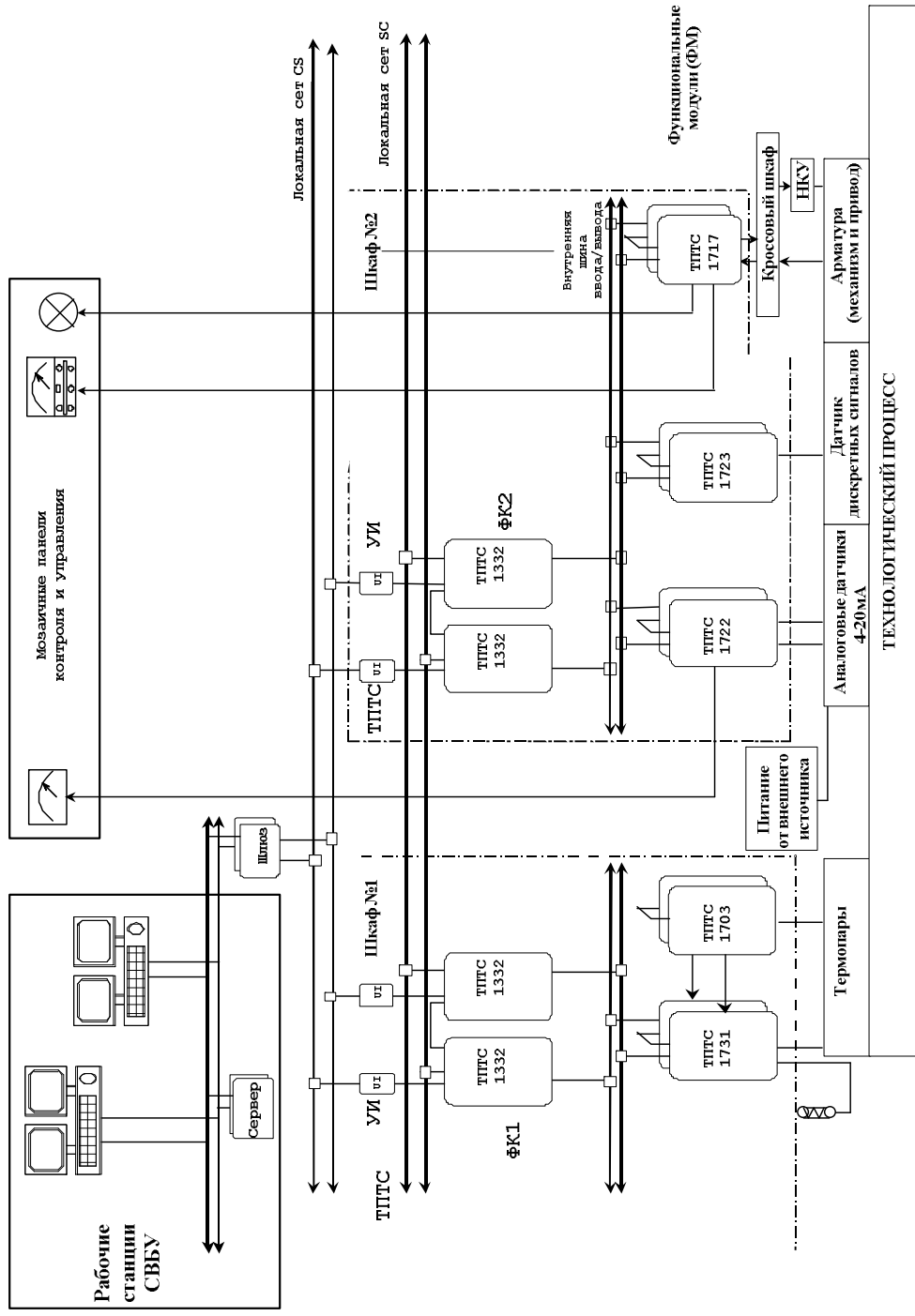


Рис. 6.5. Структура ПТК СУ НЭ с использованием аппаратуры ТПТС

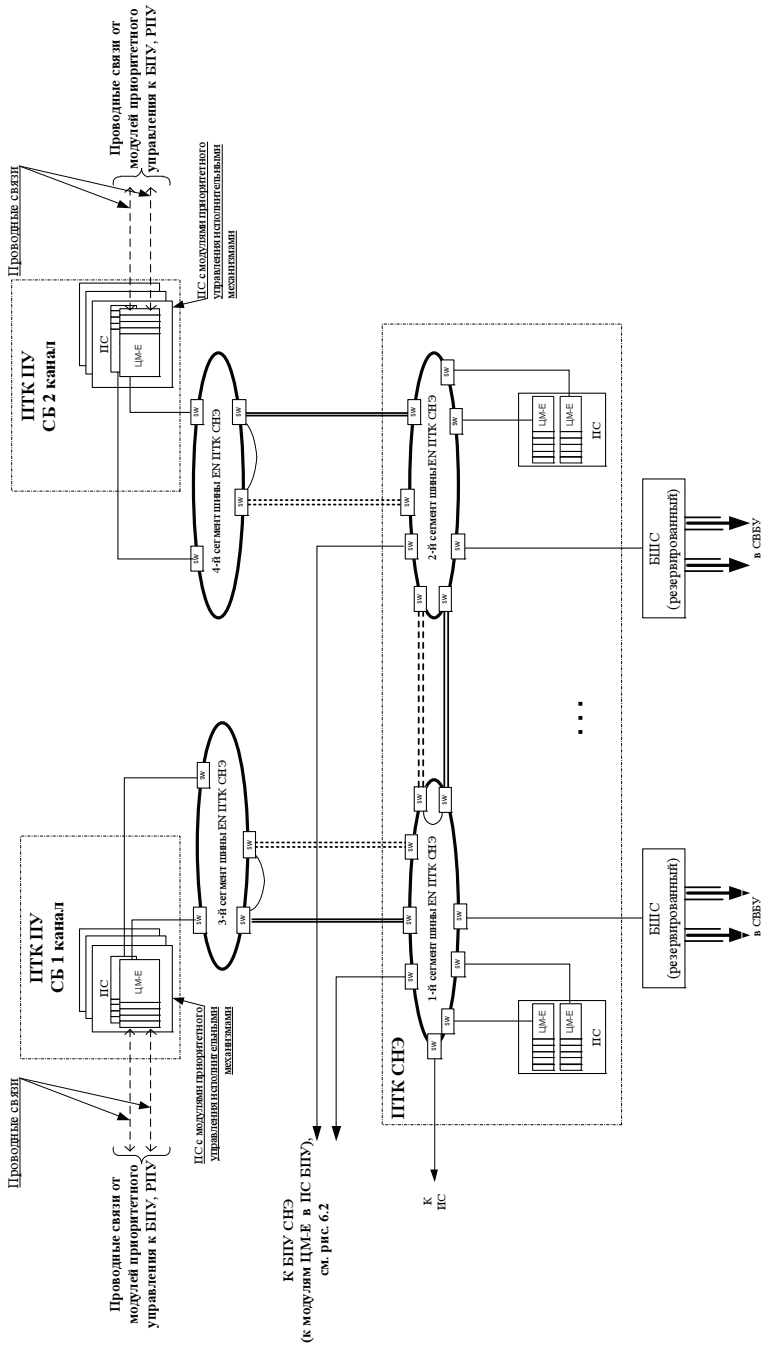


Рис. 6.6. Схема взаимосвязей между ПТК СКУ НЭ и ПТК УСБ: SW – коммутатор; ЦМ-Е – центральный коммуникационный модуль; БКМ – базовый коммуникационный модуль; БШС – блок шлюза сопряжения (резервный); — — абонентское звено шины EN (витая пара, 10 Мбит); — — магистраль шины EN (оптоволокно, 1000 Мбит); — — основная связь между сегментами шины EN (оптоволокно); - - - - резервная связь между сегментами шины EN (оптоволокно); С – служебная связь для организации резервирования связи между сегментами; ≡ — — шина СВБУ «Ethernet»

На рис. 6.6 представлена схема взаимодействия между ПТК СКУ НЭ и ПТК УСБ для энергоблока с ВВЭР-1000 в составе двух каналов систем безопасности с применением аппаратуры второго поколения ТПТС-ЕМ. Схема основана на использовании ЛВС в виде четырех сегментов шины EN, при этом 1 и 2 сегменты шины EN относятся к ПТК СКУ НЭ, а 3 и 4 – распределены по каналам УСБ. Отличие данной схемы от предыдущей в части организации прямого выхода на мозаичные элементы панелей контроля и управления резервной зоны БПУ в том, что здесь для этого используются цифровые связи из 1 и 2 сегментов шин EN к этим панелям БПУ. В качестве приемника цифровых сигналов внутри соответствующих панелей БПУ установлены модули ТПТС.

В некоторых проектах структурирование и компоновка ПТК СКУ нормальной эксплуатации производится в соответствии с функциональным делением, когда все технологические системы энергоблока разбиваются на области процесса, подобласти процесса и функциональные группы. Перечень подобластей процесса (ПОП) нормальной эксплуатации, входящих в определенную область процесса, приведен в табл. 6.3.

Подобное структурирование СКУ нормальной эксплуатации основывается на следующих уровнях АСУ ТП:

- управления процессом;
- коммуникации;
- обработки;
- автоматизации;
- индивидуального управления;
- процесса.

На *уровне управления процессом* реализуются задачи управления технологическими системами, информационной поддержки операторов, задачи диагностики, ведения оперативной документации, расчета показателей работы блока. Уровень управления процессом организован на основе системы верхнего блочного уровня. *Уровень коммуникации* обеспечивает обмен данными между компонентами СКУ посредством локальных сетей. *Уровень обработки* содержит компьютеры, которые обеспечивают обработку данных, поступающих от систем автоматизации, и формируют данные, необходимые для отображения на уровне управления процессом. Кроме этого на уровне обработки осуществляется архивирование данных технологического процесса, а также расположены средства для конфигурирования и диагностирования СКУ.

