УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Система управления и защиты реактора РБМК-1000
Часть 1.
НП-УП-01.05.0211.01

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	**Подпись**	**Дата**	**Ф.И.О.**
Заместитель главного инженера по научной работе - начальник ССБЭ			В.А. Чугунов
Начальник РЦ			Д.В. Тушев
Начальник ОЯБ			С.В. Митичкин
Начальник ЦТАИ			В.А. Комаров

ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОЛЬКО ПРИ ОБУЧЕНИИ

Неконтролируемая информация, содержащаяся в этих материалах, может быть использована ТОЛЬКО ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ. Ни в коем случае нельзя понимать, что материалы, содержащиеся здесь, могут заменить процедуры предприятия или стандартные эксплуатационные процедуры. Когда приводятся копии стандартных процедур, они даются как пример и только для информации, а для реального использования необходимо получить последние версии этого материала. Если у вас есть какие-либо вопросы, свяжитесь с вашим руководителем.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ---------- 9

1.1 Принцип построения систем управления ----------9

1.2 Назначение и структурная схема системы управления и защиты реактора РБМК-1000 ---------- 10

1.3 Принципы построения СУЗ реактора РБМК-1000 ---------- 13
1.3.1 Обеспечение надёжности и безопасности---------- 13
1.3.2 Обеспечение выполнения функций СУЗ ---------- 14
1.3.3 Обеспечение критериев надёжности при отказах ---------- 14

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЗ----------15

2.1 Документы, определяющие основные технические характеристики ---------- 15

2.2 Основные технические характеристики СУЗ---------- 15

2.3 Контроль и регистрация нейтронного потока---------- 15

2.4 Контроль и поддержание заданного уровня мощности реактора ---------- 16

2.5 Контроль скорости увеличения мощности реактора ---------- 17

2.6 Обеспечение перекрытия диапазонов измерения измерительными каналами СУЗ ---------- 18

2.7 Обеспечение надёжности автоматического регулирования---------- 19

2.8 Ручное управление, ограничения и блокировки ---------- 19

2.9 Возможности воздействия на реактивность реактора ---------- 20

2.10 Технические характеристики исполнительных механизмов---------- 20
2.10.1 Скорость перемещения стержней СУЗ---------- 20
2.10.2 Величина хода стержней СУЗ и положения концевых выключателей сервоприводов---------- 21
2.10.3 Питание электродвигателей исполнительных механизмов ---------- 21
2.10.4 Питание сельсинов - указателей положения стержней ---------- 21
2.10.5 Питание электромагнитных муфт СП СУЗ ---------- 21
2.10.6 Обеспечение ядерной безопасности при полном обесточении СУЗ---------- 22

2.11 Автоматические защиты реактора при нарушениях режимов эксплуатации---------- 22
2.11.1 Режим БАЗ ---------- 22
2.11.2 Режим АЗ-5---------- 23

2.11.3 Аварийный останов реактора обесточением муфт сервоприводов ---- 23
2.11.4 Режим АЗ-2 ---- 24
2.11.5 Режим АЗ-1 ---- 24
2.11.6 Управляемое аварийное снижение мощности реактора ---- 24
2.11.7 Подавление локальных всплесков мощности ---- 24
2.11.8 Динамические характеристики каналов формирования аварийных защит ---- 25

2.12 Допустимые эксплуатационные пределы ---- 25

3. СОСТАВ И РАЗМЕЩЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ СУЗ ---- 26

3.1 Исполнительные механизмы - сервоприводы СУЗ ---- 26

3.2 Подвески боковых ионизационных камер ---- 26

3.3 Подвески импульсных камер деления ---- 28

3.4 Внутризонные датчики системы ЛАР-ЛАЗ ---- 28

3.5 Оборудование, размещённое в электрощитовой СУЗ (пом.1004/1). ---- 28

3.6 Оборудование СУЗ, размещённое на БЩУ-Н ---- 30

3.7 Оборудование СУЗ, размещённое на БЩУ-О ---- 30

3.8 Оборудование СУЗ, размещённое на РПУ ---- 31

4. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ СУЗ ---- 32

4.1 Реакторные измерения ---- 32

4.2 Схема измерения скорости счета ---- 39
4.2.1 Состав, назначение ---- 39
4.2.2 Подвеска КНТ-31 ---- 39
4.2.3 Импульсная камера деления КНТ-31 ---- 41
4.2.4 Блок питания БП.30М ---- 42
4.2.5 Прибор ИСС.3М ---- 43

4.3 Схема измерения нейтронной мощности и реактивности ---- 45
4.3.1 Состав, назначение ---- 45
4.3.2 Цифровой вычислитель реактивности ЦВР-9 ---- 46
4.3.3 Ионизационная камера КНК-53М ---- 49

4.4 Измерительная часть аварийной защиты реактора по уменьшению периода нарастания мощности в пусковом диапазоне (АЗС) ---- 50
4.4.1 Состав, назначение ---- 50
4.4.2 Пусковая ионизационная камера КНК-56 ---- 53
4.4.3 Усилитель защиты по скорости УЗС.13 ---- 54

4.5 Измерительная часть аварийной защиты реактора по уменьшению периода нарастания мощности в рабочем диапазоне (АЗСР) ---- 58
4.5.1 Состав, назначение ---- 58
4.5.2 Блок питания БП.38 ---- 59
4.5.3 Рабочая ионизационная камера КНК-57 ---- 60

4.6 Измерительная часть АРМ и АЗММ ---- 61
4.6.1 Состав, назначение ---- 61
4.6.2 Корректор тока КрТ.5 ---- 63
4.6.3 Блок питания БП.39 ---- 64
4.6.4 Усилитель защиты по мощности УЗМ.11 ---- 65
4.6.5 Усилитель сигнала отклонения УСО.10 ---- 67
4.6.6 Усилитель суммирующий УСМ.12 ---- 71
4.6.7 Блок триггеров БТ.37 ---- 74
4.6.8 Задатчик мощности ЗдМ.5 ---- 76

4.7 Измерительная часть 1,2 АР-АЗМ ---- 79
4.7.1 Состав, назначение ---- 79
4.7.2 Блок синхронного перемещения ---- 83
4.7.3 Корректор уставок КрУ.4 ---- 86
4.7.4 Схема переключения диапазонов ---- 88

4.8 Измерительная часть ЛАР-ЛАЗ ---- 88
4.8.1 Состав, назначение ---- 88
4.8.2 Детектор КТВ-17 ---- 92
4.8.3 Блок питания БП.119 ---- 93
4.8.4 Блок резисторов входных сигналов ---- 94
4.8.5 Корректор тока камер ---- 95
4.8.6 Усилитель защиты по мощности ---- 97
4.8.7 Задатчики мощности ЛАР-ЛАЗ ---- 98
4.8.8 Блок синхронного перемещения (БСП ЛАР) ---- 99
4.8.9 Корректор КрУ.7 ---- 100
4.8.10 Усилитель сигнала отклонения (УСО) ---- 101
4.8.11 Триггеры Тг ЛАР (зонные и суммирующие). ---- 104
4.8.12 Пульт контроля ---- 108

Список рисунков.