## Функциональное деление СКУ нормальной эксплуатации

| ОП | Название ОП                           | ПОП | Название ПОП  |
|----|---------------------------------------|-----|---|
| A  | Системы снабжения АЭС                 | A1  | Электроснабжение собственных нужд энергоблока   |
|    |                                       | A2  | Снабжение обессоленной и питьевой водой, снабжение паром собственных нужд, снабжение газовыми средами |
|    |                                       | A3  | Хранение и подача химических реагентов  |
|    |                                       | A4  | Горячая вода и холодоснабжение  |
|    |                                       | A5  | Вентиляция и кондиционирование  |
|    |                                       | A6  | Водоподготовка  |
| B  | Обращение с отходами и их переработка | B1  | Химический контроль   |
|    |                                       | B2  | Очистка радиоактивных газов   |
|    |                                       | B3  | Дренажи и спецканализация   |
|    |                                       | B4  | Сбор, переработка и удаление радиоактивных отходов  |
|    |                                       | B5  | Общие дренажи и канализация   |
| C  | Отвод тепла к конечному поглотителю   | C1  | Техническая вода для ответственных потребителей   |
|    |                                       | C2  | Промконтуров охлаждения   |
|    |                                       | C3  | Отвод тепла от турбоустановки   |
| D  | Второй контур                         | D1  | Конденсатный тракт  |
|    |                                       | D2  | Питательная вода  |
|    |                                       | D3  | Основной пар и пар собственных нужд   |
|    |                                       | D4  | Теплофикационная установка  |
| E  | Первый контур                         | E1  | Вспомогательные системы первого контура   |
|    |                                       | E2  | Реакторная установка  |
| F  | Турбогенераторная установка           | F1  | Турбоустановка  |
|    |                                       | F2  | Генераторная установка  |
|    |                                       | F3  | Трансформатор   |

Уровень автоматизации СКУ организован на основе микропроцессорных средств – процессоров автоматизации. Основной задачей процессоров автоматизации является прием команд с уровня управления процессом (оперативные терминалы СВБУ), получение измеренных значений и сигналов состояния процесса с уровня индивидуального управления, обработка полученных данных в соответствии с заданными алгоритмами и выполнение функций сигнализации, защит, блокировок, автоматизированного и дистанционного



управления, авторегулирования. Результирующие команды передаются «вниз», на уровень индивидуального управления, а информация о процессе передается «наверх», на уровне обработки и управления.

На уровне индивидуального управления формируется интерфейс между технологическим процессом и уровнем автоматизации. Этот уровень обеспечивает приоритетную обработку поступающих команд, управление приводами, сбор и обработку обратных сообщений, передачу информации о процессе на уровень автоматизации.

Уровень процесса включает все устройства, которые осуществляют сбор информации о технологическом процессе (датчики, нормирующие преобразователи и т.п.), и исполнительные механизмы. Располагаются они в основных зданиях энергоблока (реакторное отделение, турбинное отделение, вспомогательное отделение и т.д.).

Структура СКУ НЭ «нижнего» уровня (уровень автоматизации и индивидуального управления) разделяется на 6 групп (каналов):

- СКУ НЭ 1–4 группы;
- СКУ НЭ 5, 6 группы.

Разделение между группами производится в зависимости от:

- требований по безопасности;
- требований по сейсмостойкости;
- канала питания технологических систем;
- специальных требований во время и после прохождения исходных событий.

Управление технологическими элементами класса ЗН реализуется в СКУ НЭ 1–4 группы. Кроме этого, СКУ НЭ 1–4 группы служит для предоставления возможности дистанционного или автоматического управления механизмами систем безопасности, например, во время наладки или для ведения технологических процессов, не связанных с безопасностью. Команды от СКУ НЭ в данном случае подаются на модули приоритетного управления. Разделение технологических систем НЭ между 5 и 6 группами производится исходя из структуры резервирования технологических элементов, прокладки кабельных трасс и питания системы.

## Глава 7. ПТК СКУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

### 7.1. Функции, состав

СКУ ЭЧ энергоблока и его собственных нужд (СКУ ЭЧ) предназначена для реализации функций контроля и управления электротехническим оборудованием посредством выполнения следующих основных функциональных задач:

1) задачи контроля:

- прием информации от объекта контроля и управления;
- прием информации от микропроцессорных устройств релейной защиты (МПРЗ) и устройств связи с объектом (УСО);
- обработка принятой информации;
- передача обработанной информации в СВБУ;
- передача обработанной информации на мозаичные панели БПУ;
- представление обработанной информации на рабочих станциях диагностики и обслуживания электротехнического оборудования и программно-технических средств релейной защиты (РЗ) и СКУ ЭЧ;

2) задачи управления:

- прием команд оперативного персонала от СВБУ и мозаичных панелей БПУ;
- передача команд в программно-технические средства релейной защиты и устройства связи с объектом для их выдачи на электротехническое оборудование.

Вместе с выполнением основных функциональных задач контроля и управления электротехническим оборудованием ПТК СКУ ЭЧ обеспечивает:

- поддержание единого астрономического времени в микропроцессорных устройствах системы, а также устройствах МПРЗ и УСО;
- представление диагностической информации о состоянии микропроцессорного оборудования РЗ и СКУ ЭЧ на рабочей станции диагностики и обслуживания;
- сбор осциллограмм от микропроцессорных устройств РЗ;

- представление осциллограмм на рабочей станции диагностики и обслуживания;
- архивирование информации, поступающей на рабочую станцию диагностики и обслуживания;
- выдачу информации в смежные системы.

Задачи контроля и управления электротехническим оборудованием энергоблока и его собственных нужд выполняются следующим оборудованием.

*A.* ПТК СКУ ЭЧ ЭБ, в составе которого:

- центральные координирующие устройства;
- шлюз сопряжения;
- серверы;
- шкафы сетевого оборудования.

*B.* Мозаичные панели электрической части БПУ с контроллерами мозаичного щита (КМЩ), спараметрированными для нужд СКУ ЭЧ.

*C.* Рабочие станции СВБУ.

*D.* Рабочие станции диагностики и обслуживания электротехнического оборудования и программно-технических средств РЗ и СКУ ЭЧ.

*E.* Принтер диагностики и обслуживания.

В табл. 7.1 приведен примерный состав оборудования контроля и управления РЗ и СКУ ЭЧ.

Таблица 7.1

**Состав объектов контроля и управления систем РЗ и СКУ ЭЧ**

| Система   | Состав объектов контроля и управления *   |
|---|---|
| РЗ и СКУ ЭЧ общестанционных собственных нужд и оборудования выдачи мощности | Система сборных шин 500 кВ;<br>система сборных шин 220 кВ;<br>ошиновки 500 кВ энергоблоков;<br>автотрансформаторы 500/220 кВ;<br>резервные и общестанционный трансформаторы собственных нужд 220/6,3–6,3 кВ;<br>секции, сборки и питающие элементы общестанционных собственных нужд 6 кВ;<br>секции, сборки и питающие элементы общестанционных собственных нужд 0,4 кВ;<br>установки постоянного тока общестанционного оборудования (сигнализация) |

| Система   | Состав объектов контроля и управления *  |
|---|--|
| РЗ и СКУ ЭЧ энергоблока и его собственных нужд                      | Турбогенератор;<br>повышающие блочные трансформаторы 500/24–24кВ;<br>рабочие трансформаторы 24/6,3–6,3 кВ собственных нужд блока;<br>секции и питающие элементы собственных нужд 6 кВ СНЭ;<br>общемблочные дизель-генераторы 6 кВ;<br>электродвигатели собственных нужд 6 кВ СНЭ (только РЗ)**;<br>секции, сборки и питающие элементы собственных нужд 0,4 кВ СНЭ;<br>электродвигатели собственных нужд 0,4 кВ СНЭ (только РЗ)**;<br>установки постоянного тока СНЭ (сигнализация) |
| РЗ и СКУ ЭЧ системы аварийного электроснабжения канала безопасности | Линия рабочего питания секции 6 кВ САЭ от блочной секции;<br>дизель-генератор систем безопасности;<br>секции и общесекционные устройства 6 кВ САЭ;<br>ввод резервного питания секции 6 кВ САЭ;<br>трансформаторы собственных нужд 6/0,4 кВ САЭ;<br>электродвигатели 6 кВ и 0,38 кВ систем безопасности (только РЗ)**;<br>секции и общесекционные устройства 0,4 кВ САЭ;<br>установки постоянного тока САЭ (сигнализация)   |

\* Объем контроля и управления определяется для каждого вида оборудования.

\*\* В рамках системы РЗ и СКУ ЭЧ реализуются только функции РЗ; контроль и управление реализуются АСУ ТП.

## 7.2. Структурные схемы

РЗ и СКУ ЭЧ представляют собой совокупность программно-технических средств (ПТС) с установленным базовым программным обеспечением (БПО) и комплексом прикладного программного обеспечения (ППО). ПТС преимущественно взаимодействуют посредством межмашинных (интерфейсных) линий связи, также в системе используются проводные (физические) линии связи.

Функциональная схема СКУ ЭЧ общего вида приведена на рис. 7.1. Системы РЗ и СКУ ЭЧ имеют иерархическую структуру, состоящую из нескольких уровней.

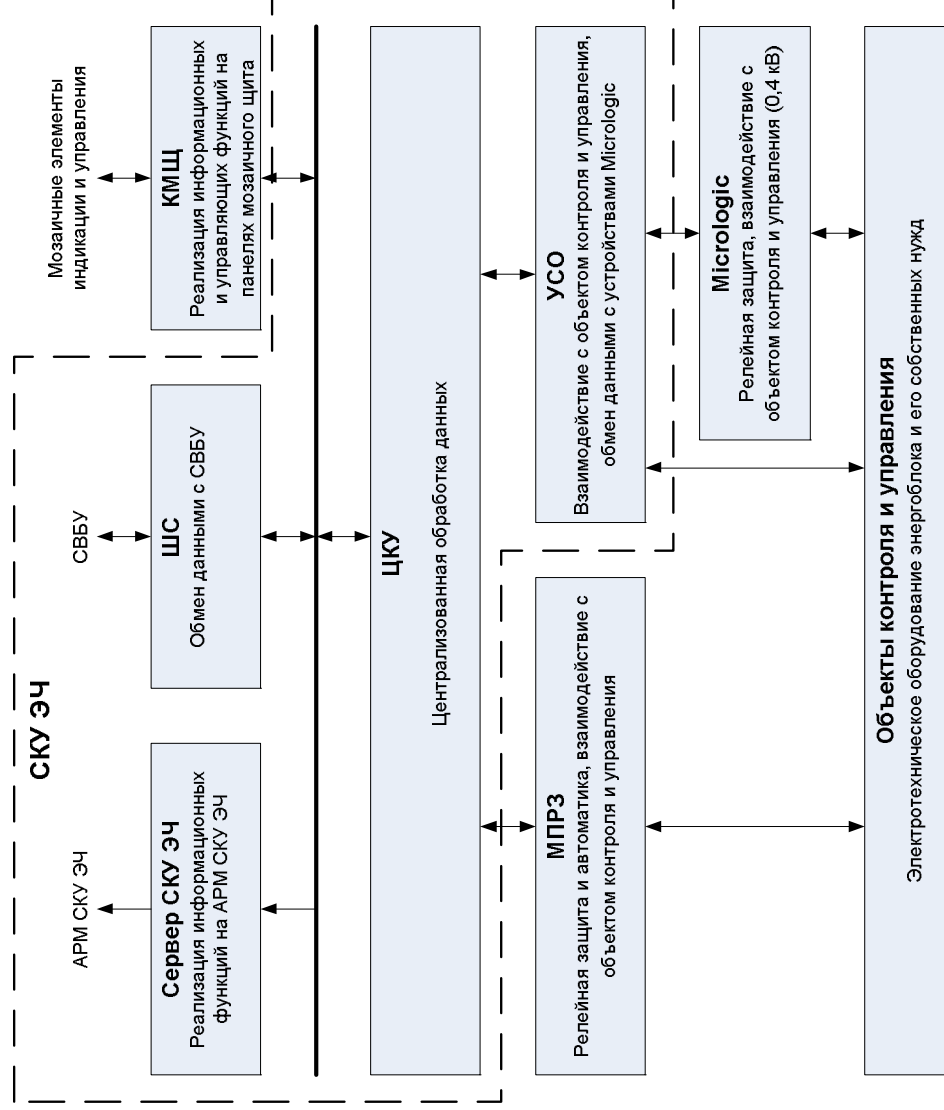


Рис. 7.1. Функциональная схема комплекса ПТС

**Нижний уровень системы** представлен комплектом технических средств, выполняющих функции:

- релейной защиты;
- низовой автоматики;
- сбора и первичной обработки информации для СКУ ЭЧ;
- выдачи управляющих воздействий от СКУ ЭЧ на исполнительные органы электротехнического оборудования;
- записи осциллограмм.