Рис. 1-1 Структурная схема САУ ... 10
Рис. 1-2 Структурная схема СУЗ реактора РБМК-1000 ... 12
Рис. 2-1 Диапазоны работы измерительных каналов СУЗ реактора РБМК-1000. ... 19
Рис. 4-1 Схема образования тока в ионизационной камере: ... 33
Рис. 4-2 Вольтамперные характеристики ионизационной камеры для двух значений плотности потока нейтронов ($\varphi_2 > \varphi_1$) ... 35
Рис. 4-3 Схема компенсированной ионизационной камеры ... 35
Рис. 4-4 Функциональная схема канала ИСС ... 40
Рис. 4-5 Структурная схема блока питания БП.30М ... 43
Рис. 4-6 Функциональная схема прибора ИСС.3М ... 45
Рис. 4-7 Функциональная схема измерения средней мощности и реактивности ... 47
Рис. 4-8 Структурная схема измерительного канала АЗС ... 52
Рис. 4-9 Функциональная схема прибора УЗС.13 и логарифмического усилителя ... 55
Рис. 4-10 Структурная схема измерительного канала АЗСР ... 59
Рис. 4-11 Структурная схема БП.38 ... 60
Рис. 4-12 Структурная схема измерительной части АРМ-АЗММ ... 62
Рис. 4-13 Структурная схема прибора КрТ.5 ... 64
Рис. 4-14 Структурная схема БП.39 ... 64
Рис. 4-15 Структурная схема прибора УЗМ.11 ... 66
Рис. 4-16 Структурная схема прибора УСО.10 ... 68
Рис. 4-17 Выходная характеристика УСО.10 ... 71

Рис. 4-18 Блок-схема прибора УСМ.12 72
Рис. 4-19 Выходная характеристика прибора УСМ.12 73
Рис. 4-20 Блок-схема двух смежных каналов Бт.37 75
Рис. 4-21 Структурная схема прибора ЗдМ.5 76
Рис. 4-22 Структурная схема измерительной части 1АР-АЗМ 81
Рис. 4-23 Структурная схема прибора БСП.36 85
Рис. 4-24 Функциональная схема прибора КрУ.4 86
Рис. 4-25 Структурная схема измерительной части ЛАР-ЛАЗ 91
Рис. 4-26 Функциональная схема КрТ ЛАР-ЛАЗ и клеммника входных сигналов одной зоны ЛАР-ЛАЗ 94
Рис. 4-27 Функциональная схема КрТ ЛАР-ЛАЗ 96
Рис. 4-28 Структурная схема БСП 100
Рис. 4-29 Структурная схема УСО ЛАР 103
Рис. 4-30 Функциональная схема триггера Тг 106

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Принцип построения систем управления

Общность и единство процессов управления и связи в машинах, организмах и обществе изучаются общей наукой об управлении - кибернетикой. Основные ее принципы были впервые сформулированы американским ученым Норбертом Винером. Использование этих принципов позволяет построить различные системы управления: технические, информационные, хозяйственные, учебные и др. Рассмотрим основные принципы построения систем управления.

В кибернетике под ***системой управления*** понимают совокупность таких элементов, как объект управления, измерительные и вычислительно-управляющие устройства, операторы (люди), связанные между собой цепью управления. Если человек исключен из контура управления, то мы имеем дело с ***системами автоматического управления*** (САУ). Если системы содержат в качестве управляющих устройств ЭВМ, то они называются ***автоматизированными*** (АСУ).

Все сведения о системе управления в процессе ее работы называют ***информацией***. Объем информации в системе управления предопределяет степень ее автоматизации, например в АСУ объем информации настолько велик, что для ее обработки требуется использование ЭВМ, так как человек не в состоянии производить ее обработку с необходимой скоростью.

Процесс передачи информации в системе называется ***связью***. Если информация передается от управляющего устройства объекту, связь называется ***прямой***, а от объекта управляющему устройству - ***обратной***. Если процесс управления осуществляется без обратной связи, система называется ***разомкнутой***, при наличии обратной связи - ***замкнутой***. Наибольшее распространение получили системы с обратной связью (Рис. 1-1)

Информация в таких системах передается с помощью непрерывно изменяющихся сигналов. Системы, в которых сигналы изменяются непрерывно во времени, называют ***аналоговыми***. На вход системы подается сигнал U(t), по которому с помощью управляющего устройства изменяется выходной регулируемый параметр Y(t). В управляющем устройстве при подаче сигнала ошибки E(t) вырабатывается сигнал V(t), который подается на вход объекта управления. Разность между входным задающим сигналом U(t) и сигналом обратной связи $U_{oc}(t)$ называют ***ошибкой.***

Обратная связь называется ***положительной,*** если ее сигнал $U_{oc}(t)$ усиливает действие входного сигнала U(t).

Обратная связь называется ***отрицательной***, если ее сигнал ослабляет действие входного сигнала, т. е. уменьшает значение ошибки E(t). Как правило, все САУ имеют отрицательную обратную связь.

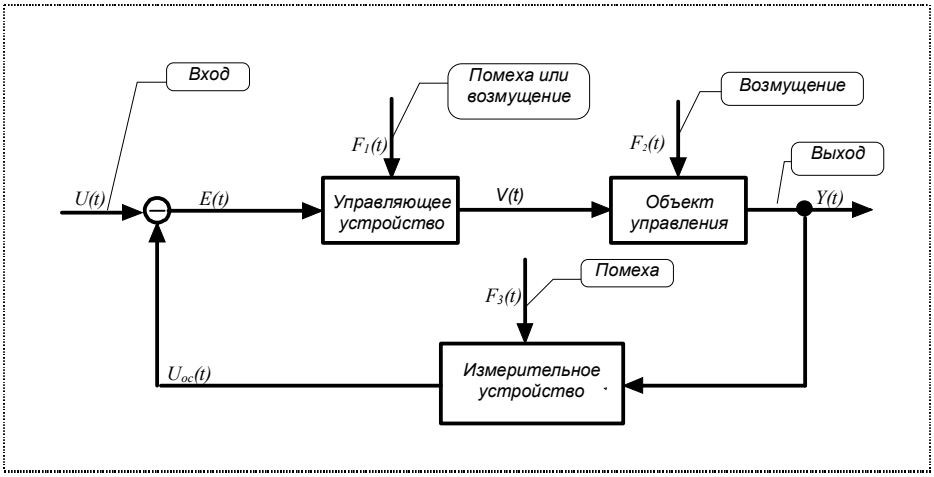

Рис. 1-1 Структурная схема САУ

Если U(t) неизменно во времени, САУ называют ***стабилизаторами***, если U(t) изменяется по заданной программе - ***системой с программным управлением***, а если U(t) изменяется по произвольному закону - ***следящими системами***.

На реальные системы управления в процессе их работы действуют различные помехи и возмущения. Если возмущения приходят снаружи данного контура управления, то их называют ***внешними***, если возникают внутри системы - ***внутренними***.

Системы управления должны обладать помехоустойчивостью и надежностью. Способность системы управления выполнять свои функции в условиях помех называют ***помехоустойчивостью***. Свойства системы выполнять заданные функции в течение определенного промежутка времени называют ***надежностью***.

1.2 Назначение и структурная схема системы управления и защиты реактора РБМК-1000

Регулирование реактивности, мощности реактора осуществляется с помощью системы управления и защиты (СУЗ). Система управления и защиты реактора предназначена для оперативного контроля за ходом цепной реакции деления в активной зоне реактора и управления этим процессом в следующих режимах работы реактора:

- первоначальная загрузка;
- пуск реактора из подкритического состояния;
- вывод реактора на мощность;
- работа в энергетическом диапазоне (изменение и/или поддержание заданного уровня мощности);
- регламентный или аварийный останов реактора;
- остановленный реактор.

СУЗ должна исключать возможность неконтролируемого развития цепной реакции в активной зоне или распространения за установленные проектом границы радиоактивности во всех эксплуатационных режимах и аварийных ситуациях, которые определены в ОПБ-88, ПБЯ РУ АС - 89, «Технологическом регламенте по эксплуатации 3 энергоблока Чернобыльской АЭС с реактором РБМК-1000», 1Э-С-II .

Назначением любой системы регулирования является автоматическое поддержание регулируемого параметра в заданных пределах. В данном случае объектом регулирования является ядерный реактор, регулируемым параметром - нейтронный поток, пропорциональный мощности реактора. Регулирующим органом является стержень, содержащий поглощающий нейтроны материалы и воздействующий на нейтронный поток реактора.

СУЗ реактора РБМК-1000 является следящей, замкнутой. Упрощенная структурная схема СУЗ представлена на Рис. 1-2.

В качестве датчиков регулируемого параметра (мощности реактора) используются нейтронные датчики, вырабатывающие сигнал, пропорциональный нейтронному потоку. Этот сигнал сравнивается с сигналом заданного уровня мощности реактора в сравнивающем устройстве ***измерительной части СУЗ***, в котором вырабатывается сигнал ошибки между реальной и заданной мощностью. Сигнал ошибки поступает в ***схему управления исполнительной частью***, которая формирует сигнал на перемещение регулирующих органов (стержней-поглотителей нейтронов) в активной зоне реактора таким образом, чтобы уменьшить значение ошибки регулируемой мощности.

Для передачи команд оператора по управлению стержнями в исполнительную часть, для обеспечения необходимого алгоритма работы авторегулятора, а также для формирования сигналов аварийной защиты реактора по физическим и технологическим параметрам предназначены ***схемы логики СУЗ***, состоящие из отдельных функциональных узлов.