Элементная база данных технических средств нижнего уровня определяется с учетом их классификации по влиянию на безопасность [3]:

- в системах РЗ и СКУ ЭЧ 3 и 4 класса безопасности применяются микропроцессорные технические средства. При необходимости, наряду с микропроцессорными техническими средствами, применяются микроэлектронные технические средства;

- в системах РЗ и СКУ ЭЧ 2 класса безопасности технические средства имеют, в основном, микроэлектронную элементную базу.

**Средний уровень системы** образован техническими средствами, предназначенными для централизованной обработки и перераспределения потоков информации. Состав и тип данных технических средств определяется с учетом их классификации по влиянию на безопасность, что, в свою очередь, определяет их способ обмена информацией с устройствами других уровней системы:

- в системах РЗ и СКУ ЭЧ 3 и 4 класса безопасности применяются технические средства, обеспечивающие взаимодействие с микропроцессорными устройствами нижнего уровня посредством цифровых каналов связи;

- в системах РЗ и СКУ ЭЧ 2 класса безопасности применяются сертифицированные технические средства, обеспечивающие взаимодействие с устройствами нижнего уровня посредством проводных физических связей.

**Верхний уровень системы** образован техническими средствами контроля и управления, а именно:

- техническими средствами оперативно-диспетчерского управления;

- техническими средствами представления информации (рабочими станциями) для релейного персонала АЭС.

Структура и тип связи устройств верхнего и среднего уровней системы определяется с учетом:

- вида применяемых технических средств среднего уровня;
- типа и назначения технических средств верхнего уровня;
- структуры и назначения смежных систем АСУ ТП.

Отличительной чертой структурной схемы СКУ общестанционной частью (рис. 7.2) является организация контроля и управления электрооборудованием схемы выдачи мощности в энергосистему (ОРУ) с РС ЦЩУ или с мозаичных панелей центрального щита управления. Структурная схема СКУ собственными нуждами энергоблока в части нормальной эксплуатации (рис. 7.3) предполагает, что контроль и управление электропитанием механизмов осуществляется через РС СВБУ или с мозаичных панелей нормальной эксплуатации собственных нужд БПУ. Управление с панелей предусматривается в случае отказа РС СВБУ.

Структурная схема СКУ систем аварийного электроснабжения (САЭ) оборудованием систем безопасности (рис. 7.4) предусматривает контроль и управление этими процессами с РС СВБУ или с мозаичных панелей безопасности БПУ и РПУ. Причем управление данным оборудованием с панелей безопасности выполняется только при аварийной ситуации в виде возникновения проектных исходных событий (срабатывание УСБ). Процедуры управления с РС СВБУ в этом случае блокируются.

Оборудование системы РЗ и СКУ ЭЧ включается в работу автоматически при подаче оперативного питания. По окончании этапа автозапуска, при условии отсутствия неисправностей, оборудование переходит в режим штатного функционирования. В режиме штатного функционирования оборудование СКУ ЭЧ обеспечивает выполнение задач контроля и управления электротехническим оборудованием и дополнительных задач. Временной режим работы СКУ ЭЧ – круглосуточный, длительно-непрерывный. Предусматривается возможность вывода отдельных программно-технических средств СКУ ЭЧ из работы для проведения технического обслуживания в соответствии с регламентом обслуживания СКУ ЭЧ.