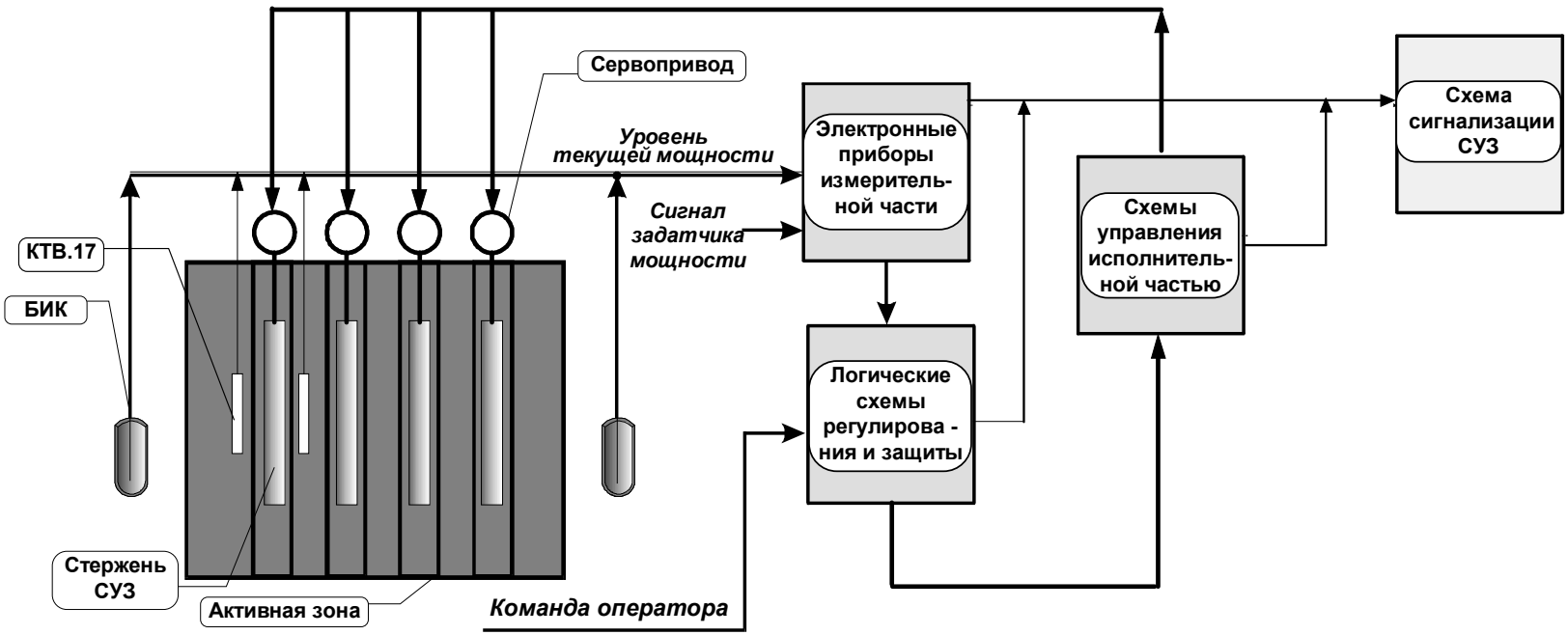

Рис. 1-2 Структурная схема СУЗ реактора РБМК-1000

Для обеспечения оператора информацией о состоянии оборудования СУЗ и объекта управления (реактора) в состав СУЗ введена ***система информационной поддержки оператора***, к которой относятся:

- схемы вызывной, предупредительной и аварийной сигнализации;
- выносные приборы, отображающие наиболее важную информацию о состоянии реакторной установки и технологического оборудования;
- схема измерения скорости счёта нейтронного потока;
- система измерения и регистрации нейтронной мощности и реактивности.

Таким образом, в соответствии с вышесказанным, СУЗ можно разделить на следующие основные функциональные части:

1. Исполнительные механизмы СУЗ.
2. Схемы управления и контроля исполнительных механизмов.
3. Измерительная часть СУЗ.
4. Схемы логики СУЗ.
5. Схема электроснабжения СУЗ.
6. Система информационной поддержки оператора.

1.3 Принципы построения СУЗ реактора РБМК-1000

1.3.1 Обеспечение надёжности и безопасности

В целях соблюдения одного из важнейших требований, предъявляемых к ядерным энергетическим установкам - безопасности, в системе приняты конструктивные меры, гарантирующие достаточную надёжность работы измерительной части, логических схем, обеспечение электропитанием и срабатывание исполнительных механизмов (в первую очередь при аварийных ситуациях) даже при отказах целых функциональных схем и устройств.

Для этого использованы:

- принципы организации многоканальных схем;
- наличие резервирования оборудования;
- наличие системы непрерывного контроля за исправностью элементов системы;
- организация системы таким образом, чтобы имелась возможность выполнения замены отказавшего оборудования, не снижая при этом требований к обеспечению безопасности, что обеспечивается использованием принципа "мажоритарности".

Наличие большого количества (210 шт.) стержней-поглотителей гарантирует, при необходимости, внесение достаточной отрицательной реактивности в активную зону, даже при отказе нескольких исполнительных механизмов. Другим фактором, гарантирующим надёжное заглушение реактора, является наличие быстродействующей аварийной защиты, позволяющей за время, не превышающее 2,5 сек., вносить отрицательную реактивность не менее 2β.

1.3.2 Обеспечение выполнения функций СУЗ

Чтобы обеспечить выполнение всех задач, возложенных на СУЗ, построение системы в целом выполнено по принципам:

- многоканальности построения измерительной части;
- многоканальной обработки информации с контролем исправности каналов и использованием надёжных критериев достоверности;
- резервирования по питанию всех элементов системы.

1.3.3 Обеспечение критериев надёжности при отказах

При отказах (отключеньях приборов) в любом из каналов измерительной или логической части автоматически формируется аварийный сигнал по этому каналу. Эта мера ужесточает критерий срабатывания аварийной защиты в системе до устранения отказа в оборудовании канала.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЗ

2.1 Документы, определяющие основные технические характеристики

Основные технические характеристики СУЗ соответствуют «Техническим условиям 080-393.3-89 ТУ» и ГОСТ 26843-86.

2.2 Основные технические характеристики СУЗ

СУЗ обеспечивает:

- контроль нейтронной мощности реактора;
- контроль скорости изменения мощности;
- контроль реактивности;
- контроль положения органов регулирования реактивности в активной зоне;
- пуск реактора;
- поддержание и изменение в заданных пределах уровня нейтронной мощности реактора;
- компенсацию выгорания, отравления и температурных эффектов;
- стабилизацию и регулирование полей энерговыделения;
- аварийную защиту реактора в аварийных ситуациях до полного его заглушения или автоматическое снижение мощности до безопасных уровней;
- поддержание реактора в подкритическом состоянии.
- контроль неисправностей в системе;
- передачу информации для целей сигнализации и регистрации, в том числе, и во внешние системы;
- информационную поддержку оператора.

2.3 Контроль и регистрация нейтронного потока

Контроль и регистрация нейтронного потока реализованы в следующих диапазонах:

- в диапазоне от 1*10 Е-11 до 5*10 Е-8 $N_{ном}$ (до 1*10Е-7 при частичном извлечении КД из активной зоны) в логарифмическом масштабе обеспечивается контроль и регистрация плотности нейтронного потока измерительными каналами ИСС, входными сигналами для

которых являются токи камер деления типа КНТ-31. Приведённая погрешность логарифмического преобразования составляет не более ±5%;

- в диапазоне от 4*10E-8 до 6*10E-2 $N_{ном}$ в логарифмическом масштабе обеспечивается контроль и регистрация уровня нейтронного потока, а также контроль периода его увеличения измерительными каналами АЗС, входными сигналами для которых являются токи ионизационных камер типа КНК-56. Приведённая погрешность логарифмического преобразования не превышает ±5%. Период контролируется в пределах от 120 до 20 сек. с относительной погрешностью не превышающей ±30%;
- в диапазоне от 5*10E-2 до 1.25 $N_{ном}$ в логарифмическом масштабе обеспечивается контроль периода увеличения мощности и регистрация уровня нейтронного потока измерительными каналами АЗСР, входными сигналами для которых являются токи ионизационных камер типа КНК-57. Период контролируется в пределах от 120 до 20 сек. с относительной погрешностью, не превышающей ±20%;
- в диапазоне от 1*10E-7 до 1,25 $N_{ном}$ в линейном масштабе с автоматическим переключением диапазонов обеспечивается контроль и регистрация нейтронного потока и реактивности цифровым вычислителем реактивности (ЦВР-9), входными сигналами для которых являются токи камер типа КНК-53М.

2.4 Контроль и поддержание заданного уровня мощности реактора

Заданный уровень мощности поддерживается:

- с помощью автоматического регулятора малой мощности (АРМ) в диапазоне от 0,25 до 1,0 % $N_{ном}$ с точностью ± 3 % $N_{зад}$ и в диапазоне от 1,0 до 6,0 % $N_{ном}$ - с точностью ± 1,5 % $N_{зад}$;
- с помощью автоматических регуляторов 1АР и 2АР в диапазоне от 5 до 20 % $N_{ном}$ с точностью ± 3 % $N_{зад}$ и в диапазоне от 20 до 100 % $N_{ном}$ - с точностью ± 1,5 % $N_{зад}$.
- с помощью ЛАР в диапазоне от 20 до 100 % $N_{ном}$ с точностью ± 1,5 % $N_{зад}$.

Примечание [Ф1]: Проверить погрешность задатчика ЛАР в диапазоне 10-20%

Контроль разбалансов между текущей и заданной мощностью осуществляется:

- в каждом измерительном канале автоматического регулятора (АРМ, 1АР, 2АР) в пределах от -12,5% до +12,5% $N_{зад}$, погрешность измерения не превышает ± 1,25%.

- по суммарному сигналу от 4-х подвесок с камерами КНК-56, входящими в состав АРМ, в диапазоне изменения мощности от 0,25 до 6 % $N_{ном}$ в пределах от -12,5% до +12,5% $N_{зад}$;
- по суммарному сигналу от 4-х подвесок с камерами КНК-53М, входящими в состав 1АР и 2АР, в диапазоне мощности от 5 до 100 % $N_{ном}$ в пределах от -12,5% до +12,5% $N_{зад}$;
- по суммарному сигналу от 2-х камер КТВ-17 зоны ЛАР в диапазоне мощности от 10 до 100 % $N_{ном}$ - в пределах от -1,0% до +1,0% $N_{зад}$;

Примечание [Ф2]: разбаланс от сумматоров зон ЛАР

Примечание [Ф3]:

СУЗ обеспечивает:

- изменение мощности реактора в диапазоне от 0,25 до 6 % $N_{ном}$ со скоростью (0,075 ± 0,05) % $N_{ном}$/сек (рабочая скорость);
- изменение мощности реактора в диапазоне от 5 до 100 % $N_{ном}$ со скоростью (0,15 ± 0,05) % $N_{ном}$/сек (рабочая скорость);
- автоматическое уменьшение мощности реактора до безопасных уровней в диапазоне от 100 до 50 % $N_{ном}$ с аварийной скоростью, при этом уменьшение уставки от 100 до 50 % $N_{ном}$ осуществляется за время не более (25 ± 2) сек.

Аварийное превышение заданного уровня мощности реактора контролируется:

- в диапазоне от 0,25 до 6 % $N_{ном}$ - четырьмя каналами АЗММ по сигналам камер КНК-56; аварийный сигнал формируется по критерию «2 из 4-х»;
- в диапазоне от 5 до 110 % $N_{ном}$ - восемью каналами АЗМ (две группы по 4 канала) по сигналам от подвесок (трёхзонных) РБМ-К15 Сб.38 с камерами КНК-53М (аварийный сигнал формируется при наличии хотя бы одного аварийного сигнала в обеих группах);
- в диапазоне от 20 до 110 % $N_{ном}$ 24-мя каналами с УЗМ-ЛАЗ по сигналам от внутризонных датчиков КТВ-17 (ЛАЗ в зоне формируется по схеме «2 из 2-х»).

2.5 Контроль скорости увеличения мощности реактора

Скорость увеличения мощности реактора контролируется:

- в диапазоне от 10E-8 до 0,06 $N_{ном}$ тремя каналами АЗС по сигналам камер КНК-56, аварийный сигнал формируется по критерию «2 из 3-х»;

- в диапазоне от 0,05 до 1,25 $N_{ном}$ тремя каналами АЗСР по сигналам камер КНК-57, аварийный сигнал формируется по критерию «2 из 3-х».

Уставка АЗ во всех каналах защиты по скорости - «20 сек.», срабатывание - (20±2) сек.; уставка ПС - «40 сек», срабатывание предупредительного сигнала (40±4) сек.

2.6 Обеспечение перекрытия диапазонов измерения измерительными каналами СУЗ

На Рис. 2-1 в логарифмическом масштабе мощности реактора представлены диапазоны работы измерительных каналов СУЗ реактора РБМК-1000.

На Рис. 2-1показаны:

1 - от 1*10Е-11 до 1*10Е-7 $N_{ном}$ - диапазон измерения мощности в логарифмическом масштабе приборами ИСС.3М с камерами деления КНТ-31(диапазон от 10 Е-8 до 10Е -7 обеспечивается при частичном извлечении КД из активной зоны);

2 - от 4*10Е-8 до 6*10Е-2 $N_{ном}$ - диапазон измерения мощности в логарифмическом масштабе приборами УЗС.13 пускового диапазона (УЗС) с ионизационными камерами КНК-56 (их подвески размещены в БИК, имеющих свинцовые экраны для уменьшения влияния **g**-потока);

3 - от 1*10Е-7 до 1,25 $N_{ном}$ - диапазон измерения мощности и реактивности в линейном масштабе цифровым вычислителем реактивности ЦВР-9 с автоматическим переключением диапазонов по сигналам ионизационных камер КНК-53М;

4 - от 2,5*10-3 до 6*10-2 $N_{ном}$ - диапазон измерения мощности в линейном масштабе каналами АРМ-АЗММ с ионизационными камерами КНК-56;

5 - от 5*10Е-2 до 1,25 $N_{ном}$ - диапазон измерения мощности в линейном масштабе каналами 1,2АР-АЗМ с ионизационными камерами КНК-53М;

6 - от 5*10Е-2 до 1,25 $N_{ном}$ - диапазон измерения мощности в логарифмическом масштабе приборами УЗС.13 рабочего диапазона (УЗСР) с ионизационными камерами КНК-57;

7 - от 2*10-1 до 1,25 $N_{ном}$ - диапазон измерения мощности в линейном масштабе внутризонными датчиками КТВ-17 системы ЛАР-ЛАЗ.