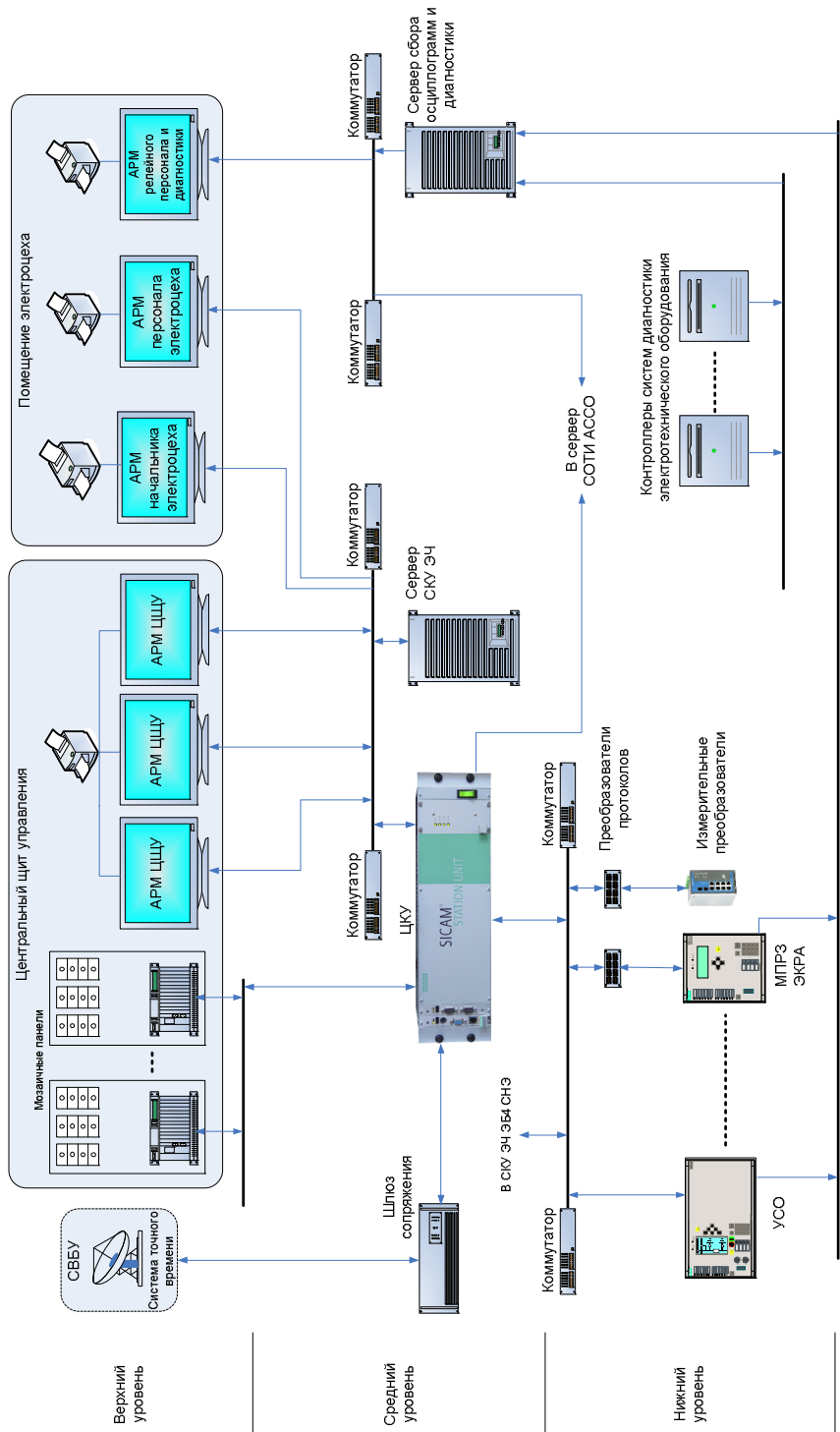


Рис. 7.2. Структурная схема СКУ электрической части



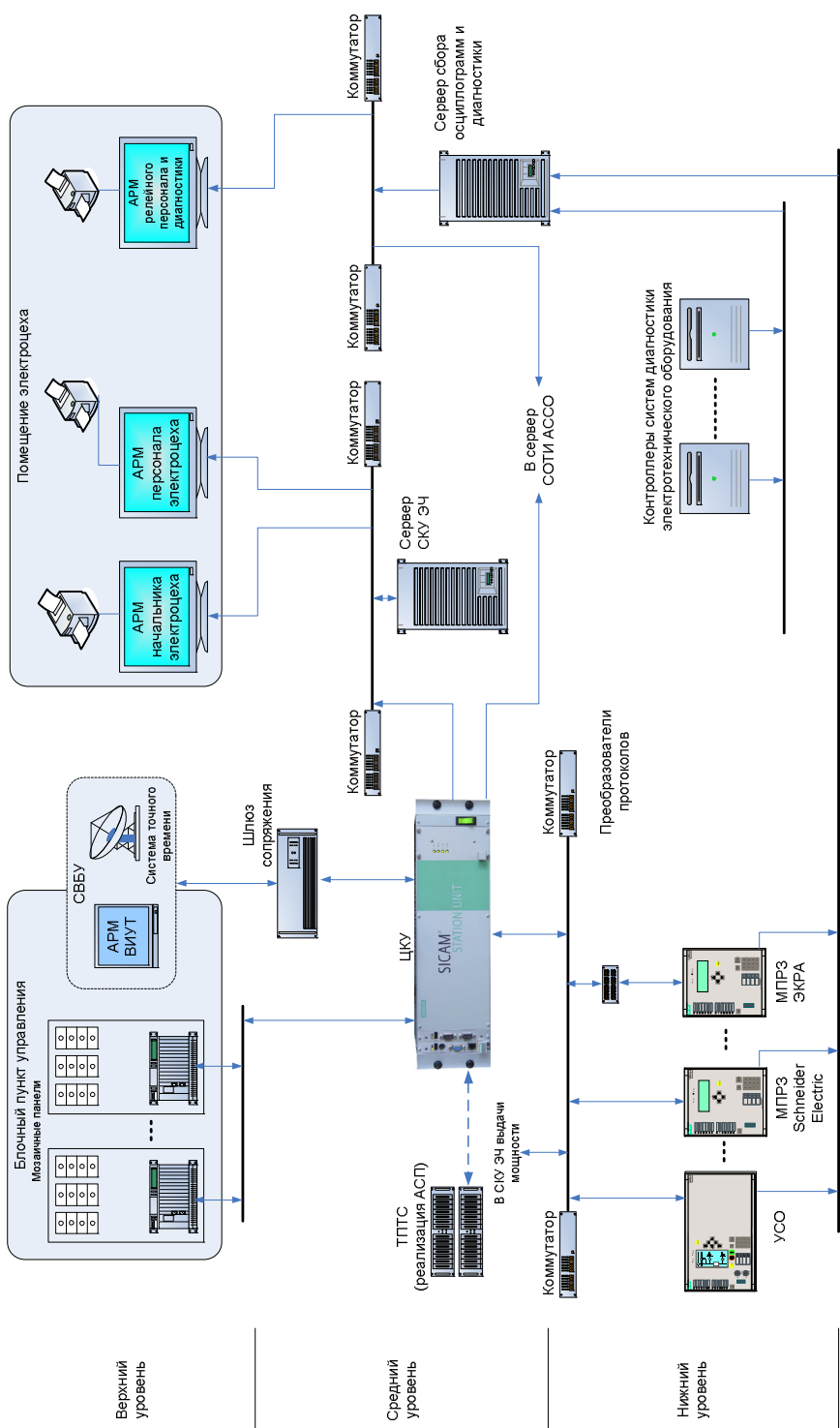


Рис. 7.3. Структурная схема СКУ собственных нужд энергоблока

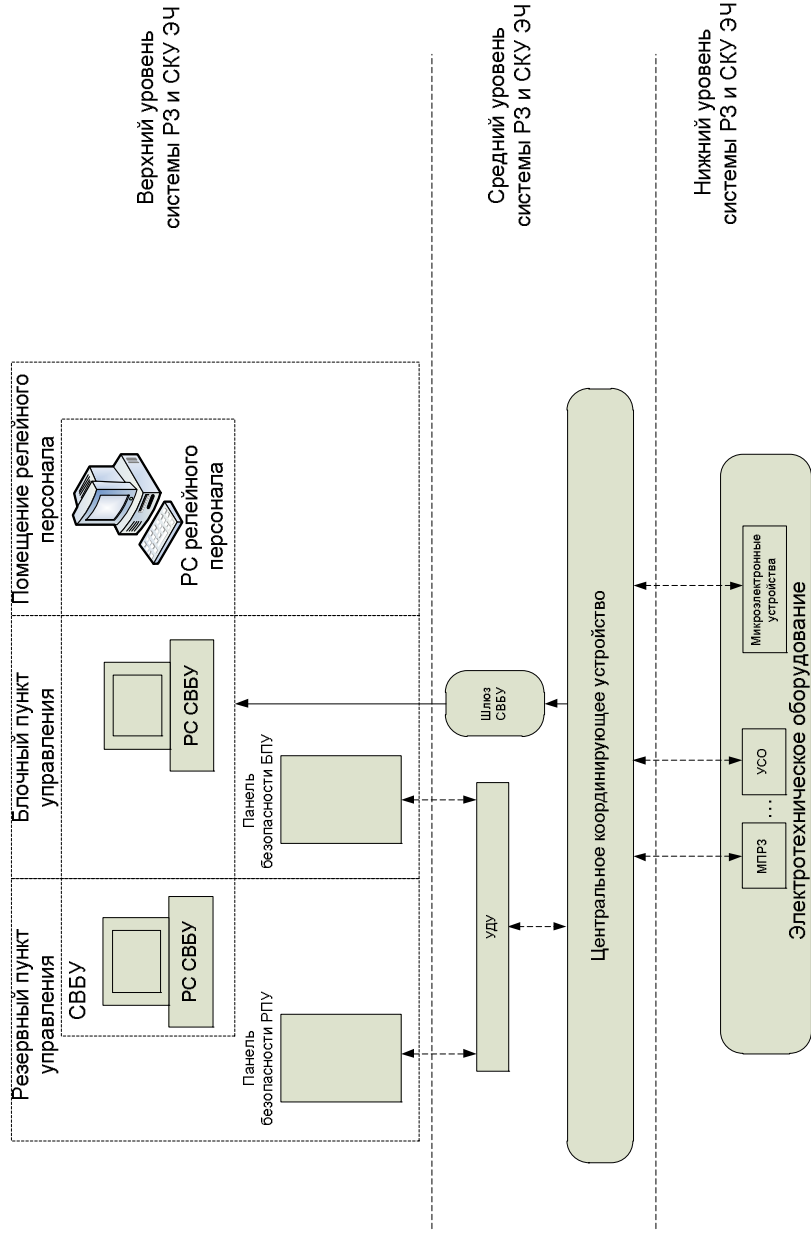


Рис. 7.4. СУЭ, система аварийного электроснабжения: — — интерфейсные связи; - - - — проводные связи; МПРЗ — микропроцессорное устройство релейной защиты; РС — рабочая станция; СВБУ — система верхнего блочного уровня; УДУ — устройство дистанционного управления; УСО — устройство связи с объектом

## 7.3. Технические средства

### 7.3.1. Общие данные

Техническими средствами релейной защиты и СКУ ЭЧ реализуются функции:

- релейной защиты;
- измерений электрических параметров;
- автоматике ступенчатого пуска дизель-генераторов;
- осциллографирования токов и напряжений;
- регистрации событий;
- архивирования событий и осциллограмм;
- контроля и отображения режима, электрических параметров и схемы коммутации оборудования;
- контроля и отображения информации о нарушениях режима;
- контроля и отображения информации о неисправностях оборудования;
- выполнения команд дистанционного управления;
- связи с АСУ ТП блока или АЭС;
- поддержания единого астрономического времени;
- самодиагностики.

Технические средства релейной защиты и низовой автоматике размещаются в шкафах комплектных распределительных устройств (КРУ, НКУ и т.п.) или в отдельных шкафах щитовых помещений. Технические средства СКУ ЭЧ размещаются в отдельных шкафах. Технические средства релейной защиты, низовой автоматике и СКУ ЭЧ, объединенные между собой структурно и функционально, образуют единую систему РЗ и СКУ ЭЧ.

Оборудование РЗ и СКУ ЭЧ, в соответствии с [3], имеет следующие классификационные обозначения:

- оборудование РЗ и СКУ ЭЧ энергоблока и собственных нужд нормальной эксплуатации относится к классу 3Н. Вспомогательное оборудование СКУ ЭЧ, предназначенное для обеспечения дополнительных функций контроля, относится к классу 4;
- оборудование РЗ и СКУ ЭЧ общестанционного оборудования относится к классу 4 и имеет классификационное обозначение 4;
- оборудование РЗ и СКУ ЭЧ САЭ относится к классу 2 и имеет классификационное обозначение 2У. Оборудование систем, предназначенное для регистрации быстротекущих процессов, относится к классу безопасности не ниже 3У, оборудование для обеспечения дополнительных функций контроля относится к классу 4.

Оперативный контроль и управление электротехническим оборудованием, за исключением оборудования, управляемого по месту, осуществляется централизованно посредством технических средств оперативно-диспетчерского управления (ТС ОДУ), которые в свою очередь подразделяются на два вида:

- щитовые (мозаичные панели);
- дисплейные (рабочие станции).

Каждый из видов ТС ОДУ работает параллельно и независимо. Информация, отображаемая на щитовых ТС ОДУ, носит обобщенный характер, на дисплейных – детализированный. Объем управления с каждого из видов ТС ОДУ определяется с учетом требований к функциям управления, возможности их реализации теми или иными техническими средствами и технической целесообразности. Состав и размещение ТС ОДУ для каждой из систем приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

### Состав и размещение ТС ОДУ

| Система                              | Состав   | Размещение |
|--------------------------------------|--|------------|
| СКУ ЭЧ энергоблока                   | Панели электрической части мозаичного щита БПУ*;<br>пульт – панель генератора*;<br>рабочая станция СВБУ* | БПУ        |
| СКУ ЭЧ общестанционного оборудования | Мозаичные панели ЦЩУ;<br>рабочая станция оперативного персонала ЦЩУ;                                     | ЦЩУ        |
|                                      | рабочие станции ЦПУ (только функции контроля)*   | ЦПУ        |
| СКУ ЭЧ САЭ                           | Мозаичные панели систем безопасности БПУ*;<br>рабочие станции контроля параметров безопасности БПУ*;     | БПУ        |
|                                      | мозаичные панели систем безопасности РПУ*;<br>рабочие станции контроля параметров безопасности РПУ*      | РПУ        |

\* Технические средства входят в состав технических средств АСУ ТП.

Для предоставления детализированной информации о текущем режиме работы электротехнического оборудования, его состоянии и состоянии технических средств РЗ (при применении МПРЗ) и СКУ ЭЧ в помещении релейного персонала размещаются рабочие станции релейного персонала.

### **7.3.2. Технические средства релейной защиты и низовой автоматики**

Микропроцессорные устройства релейной защиты (МПРЗ) являются многофункциональными программно-техническими средствами. Наряду с функциями релейной защиты они выполняют:

- измерение и вычисление электрических параметров;
- сбор, регистрацию и передачу на верхний уровень дискретной и аналоговой информации;
- выдачу команд дистанционного управления на исполнительные органы электротехнического оборудования;
- логическую обработку сигналов и данных;
- запись осциллограмм токов и напряжений.

Программное обеспечение МПРЗ позволяет, помимо заложенных в них стандартных алгоритмов, реализовывать пользовательские алгоритмы, что расширяет функциональные возможности МПРЗ. Обмен данными МПРЗ с устройствами более высокого уровня и со смежными устройствами может осуществляться как по цифровым межмашинным интерфейсам с использованием волоконно-оптических линий связи, так и по проводным физическим связям. В отдельных случаях наряду с МПРЗ могут применяться микроэлектронные устройства.

Микропроцессорные устройства связи с объектом (УСО) по своей функциональности идентичны МПРЗ за исключением реализации функций релейной защиты и записи осциллограмм. УСО применяются в тех случаях, когда имеется необходимость сбора данных от устройств, не оснащенных МПРЗ, либо недостаточно информационных и передаточных функций МПРЗ.

Автоматические выключатели имеют встроенные защиты и применяются для защиты электрооборудования собственных нужд 0,38 кВ, аккумуляторных батарей и сетей постоянного тока 220 В.

Микроэлектронные устройства используются для реализации функций релейной защиты и низовой автоматики в тех случаях, когда применение микропроцессорных устройств невозможно или не целесообразно.

Цифровые регистраторы электрических процессов используются для осциллографирования токов и напряжений в САЭ при применении микроэлектронных устройств защиты.

Измерительные преобразователи обеспечивают преобразование вторичных аналоговых величин в цифровые либо унифицированные аналоговые сигналы и их ретрансляцию на более высокий

уровень системы. Измерительные преобразователи применяются для ретрансляции аналоговых параметров от электротехнического оборудования, не оснащенного устройствами МПРЗ или УСО, либо в случаях, когда МПРЗ и УСО не позволяют обеспечить требуемые характеристики измерения. В частности, измерительные преобразователи применяются для измерения следующих электрических параметров:

- оборудования 220 и 500 кВ;
- генератора;
- синхронизации блока с сетью;
- учета электроэнергии;
- каналов телемеханики.

### *7.3.3. Технические средства СКУ ЭЧ*

Центральные координирующие устройства (ЦКУ) выполняют функции централизованной обработки информации и команд управления, поступающих от устройств релейной защиты, низовой автоматики и измерений, либо от средств контроля и управления. В качестве центральных координирующих устройств (кроме САЭ) используются специализированные программно-технические средства, обеспечивающие возможность обмена данными с устройствами МПРЗ и УСО по цифровым межмашинным интерфейсам. Обмен данными со средствами контроля и управления реализуется также с помощью цифровых межмашинных интерфейсов. Это наряду с применением микропроцессорных устройств нижнего уровня позволяет существенно улучшить технико-экономические и эксплуатационные показатели системы за счет:

- применения цифровых связей и сокращения количества кабелей;
- существенного сокращения вторичного оборудования;
- упрощения схем вторичной коммутации.

В качестве центральных координирующих устройств САЭ используются технические средства типа ТПТС. Технические средства ТПТС осуществляют сбор и обработку текущей дискретной и аналоговой информации и ретрансляцию команд управления по проводным физическим связям.

Шлюз сопряжения применяется для связи систем СКУ ЭЧ с АСУ ТП блока или АЭС. Сервер используется в качестве вспомогательного устройства обработки, хранения и передачи информации.

Панели БПУ, РПУ, ЦЩУ применяются в качестве средств контроля и управления и выполняются в виде конструктивов с мозаичными элементами контроля и управления. Мозаичные пульты и панели (кроме САЭ) оснащаются контроллерами мозаичного щита (КМЩ), обеспечивающими преобразование электрических сигналов контроля и управления в цифровой формат и обратно, а также обмен указанными сигналами с центральными координирующими устройствами по межмашинному интерфейсу.

Рабочие станции (РС) представляют собой микропроцессорные технические средства, предназначенные для формирования команд дистанционного управления и отображения информации посредством мониторов и устройств ввода/вывода информации.

Для обслуживания и проверок программно-технических средств систем РЗ и СКУ ЭЧ предусматриваются соответствующие инструментальные и программные и технические средства.

#### **7.3.4. Функции диагностики ПТС**

ПТС СКУ ЭЧ, реализующие функции оперативного контроля и управления, снабжены функцией самодиагностики, что существенно увеличивает вероятность обнаружения их отказа и позволяет избежать трудоемких проверочных операций при проведении технического обслуживания. Диагностирование ПТС СКУ ЭЧ осуществляется также посредством проверок, выполняемых в рамках работ по периодическому техническому обслуживанию.

При обнаружении неисправности по результатам самодиагностики автоматически выдается сигнализация:

- на верхний уровень оперативного контроля;
- на рабочие станции диагностики и обслуживания;
- по месту установки ПТС при помощи ламп сигнализации, расположенных на шкафах, а также при помощи светодиодных индикаторов, имеющих на лицевой панели.

Под *контролируемым параметром* понимается единица информации, отображаемая на пункте оперативного контроля и управления. Под *объектом управления* понимается единица дистанционно управляемого электротехнического оборудования, воздействие на которую осуществляется с помощью одной команды управления, формируемой оперативным персоналом.

Критерием отказа функции дистанционного управления является:

- невыдача команды дистанционного управления при наличии условий ее формирования;

- выдача ложной команды дистанционного управления при отсутствии условий ее формирования.

Условием формирования команды дистанционного управления является одновременное выполнение следующих условий:

- наличие команды дистанционного управления;
- отсутствие запрета выдачи команды дистанционного управления.

Критерием отказа информационной функции является выдача искаженной (недостоверной) информации без указания факта искажения или отсутствие информации на средствах отображения оперативных пунктов контроля и управления.

### *7.3.5. Обмен информацией с другими подсистемами*

СКУ ЭЧ реализует функции обмена сигналами и командами дистанционного управления:

- с системой верхнего уровня АСУ ТП СВБУ;
- с мозаичными панелями ТС ОДУ (КМЩ);
- со смежными системами (только сигналами).

Обмен сигналами и командами дистанционного управления с СВБУ осуществляется по протоколу ТСР/Р. Обмен сигналами и командами дистанционного управления с мозаичными панелями (КМЩ) осуществляется по протоколу ИЕС 60870-5-101/104. Обмен сигналами со смежными системами осуществляется в следующем объеме:

- с техническими средствами СКУ РО, на которых реализуется автоматика ступенчатого пуска, по проводным физическим связям для обеспечения контроля и индикации в части автоматики ступенчатого пуска АСП;

- с техническими средствами СОТИ СО, по протоколу ИЕС 60870-5-101/104, для передачи сигналов о состоянии оборудования энергоблока системному оператору;

- с техническими средствами диагностики электротехнического оборудования, по протоколу ТСР/Р, для приема вспомогательной диагностической информации с целью ее отображения на РС диагностики и обслуживания.

ПТС СКУ ЭЧ, осуществляющие прием сигналов по цифровым каналам передачи данных, выполняют контроль их нормального функционирования. При выявлении нарушений нормального функционирования цифрового канала передачи данных ПТС формируют



сообщения о недостоверности каждого из сигналов, принимаемых по соответствующему каналу.

ПТС СКУ ЭЧ, осуществляющие прием сигналов по цифровым каналам передачи данных, осуществляют глобальный опрос передающего устройства при инициализации цифрового канала передачи данных:

- после включения любого из устройств в работу;
- рестарта любого из устройств;
- восстановления физической связи после нарушений.

ПТС СКУ ЭЧ, осуществляющие передачу команд дистанционного управления по цифровым каналам передачи данных, осуществляют контроль приема команды принимающим устройством. В случае отсутствия факта приема команды ПТС формируют соответствующее сообщение.

ПТС СКУ ЭЧ реализуют прием сигналов точного времени от СВБУ и их ретрансляцию:

- в микропроцессорные устройства системы, осуществляющие присвоение меток времени;
- в устройства МПРЗ электротехнического оборудования и устройства связи с объектом (УСО) по цифровым каналам передачи данных, используемым для обмена данными и командами дистанционного управления.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите функции и состав ПТК СКУ НЭ.
2. Назовите состав ПТС для ТПТС.
3. Каковы функциональные модули ТПТС-ЕМ?
4. Какова схема ПТК на базе ТПТС-НТ?
5. Перечислите функции ПТК СКУ ЭЧ.
6. Какова схема СКУ ЭЧ для САЭ?

## **Глава 8. ПТК СИСТЕМЫ ВЕРХНЕГО БЛОЧНОГО УРОВНЯ (СВБУ)**

### **8.1. Функции, состав, режимы**

Система верхнего блочного уровня (СВБУ) является подсистемой АСУ ТП и предназначена для централизованного контроля технологических процессов и передачи команд оператора по управлению оборудованием и механизмами систем нормальной эксплуатации (СНЭ) энергоблока, оборудованием и механизмами систем безопасности при отсутствии инициирующих сигналов на автоматический запуск СБ.

Основные цели СВБУ:

- контроль и управление технологическим процессом;
- интеграция всей информации по энергоблоку от всех систем и подсистем АСУ ТП;
- дисплейное управление оборудованием систем нормальной эксплуатации и оборудованием систем безопасности;
- централизованный контроль и представление обобщенной и детализированной информации о состоянии энергоблока, отдельных параметрах технологического процесса и состоянии оборудования;
- контроль состояния барьеров безопасности энергоблока;
- предоставление информации персоналу различных подразделений АЭС;
- формирование сигнализации о нарушениях в работе энергоблока, отдельных систем, отдельного оборудования;
- обмен информацией с подсистемами АСУТП;
- ведение архивов;
- обмен информацией СВБУ с общестанционным уровнем;
- единый подход в организации информационного обеспечения.

Границы системы проходят по выходным разъемам шлюзов подсистем, информация от которых интегрируется в СВБУ. Шлюзы со смежными системами в состав СВБУ не входят.

В СВБУ реализованы информационные, управляющие и вспомогательные функции. К информационным функциям СВБУ относятся:

- контроль текущего состояния ТООУ;
- оперативный анализ состояния ТООУ;
- представление информации;
- регистрация и архивирование.

К управляющим функциям относятся:

- дистанционное управление оборудованием с АРМ СВБУ;
- автоматизированное управление в части задания режимов работы оборудования НЭ, ввода/вывода защит, перевода регуляторов в режим дистанционного управления или авторегулирования, запуска пошаговых программ пуска/останова групп оборудования (групповое, подгрупповое управление).

К вспомогательным функциям относятся:

- оперативный анализ состояния оборудования по отдельным системам;
- программное и операторское управление работой СВБУ;
- самодиагностика;
- контроль и защита от несанкционированного доступа.

Программно-технический комплекс ПТК СВБУ реализуется на основе технических средств, в состав которых входят:

- дисплейные рабочие станции (РС) в составе автоматизированных рабочих мест (АРМ), посредством которых оперативный персонал получает сигнализацию о нарушениях в работе технологического оборудования и оборудования, доступ к измеряемым (контролируемым) и расчетным параметрам и осуществляет ввод управляющих воздействий для дисплейного управления;
- средства обработки, регистрации и архивации поступающей в СВБУ информации (серверные устройства);
- шкафы телекоммуникационные, обеспечивающие подключение к сети СВБУ элементов СВБУ и смежных подсистем нижнего уровня автоматизации АСУ ТП;
- локальная вычислительная сеть верхнего блочного уровня (ЛВС СВБУ) для обмена информацией между компонентами СВБУ, подсистемами АСУ ТП и внешними системами;
- устройство передачи данных для представления информации на общестанционном уровне;
- устройства печати информации.

СВБУ энергоблока имеет следующие режимы функционирования:

- автоматический;
- автоматизированный;
- пуск /останов/рестарт.

В автоматическом режиме выполняется:

• сбор и обработка сигналов от источников информации СВБУ;

• формирование единого астрономического времени на энергоблоке;

• передача данных в аварийный центр (АЦ) АЭС;

• ведение архивов;

• сигнализация о нарушениях в работе энергоблока или его отдельных систем;

• диагностирование работы СВБУ и вывод информации о возникших отказах и/или сбоях в работе СВБУ;

• реализация расчетных функций (например, «Состояние систем безопасности»);

• представление данных в СВСУ и общестанционную сеть.