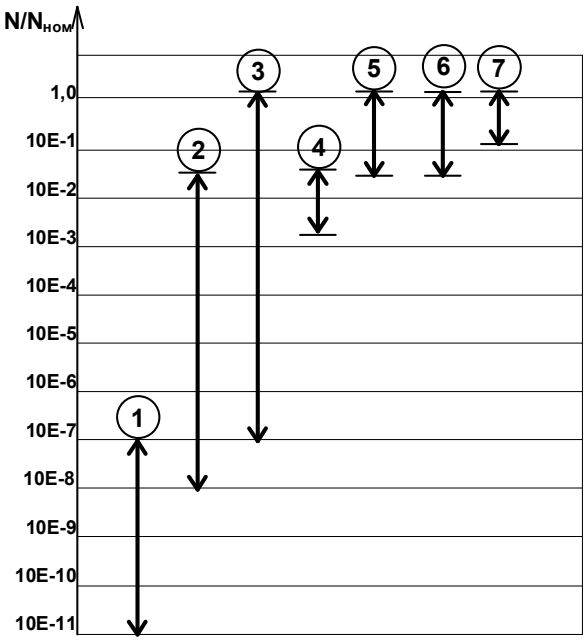

Рис. 2-1 Диапазоны работы измерительных каналов СУЗ реактора РБМК-1000.

2.7 Обеспечение надёжности автоматического регулирования

В СУЗ предусмотрены следующие переключения автоматических регуляторов в энергетическом диапазоне регулирования:

- при отказе основной системы регулирования ЛАР автоматически включается регулятор 2АР;
- при отказе 2АР автоматически включается 1АР.

2.8 Ручное управление, ограничения и блокировки

СУЗ обеспечивает:

- ручное управление с пульта оператора любым стержнем-поглотителем.
- автоматический запрет на извлечение в ручном режиме более 4-х стержней;
- приоритет команды «Ввод в зону» при одновременном наличии команд ввода и вывода стержня;

- автоматический запрет на одновременное извлечение из зоны более шести стержней, извлекаемых со средней скоростью 0,4 м/сек (через устройство «силовой блокировки»);
- автоматический запрет на непрерывное извлечение из зоны стержней РР, ПК-АЗ, ГБ, ЛАЗ на величину более 2,0 м и стержней БАЗ - на величину более 3,2 м.
- запрет на дальнейшее перемещение стержней СУЗ при их непрерывном выводе из зоны: более 5 с - для стержней РР, ПК-АЗ, ГБ, ЛАЗ и более 8 с - для стержней БАЗ (схема «шагового» перемещения).
- запрет на увеличение уставок задатчиков мощности и на вывод из зоны стержней СУЗ при не взведенных до ВК стержнях БАЗ, а также запрет на вывод из зоны стержней СУЗ при наличии хотя бы одного предупредительного сигнала по превышению мощности или уменьшению периода разгона реактора;

2.9 Возможности воздействия на реактивность реактора

В СУЗ предусмотрено 211 стержней-поглотителей. Фактически установлено 210, один канал СУЗ используется для легирования кремния (канал 24-47).

Функционально стержни-поглотители разделены на группы:

- 12 стержней использованы в автоматических регуляторах АРМ, 1АР, 2АР (по 4 стержня-поглотителя в каждом регуляторе);
- 32 укороченных стержня-поглотителя, использующиеся для выравнивания поля энерговыделения по высоте;
- 24 стержня БАЗ;
- 130 стержней РР и ПК-АЗ, из которых 24 стержня ЛАЗ (22 стержня ЛАЗ входят в состав группы ПК-АЗ);
- 12 стержней ЛАР.

2.10 Технические характеристики исполнительных механизмов

2.10.1 Скорость перемещения стержней СУЗ

Скорость перемещения стержней СУЗ составляет:

- стержней ЛАР в нормальном режиме работы при вводе в зону - (0,4±0,1) м/сек., при выводе из зоны - (0,2±0,05) м/с; в аварийном режиме стержни вводятся в зону с ВК до НК за время не более (12+2) сек. (обеспечивается режимом работы СП с поздним включением электродинамического торможения);
- стержней УСП - ввод и вывод со скоростью (0,4±0,1) м/сек.;

- стержней БАЗ - вывод со скоростью (0,4±0,1) м/сек., ввод в зону в режиме АЗ-5 и в ручном режиме с ВК до НК осуществляется за время не более 7 сек., в режиме БАЗ ввод с ВК до НК - за время не более 2,5 сек. (обеспечивается режимом работы СП БАЗ с поздним включением ЭДТ);
- стержней РР, ПК-АЗ, АР - вывод (0,4±0,1) м/сек., ввод в нормальном режиме - (0,4±0,1) м/сек.; в аварийных режимах БАЗ и АЗ-5 ввод с ВК до НК осуществляется за время не более (12+2) сек.

Все стержни СУЗ вводятся в активную зону реактора сверху, за исключением стержней УСП, вводимых снизу и предназначенных для регулирования распределения мощности по высоте активной зоны.

2.10.2 Величина хода стержней СУЗ и положения концевых выключателей сервоприводов

Величина хода стержней СУЗ и положения концевых выключателей составляют:

- СП стержней АР, ЛАР, РР, ПК-АЗ: ВК - 0,2 м; НК - 6,75 м; ход - 6,55 м;
- СП стержней УСП : ВК - 4,0 м; НК - 0,5 м; ход - 3,5 м;
- СП стержней БАЗ : ВК - 0,0 м; НК - 6,75 м; ход - (6,75+0,4) м;
- СП экспериментальной группы стержней РР (Сб.2477.00.000-01): ВК - 0,0 м; НК - 6,55 м; ход - 6,55 м.