В автоматизированном режиме выполняется:

• представление данных на экранах мониторов АРМ СВБУ;

• передача команд на управление оборудованием энергоблока;

• передача команд на запуск программно-логического пошагового управления технологическим оборудованием энергоблока;

• передача команд изменения режимов работы регуляторов (ручной, автоматический), задание установок регуляторов;

• работа с сигнализациями;

• выбор операторами необходимой информации;

• работа с архивными данными;

• отображение состояния технологических защит и блокировок (ТЗБ) при наличии соответствующей информации от нижнего уровня АСУТП;

• функции модификации БД, видеокадров и справочной информации;

• диагностирование состояния технологических систем и оборудования (при наличии диагностической информации и соответствующих алгоритмов);

• вывод на печать необходимой информации.

СВБУ обеспечивает следующие технические возможности в части сбора, обработки, хранения, представления и передачи данных:

- прием, обработку, представление, хранение и передачу данных;
- представление данных на неограниченном числе технологических видеокadres не более чем с 200 изменяющимися графическими объектами на одном видеокadre;
- объем базы данных – не менее 200 000 сигналов;
- представление информации на неограниченном числе технологических и диагностических видеокadres;
- глубина архива – не менее 30 сут;
- время задержки в передаче данных от шлюзов подсистем низовой автоматики до мониторов СВБУ не превышает 1 с;
- время задержки в передаче команд дистанционного управления с дисплеев рабочих станций СВБУ в шлюзы ПТК нижнего уровня АСУТП не превышает 1 с;
- цикл изменения данных на экранах РС не превышает 1 с;
- время смены видеокadre мнемосхемы на экранах мониторов не превышает 1,5 с;
- время вывода интерактивного электронного руководства – не более 5 с;
- время формирования оперативного архива – не более 10 с.

Все ПТС СВБУ снабжены функцией самодиагностики, что существенно снижает вероятность необнаружения отказа в них и позволяет избежать трудоемких проверочных операций при проведении технического обслуживания ПТС. Диагностирование средств СВБУ осуществляется также посредством проверок, выполняемых в рамках работ по периодическому техническому обслуживанию. При обнаружении неисправности по результатам самодиагностики соответствующая сигнализация автоматически выдается:

- на рабочие станции диагностики и обслуживания;
- при помощи светодиодных индикаторов, имеющих на фронтальной панели соответствующего ПТС, а также звуковых сигналов посредством предусмотренного для их выдачи звукового оборудования.

Степень детализации и место представления диагностической информации по отказам устройств зависит от типа отказавшего устройства. Функция самодиагностики ПТС СВБУ проверяется в процессе автономных, комплексных и приемо-сдаточных испытаний оборудования систем СВБУ.

## 8.2. Схемные решения

В разных проектах АСУ ТП АЭС схемные решения при построении ПТК СВБУ могут быть разные и строятся на основе двух типов – в виде доменной или линейной структур.

На рис. 8.1 показана доменная структура СВБУ. ЛВС СВБУ в данной структуре представляет собой единое логическое пространство для всех абонентов СВБУ. С целью уменьшения нагрузки сеть СВБУ разбита на домены, объединяющие функционально связанных по реализуемым функциям абонентов:

- информационно-управляющий домен ЛВС;
- информационный домен ЛВС;
- домен межсерверного обмена;
- домен шлюзов систем нормальной эксплуатации;
- домен шлюзов систем безопасности СБ1;
- домен шлюзов систем безопасности СБ2.

Домены реализованы также на основе коммутаторов, что обеспечивает монополярные каналы связи 100 Мбит/с для всех смежных подсистем АСУ ТП. Для обеспечения возможности резервирования все домены ЛВС СВБУ включают в себя две подсети – основную сеть и резервную. Обе подсети равноправны и идентичны друг другу.

Линейная структура СВБУ строится с применением локальной вычислительной сети в виде виртуального кольца. На рис. 8.2 приведена упрощенная схема СВБУ с ЛВС на основе шин в виде виртуального кольца, где все операторские терминалы (ОТ) и серверы подключены к одной терминальной шине, а «общение» серверов со всей низовой автоматикой СУЗ, УСБ и УСНЭ осуществляется по такой же схеме через блочную шину. На рис. 8.3 приведена линейная структура СВБУ с использованием коммутаторов в ЛВС. Здесь выделен коммутатор информационно-управляющего контура, к которому подключены все основные рабочие терминалы операторов с функциями контроля и управления и коммутатор информационного контура с подключением оперативных терминалов, не требующих функций управления.

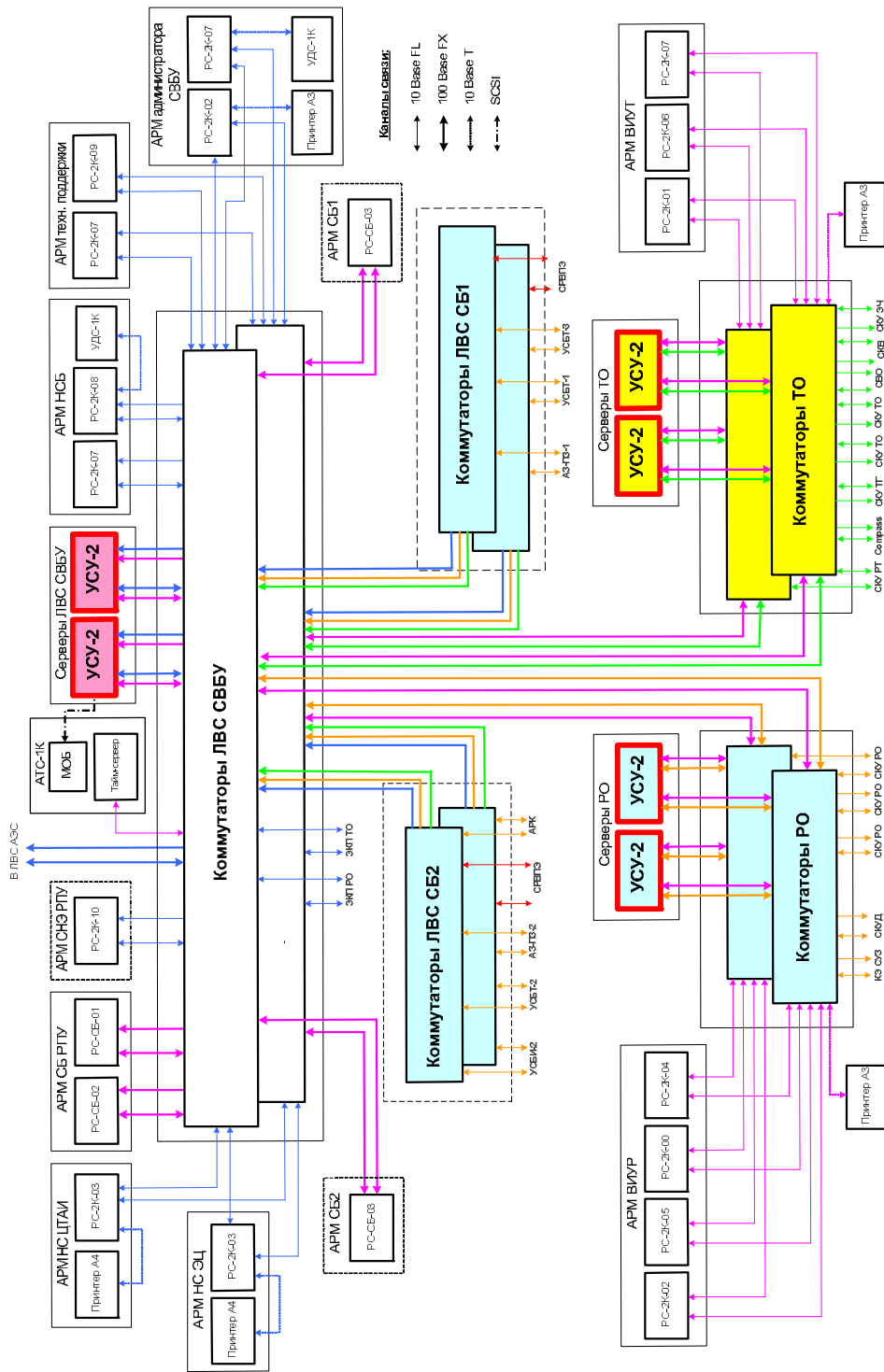


Рис. 8.1. Доменная структура СВБУ

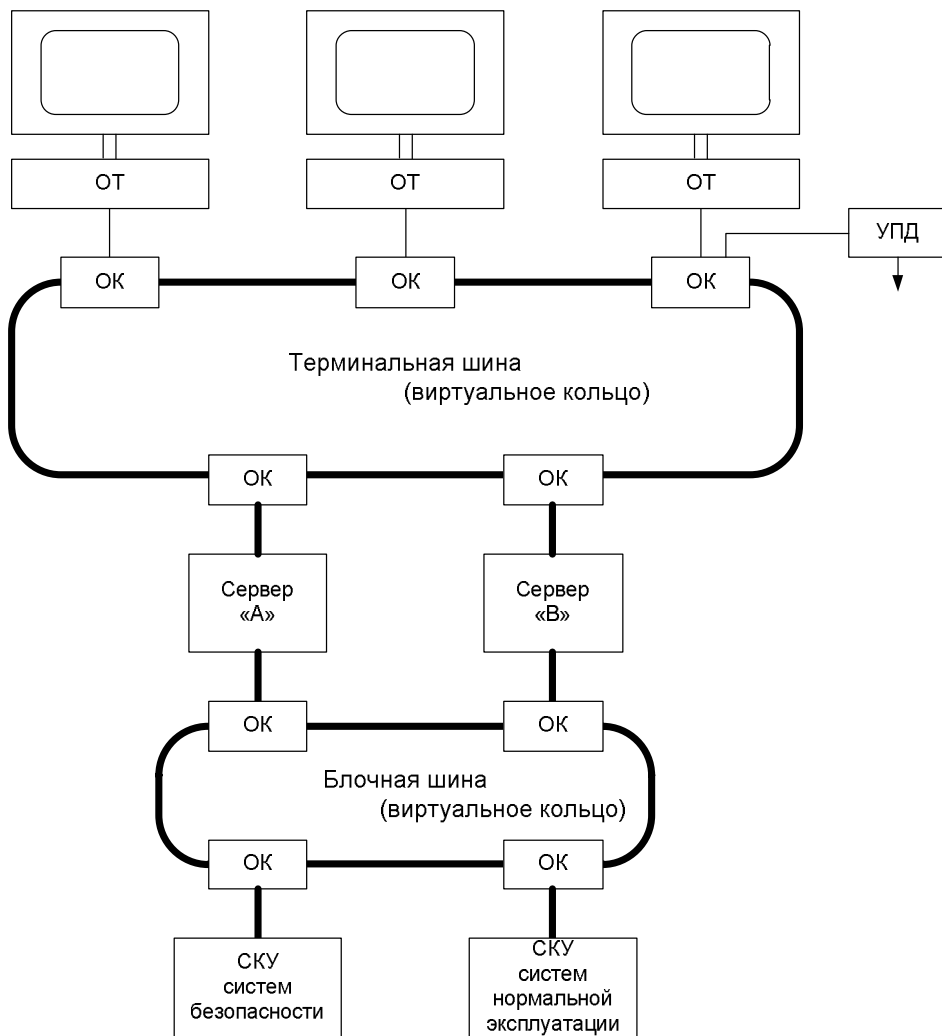


Рис. 8.2. Упрощенная схема СВБУ с ЛВС на основе шин в виде виртуального кольца:  
 ОТ – операторские терминалы БПУ/РПУ;  
 ОК – оптический коммутатор;  
 УПД – устройство передачи данных



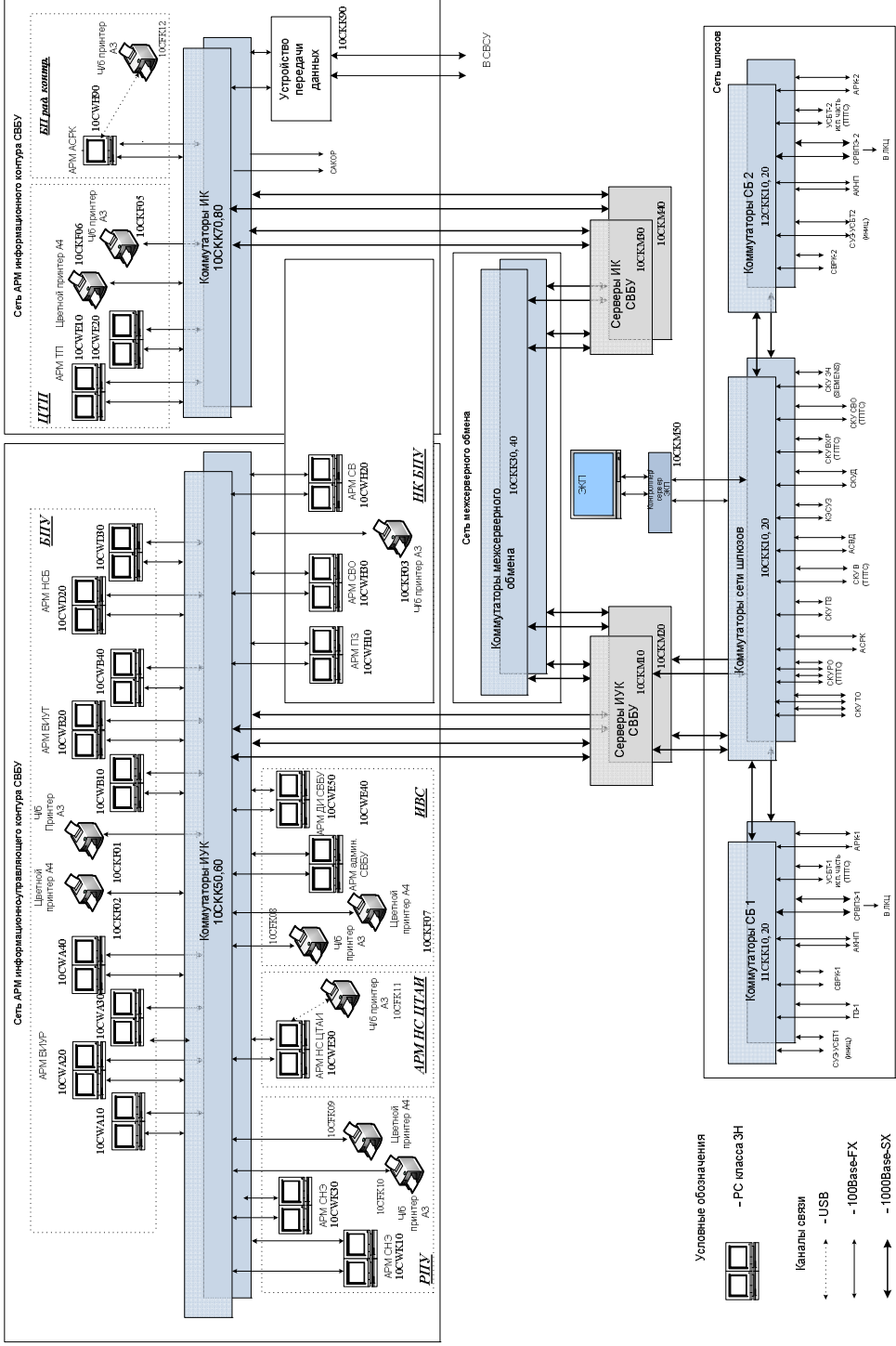


Рис. 8.3. Линейная структура СВБУ

### 8.3. Функционирование ПТС

#### *Локальная вычислительная сеть*

Локальные вычислительные сети СВБУ реализованы на основе стандарта IEEE 802.3 как наиболее развитого и поддерживаемого всеми фирмами-производителями. Для использования потенциальных возможностей по скорости обмена данными, обеспечиваемых стандартом IEEE 802.3, а также для возможности дальнейшей модернизации и развития сети, основные концентрирующие узлы сети реализованы на основе коммутаторов. Такое решение значительно снижает взаимовлияние информационных потоков между различными абонентами ЛВС, что позволяет осуществлять работу серверов в сети и обмен данными между коммутаторами на скорости от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с и допускает дальнейшую модернизацию сети путем перевода на скорость 1 Гбит/с всех абонентов и передачи данных на расстояние до 2000 м при применении оптоволоконных линий связи.

Все абоненты разделяются на две группы: основные и вспомогательные абоненты. К *основным абонентам* относятся шлюзы, серверы, рабочие станции. К *вспомогательным абонентам* относятся сетевое оборудование, блоки мониторинга состояния оборудования, источники бесперебойного питания со встроенным SNMP протоколом, а также принтеры. Все основные абоненты подключены одновременно к основной и резервной сети. Вспомогательные абоненты подключаются только к одной сети. Конструктивно элементы сети размещаются в телекоммуникационных шкафах, рабочих станциях и распределительных коробках.

Локальная сеть СВБУ отвечает следующим основным техническим требованиям:

- сеть дублированная;
- сеть состоит из двух независимых сегментов – сегмента приема данных от шлюзов и сегмента рабочих станций. Обмен информацией серверов СВБУ с подсистемами АСУ ТП энергоблока происходит только через шлюзовые устройства или замещающие их компоненты с полным разграничением ЛВС и сети подсистемы;
- допустимое расстояние между абонентами в пределах помещений энергоблока, в которых расположены отдельные ПТК – не более 1000 м;
- сбои или отказы отдельных абонентов не влияют на передачу сообщений между другими абонентами;

- единичные отказы оборудования в локальных сетях не приводят к потере информации и связи между абонентами сети, а также внешними системами АСУ ТП;
- сеть СВБУ обеспечивает связь с СВСУ и общестанционной локальной вычислительной сетью (протоколы обмена уточняются на стадии проектирования системы) через шлюзовые устройства;
- работа пользователей СВСУ не влияет на работу СВБУ;
- коммутаторы локальной сети СВБУ являются модульными, промышленного исполнения с развитой поддержкой виртуальных сетей;
- потери в локальной сети СВБУ не превышают уровень 0,1 % на 100 000 пакетах;
- гальваническая развязка при подключении удаленных абонентов ЛВС обеспечена с помощью оптоволоконных линий связи;
- данные в ЛВС СВБУ защищены от несанкционированного доступа;
- обеспечена возможность расширения путем подключения новых сегментов, аналогичных по интерфейсам;
- кабель ЛВС СВБУ проложен в отдельных кабельных каналах, лотках, коробах.

### *Шлюзы*

СВБУ обеспечивает сбор информации через дублированные шлюзы. Шлюз входит в подсистему, информация из которой интегрирована в СВБУ. Шлюзы обмена информацией при решении своих задач обеспечивают:

- использование унифицированного стандартизованного интерфейса для подключения к СВБУ других подсистем АСУ ТП как по техническим, так и по программным средствам;
- передачу от СВБУ в подсистемы АСУ ТП сигналов для установки точного (единого) времени;
- передачу в СВБУ сигналов с присвоенными метками времени и признаками достоверности;
- передачу данных из шлюзов по событийно циклической процедуре (безусловная передача по изменению и циклическая с признаком передачи по циклу);
- при необходимости шлюзы (за исключением шлюза устройства передачи данных с СВСУ) обеспечивают передачу данных от СВБУ в свою подсистему;
- независимость собственных сетей подсистем АСУ ТП и сети СВБУ;

- максимальный размер потока передаваемых данных между шлюзами и серверами СВБУ с учетом параметров информационной «лавины» – 10000 сигналов в секунду от всех подсистем.

Общий алгоритм функционирования шлюзов (упрощенный) состоит в серии шагов, выполняемых циклически:

- опрос смежных систем АСУ ТП с целью получения от них информации перечисленных выше типов, запись ее в буферы обмена;
- прием от серверов запросов на получение информации;
- передача информации серверам, от которых получены запросы;
- синхронизация времени сообщений, коррекция собственных часов и передача синхронизирующих время сообщений в ПТК смежных систем.

Шлюзы отвечают на запросы тех серверов, от которых поступила команда на инициализацию обменов. Данная команда передает в шлюз список параметров, необходимых для работы конкретного сервера. В качестве шлюзов используются компьютеры промышленного исполнения.

Функционирование шлюза включает два основных режима:

- инициализация;
- базовый режим.

Режим инициализации запускается автоматически после включения питания шлюза. Шлюз производит прием, обработку (распаковка, сортировка, анализ на изменение значения) данных и запись их в базу данных. База данных шлюза представляет собой набор массивов текущих значений и архивных кольцевых буферов. Данные от смежных ПТК поступают параллельно в два шлюза: основной и резервный. Объем и состав сигналов для основного и резервного шлюзов идентичны. Обработка поступающей информации в основном и резервном шлюзах осуществляется параллельно.