2.10.3 Питание электродвигателей исполнительных механизмов

Питание обмоток возбуждения электродвигателей и якорных обмоток осуществляется постоянным током напряжением =56 В, допустимые пределы его отклонения от +10 до -15 %. Допустимое время перерыва питания ≤ 0,2 сек.

2.10.4 Питание сельсинов - указателей положения стержней

Питание обмоток возбуждения сельсинов - указателей положения осуществляется источником переменного тока напряжением 60 В ± 10 %, частотой (50±1) Гц. Допустимое время перерыва в питании - не более 1 сек.

2.10.5 Питание электромагнитных муфт СП СУЗ

Питание электромагнитных муфт СП СУЗ обеспечивается источником постоянного напряжения =48 В ± 10 %. Допустимое время перерыва питания - ≤ 0,1 сек.

2.10.6 Обеспечение ядерной безопасности при полном обесточении СУЗ

В случае полного обесточения СУЗ быстрый останов реактора обеспечивается:

- введением 24 стержней БАЗ в активную зону с ВК на полный ход, без остановки на НК, за время не более 2,5 сек.;
- введением всех остальных стержней СУЗ (кроме УСП, 1,2АР и АРМ) в зону из любого промежуточного положения за время не более (12+4) сек. без остановки на НК.

Примечание: Стержни УСП, 1,2АР и АРМ при полном обесточении СУЗ остаются на своих местах.

2.11 Автоматические защиты реактора при нарушениях режимов эксплуатации

СУЗ обеспечивает:

- три режима аварийных защит: «**БАЗ»**, «**АЗ-5»** и **«КОМ»;**
- три режима управляемого с помощью включённого регулятора аварийного снижения мощности до безопасных уровней: «**АЗ-1», «АЗ-2»** и «**УСМ»**;
- управляемое снижение мощности ректора с рабочей скоростью по сигналу «**ЛАЗ**» до снятия сигнала;
- выполнение исполнительного алгоритма БАЗ и АЗ-5 вне зависимости от снятия первопричин формирования данных режимов.

2.11.1 Режим БАЗ

В режиме БАЗ СУЗ обеспечивает быстрый останов реактора:

- введением 24-х стержней БАЗ в активную зону с ВК до НК за время ≤ 2,5 сек;
- введением 32-х стержней УСП в зону снизу до ВК со скоростью (0,4 ± 0,1) м/с;
- введением всех остальных стержней в зону до НК из любого промежуточного положения за время не более (12 +2) сек.

Режим БАЗ формируется при:

- переводе ключа БАЗ в положение «БАЗ»;
- приходе сигнала БАЗ из схем технологической автоматики;

- уменьшении периода разгона реактора до значения Т = (20 ± 2) сек в диапазоне мощности от 10 Е-8 до 1,25 $N_{ном}$;
- превышении заданного уровня мощности реактора на (10 ± 1) % $N_{ном}$ в диапазоне от 5 до 105 % $N_{ном}$ по сигналам от БИК с КНК-53М;
- превышении заданного уровня мощности реактора на (0,5 ± 0,025) % $N_{ном}$ в диапазоне от 0,25 до 6 % $N_{ном}$ по сигналам от БИК с КНК-56.

Сброс памяти режима БАЗ возможен только при выполнении условий:

- снятие первопричин, вызвавших режим БАЗ;
- с момента появления сигнала прошло не менее 40 сек (данное условие не действует, если все стержни СУЗ вошли в АЗ до НК (стержни УСП - до ВК));
- ключ съёма БАЗ переведен в положение «Съём БАЗ».

2.11.2 Режим АЗ-5

В режиме АЗ-5 СУЗ обеспечивает заглушение реактора введением стержней БАЗ с ВК до НК за время не более 7,5 сек, при этом остальные стержни вводятся в зону точно также, как и при режиме БАЗ.

Режим аварийной защиты АЗ-5 формируется при:

- переводе ключа АЗ-5 в положение «АЗ-5»;
- поступлении сигнала АЗ-5Т из схем технологической автоматики;
- формировании режима БАЗ;
- неисполнении режимов аварийного снижения мощности АЗ-1, АЗ-2, УСМ (формируется сигнал АЗ-Т2).

Сброс памяти режима АЗ-5 возможен при выполнении условий:

- нет первопричин, вызвавших формирование режима АЗ-5;
- с момента появления сигнала прошло не менее 40 сек;
- ключ съёма АЗ-5 переведен в положение «Съём АЗ-5».

2.11.3 Аварийный останов реактора обесточением муфт сервоприводов

В режиме «КОМ» обеспечивается заглушение реактора введением в зону под действием силы тяжести всех стержней СУЗ, кроме стержней УСП, 1,2АР, АРМ.

2.11.4 Режим АЗ-2

В диапазоне от 105 до 50 % $N_{ном}$ в режиме АЗ-2 СУЗ обеспечивает аварийное управляемое снижение мощности реактора до уровня 50 % $N_{ном}$ с помощью включённого регулятора.

Режим АЗ-2 формируется при поступлении сигнала первопричины АЗ-2 из схем технологической автоматики в диапазоне мощности от 100 до 50 % Nном.

2.11.5 Режим АЗ-1

В диапазоне от 105 до 60 % $N_{ном}$ в режиме АЗ-1 СУЗ обеспечивает управляемое аварийное снижение мощности реактора до уровня 60 % $N_{ном}$ с помощью включённого регулятора.

Режим АЗ-1 формируется при поступлении сигнала «Первопричина АЗ-1» из схем технологической автоматики в диапазоне мощности от 105 до 60 % Nном.

2.11.6 Управляемое аварийное снижение мощности реактора

В режимах АЗ-1, АЗ-2, УСМ СУЗ обеспечивает автоматическое формирование сигнала «Режим ПК». В режиме ПК (перекомпенсация) по соответствующим разбалансам каналов регулирования дополнительно к стержням включённого регулятора подключаются только на ввод в зону стержни перекомпенсации (к включённому ЛАР - стержни ЛАЗ, к включенному АР - стержни ПК-АЗ). Также СУЗ обеспечивает в диапазоне мощности от 105 до 20 % $N_{ном}$ формирование сигнала «Режим ПК» при одновременном формировании сигналов «Недопустимый разбаланс» в 1АР и 2АР. В режиме ПК блокируется отключение каналов регулирования по максимальным разбалансам в соответствующих измерительных каналах.