Передача данных от шлюза серверу осуществляется в ответ на запрос данных от сервера. В ответ на первый после инициализации запрос данных шлюз передает значения всех сигналов. Элемент данных по каждому сигналу содержит его значение и метку времени в секундах и миллисекундах. В ответ на дальнейшие запросы данных шлюз передает сигналы, значения которых изменились после предыдущей передачи. Шлюз просматривает архивные кольцевые буфера и, если они не пусты, данные из них передаются серверу для архивирования. Инициализация обмена данными сервера с резервным шлюзом происходит после установления связи (открытия каналов приема/передачи данных) аналогично инициализации обмена данными с основным шлюзом при возникновении условий перехода

на работу с резервным шлюзом. После чего резервный шлюз готов к передаче данных серверу по его запросу. Взаимодействие шлюза с резервным сервером происходит аналогично и параллельно с взаимодействием с основным сервером.

### *Рабочие станции*

Все рабочие станции СВБУ являются однотипными по конструкции. Отказ одного из дисплеев не приводит к отказу всей рабочей станции. При разработке рабочих станций, входящих в БПУ и РПУ, обеспечена взаимозаменяемость дисплейной части РС, т.е. возможность вывода любой предусматриваемой для представления информации на любой монитор любой РС. На рабочих станциях не функционирует никакое программное обеспечение, не входящее в состав СВБУ. Предусматривается возможность безударного ввода в эксплуатацию рабочих станций и вывод их из эксплуатации. РС на соответствующих постах управления выполняют следующие функции:

- получение событийной и циклической информации о состоянии ТОУ от сервера;
- передача серверу запросов о состоянии параметров, информация о которых приходит от систем нижнего уровня по запросам;
- обработка информации;
- представление информации о состоянии ТОУ;
- прием от сервера синхронизирующих сообщений, коррекция собственных часов.

Рабочие станции панелей систем безопасности (СБ1 и СБ2) СВБУ выполняют следующие функции:

- сбор данных от следующих подсистем АСУТП:
  - АРМ СБ1 БПУ, РПУ:
    - 1) СУЗ-УСБИ1 (иницирующая часть);
    - 2) УСБТ-1 (исполнительная часть);
  - АРМ СБ2 БПУ, РПУ:
    - 1) СУЗ-УСБИ2 (иницирующая часть);
    - 2) УСБТ-2 (исполнительная часть);
- представление информации в части технологических форматов по СБ;
- сигнализации в объеме принимаемых данных;
- оперативная помощь по работе с системой и функциями.

Функционирование РС на каждом из постов управления АСУТП включает два основных режима:

- инициализация;
- базовый режим.

Режим инициализации запускается автоматически после включения питания РС и авторизации пользователя. После завершения режима инициализации РС автоматически переходит в базовый режим. В базовом режиме РС получает от сервера только изменения, произошедшие в БД реального времени.

### *Серверы*

Серверная часть СВБУ реализована с учетом следующих требований:

- серверы обеспечивают одновременное обслуживание всех подключенных к ним рабочих станций;
- в каждый момент времени в каждом сервере содержится вся без исключения информация, требуемая для оперативной работы персонала, относящаяся к обслуживаемой данным сервером части СВБУ;
- серверы обеспечивают одновременный обмен информацией с несколькими шлюзами, в том числе резервированными;
- серверы основных подсистем СВБУ резервируются (включая технические и программные средства, базы данных);
- обеспечена идентичность и непрерывность текущих архивов в резервированных средствах, которая не нарушается при переключениях серверов (автоматических или ручных принудительных);
- на серверах не функционирует программное обеспечение, не относящееся к работе СВБУ.

Серверы подсистем СВБУ выполняют следующий однотипный набор задач:

- прием и обработка аналоговых и дискретных сигналов от шлюзовых процессов и их занесение в локальную базу данных сервера;
- ведение локальной базы данных;
- ведение архивов по своим технологическим подсистемам и задачам;
- подготовка и передача рабочим станциям требуемой информации;
- прием и обработка диагностической информации, получаемой от элементов СВБУ и от шлюзовых процессов, связанной с работой внешних к СВБУ систем, к которым данные шлюзы подключены;
- решение задач диагностики технологических процессов в объеме обслуживаемого сервером набора технологических подсистем;
- хранение инструкций, технологической и другой документации в машинно-ориентированном виде;
- решение общесистемных задач СВБУ, возложенных на данный сервер (например, расчет ТЭП в сервере неоперативного контура).

Алгоритм работы каждого из дублированных серверов зависит от их статуса (основной или резервный). Сервер, являющийся в данный момент основным, принимает, обрабатывает и накапливает информацию от технологического объекта управления, а также копирует ее на резервный сервер, создавая таким образом на резервном сервере точную копию состояния ТОО. Кроме того, основной сервер передает необходимую информацию на РС. Сервер, являющийся в данный момент резервным, находится в горячем резерве и контролирует состояние основного сервера. При невыполнении условий, говорящих о полной работоспособности основного сервера, резервный сервер переходит в основной режим.

Процесс функционирования сервера включает два основных режима:

- инициализация;
- базовый режим.

Режим инициализации запускается автоматически после включения питания сервера и авторизации пользователя. После завершения режима инициализации сервер автоматически переходит в базовый режим. В этом режиме сервер выполняет определенную последовательность действий по приему, обработке входной информации, подготовке и отправке выходной информации. Сервер принимает запросы рабочих станций на установление с ними связи. При получении такого запроса сервер открывает каналы чтения и записи с рабочей станцией. Сервер контролирует наличие связи с рабочей станцией и, в случае разрыва связи, закрывает каналы. Сервер контролирует наличие связи со шлюзами и время ответа на запрос информации. При разрыве связи или превышении времени ответа сервер принимает решение о переходе на резерв в соответствии с алгоритмом реконфигурации. Сервер контролирует поступление информации от шлюзов и производит ее обработку. Сервер контролирует поступление информации от рабочих станций и производит ее обработку. Информация, поступающая от рабочих станций, бывает следующих типов:

- запрос информации;
- диагностические сообщения.

Сервер записывает в архив изменения дискретных сигналов и значения аналоговых по определенному алгоритму.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите функции ПТК СВБУ.
2. Как выглядит линейная схема ПТК?
3. Как выполняется функционирование основных ПТК СВБУ?

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

|        |   |
|--------|---|
| АЗ-ПЗ  | – аварийная и предупредительная защита реактора                   |
| АЗТП   | – аппаратура защиты по технологическим параметрам                 |
| АКНП   | – аппаратура контроля нейтронного потока                          |
| АЛОС   | – аппаратура логической обработки сигналов                        |
| АОП    | – аппаратура отображения и протоколирования                       |
| АПС    | – аппаратура представления и формирования сигнализации            |
| АРС    | – аппаратура размножения сигналов                                 |
| АРМСБ  | – автоматизированное рабочее место систем безопасности            |
| АРОМ   | – аппаратура разгрузки и ограничения мощности                     |
| АСУТП  | – автоматизированная система управления технологическим процессом |
| АФСЗ   | – аппаратура формирования сигналов защит                          |
| БД     | – блок детектирования   |
| БН     | – реактор на быстрых нейтронах                                    |
| БПУ    | – блочный пункт управления  |
| БШС    | – блок шлюза сопряжения   |
| ВВЭР   | – водоводяной энергетический реактор                              |
| КЭ СУЗ | – комплекс электрооборудования СУЗ                                |
| КТСК   | – комплект технических средств контроля                           |
| МПРЗ   | – микропроцессор релейных защит                                   |
| НП     | – нормирующий преобразователь                                     |
| ООП    | – отказ по общей причине  |
| ОР     | – органы регулирования СУЗ реактора                               |
| ПБ     | – панель безопасности   |
| ПЗ     | – предупредительная защита  |
| ПО     | – программное обеспечение   |
| ПП     | – первопричина  |
| ППП    | – панель прерывателей питания                                     |
| ПС     | – предупредительная сигнализация                                  |
| ПС     | – приборная стойка  |
| ПТК    | – программно-технический комплекс                                 |
| ПТК ЛЗ | – программно-технический комплекс локальных защит                 |
| ПТК ПУ | – программно-технический комплекс приоритетного управления        |
| ПТС    | – программно-технические средства                                 |
| РПУ    | – резервный пункт управления                                      |
| СВБУ   | – система верхнего блочного уровня                                |
| СГИУ   | – система группового и индивидуального управления                 |
| СИАЗ   | – система индустриальной антисейсмической защиты                  |
| СКУД   | – система контроля, управления и диагностики реакторной установки |
| СКУ НЭ | – система контроля и управления нормальной эксплуатацией          |
| СПОТ   | – система пассивного отвода тепла                                 |
| СУЗ    | – система управления и защиты реактора                            |



|         |   |
|---------|---|
| ТОУ     | – технологический объект управления                     |
| ТС      | – технические средства                                  |
| ТПТС-ЕМ | – типовые программно-технические средства типа ЕМ       |
| УНО     | – устройство накопления и обработки                     |
| УПЗ     | – ускоренная предупредительная защита                   |
| УПС     | – устройство передачи сообщений                         |
| УСБ     | – управляющая система безопасности                      |
| УСБИ    | – управляющая система безопасности иницирующая          |
| УСБТ    | – управляющая система безопасности технологическая      |
| УСО     | – устройство связи с объектом                           |
| УСУ     | – устройство серверное унифицированное                  |
| ЦКУ     | – центральное координирующее устройство                 |
| ШАК     | – шкаф аварийных команд                                 |
| ШП      | – шкаф питания  |
| ШПУК    | – шкаф питания, управления и контроля                   |
| ЭГСР    | – электрогидравлическая система регулирования (турбины) |
| SW      | – оптический коммутатор                                 |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверков В.В. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС. М.: НИЯУ МИФИ, 2014.
2. Зверков В.В., Боженков О.Л. Некоторые итоги разработки новых цифровых АСУ ТП АЭС // Электрические станции. 2016. № 3.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-15. 2015.
4. АО «ВНИИАЭС». Программно-технический комплекс АЗ-ПЗ, УСБИ (ПТК АЗ-ПЗ, УСБИ). Нововоронежская АЭС-2. Формуляр 59085090.23533.041.ФО. 2015.
5. АО «ВНИИАЭС». Программно-технический комплекс АЗ-ПЗ, УСБИ (ПТК АЗ-ПЗ, УСБИ). Ленинградская АЭС-2. Формуляр 59085090.23533.042.ФО. 2015.
6. ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ». Аппаратура формирования сигналов защит АФСЗ-02Р. Технические условия. РУНК.501319.091ТУ. 2013.

**Валерий Викторович ЗВЕРКОВ**

**ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ  
АСУТП АЭС**

**Функциональные и структурные решения**

*Учебное пособие*

Редактор Е.Е. Шумакова

Подписано в печать 20.04.2018. Формат 70×100 1/16

Уч.-изд. л. 8,25. Печ. л. 8,25. Тираж 100 экз.

Изд. № 018-1. Заказ №

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Типография НИЯУ МИФИ.

115409, Москва, Каширское ш., 31