2.11.7 Подавление локальных всплесков мощности

В режиме «ЛАЗ», до исчезновения сигнала первопричины, СУЗ обеспечивает с помощью включенного регулятора управляемое снижение мощности реактора с рабочей скоростью и одновременный ввод в активную зону стержней ЛАЗ в той зоне, где было зафиксировано превышение мощности, вызвавшее режим ЛАЗ.

Режим ЛАЗ формируется при наличии в любой зоне двух аварийных сигналов от измерительных каналов ЛАЗ.

2.11.8 Динамические характеристики каналов формирования аварийных защит

СУЗ обеспечивает следующие динамические характеристики в каналах формирования аварийных защит:

- задержка формирования исполнительного сигнала БАЗ (АЗ-5) при повороте ключа БАЗ (АЗ-5) - не более 0,1 сек. от момента поворота ключа до начала движения стержней;
- задержка формирования исполнительного сигнала БАЗ (АЗ-5) при аварийном превышении мощности реактора (АЗМ) - не более 0,1 сек. от момента скачкообразного увеличения входного тока в каналах защиты с приборами УЗМ до начала движения стержней;
- задержка формирования исполнительного сигнала БАЗ (АЗ-5) при росте мощности реактора с аварийной скоростью с периодом Т = 20сек. (АЗС) - не более 0,6 сек. от момента увеличения входного тока с указанным периодом в каналах защиты с приборами УЗС (на входе логарифмического усилителя) до начала движения стержней.

Примечание: Началом движения стержней считается момент снижения напряжения на электромагнитной муфте СП до (7±1) В.

2.12 Допустимые эксплуатационные пределы

Перечисленные выше технические характеристики должны сохраняться при колебаниях напряжения первичного питания от -15 до +10 % от номинального и частоте (50±1) Гц для электронных приборов и логической части. Перерыв питания для электронных приборов недопустим.

3. СОСТАВ И РАЗМЕЩЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ СУЗ

3.1 Исполнительные механизмы - сервоприводы СУЗ

210 исполнительных механизмов СУЗ распределены на 5 основных функциональных групп:

- исполнительные механизмы БАЗ - Сб.195 - 24 шт.;
- исполнительные механизмы УСП - Сб.152 - 32 шт.;
- исполнительные механизмы АР - Сб.148 - 12 шт.;
- исполнительные механизмы РР, ПК-АЗ (ЛАЗ) - Сб.151 - 130шт.;
- исполнительные механизмы ЛАР - 12 шт.

Группа ИМ РР, ПК-АЗ (ЛАЗ) распределена следующим образом:

- 12 ИМ входят в состав ЛАР;
- 24 ИМ входят в состав ПК-АЗ, из них 22 ИМ входят в состав ЛАЗ;
- 2 ИМ входят в состав ЛАЗ;
- 8 ИМ входят в состав стержней «группы безопасности», которые используются для выполнения алгоритма работы 1АР, 2АР при наличии ПС в их измерительных каналах.

Примечание: В настоящее время используются в качестве экспериментальных стержни-поглотители Сб.2477.00.000-01. Все они используются в группе РР.

Размещение ИМ по активной зоне показано на Рис.

Электрическая связь сервоприводов со схемами управления и контроля на участке от разъемов сервопривода до промежуточного стеллажа разъёмов, расположенного в помещении 1004/1, выполнена специальным жаростойким кабелем типа КЖА. Трасса КЖА прокладывается в специальных желобах, размещенных между сб.25.

3.2 Подвески боковых ионизационных камер

В СУЗ используются 4 типа подвесок:

- РБМ-К15 Сб.38 с тремя камерами КНК-53М (3-х зонные). Используются в качестве датчиков в измерительных каналах 1,2АР - АЗМ;

- РБМ-К7 Сб.38 с камерой КНК-53М. Используются в качестве датчиков нейтронного потока и выдают информацию для цифрового вычислителя реактивности типа ЦВР-9 и для самописца мощности;
- РБМ-К7 Сб.38-1 с камерой КНК-57М. Используются в качестве датчиков в каналах АЗСР;
- РБМ-К7 Сб.39 с камерой КНК-56. Используются в качестве датчиков в каналах аварийной защиты по скорости пускового диапазона (АЗС).

БИК распределены по следующим функциональным группам:

- БИК 1, 7, 13 ,19 используются в измерительных каналах ЦВР-9;
- БИК 2, 8, 14, 20 используются в измерительных каналах 1АР-АЗМ;
- БИК 5, 11, 17, 23 используются в измерительных каналах 2АР-АЗМ;
- БИК 3, 9, 15, 21 используются в измерительных каналах АРМ-АЗММ;
- БИК 6, 12, 18 имеют свинцовый экран и используются в измерительных каналах АЗС;
- БИК 10, 22, 4 используются в измерительных каналах АЗСР
- БИК 24 имеет свинцовый экран и является резервной для АЗС.

Питание ионизационных камер и передача от них сигнала в измерительную часть осуществляется с помощью высокочастотных коаксиальных кабелей типа РК-75. Коммутация кабелей выполнена в шкафах высокочастотных разъёмов ШРП, ШРС, ШРМ и дополнительно установленном трёхсекционном шкафе АЗС-1,2,3. В шкаф АЗС-1,2,3 из ШРС вынесены и разделены поканально выносные каскады со штепсельными высокочастотными разъёмами каналов аварийной защиты по скорости в целях исключения взаимного влияния при выполнении работ с выносными каскадами во время работы блока на мощности.

ШРП, ШРМ, ШРС и шкаф разъемов АЗС-1,2,3 установлены в помещении 1004/1.

ШРМ предназначен для размещения переходных (минусовых) разъёмов питания отрицательных электродов ИК.

ШРП предназначен для размещения переходных (плюсовых) разъёмов питания положительных электродов ИК.

ШРС предназначен для размещения переходных (собирающих) разъёмов сигнальных электродов ИК.

3.3 Подвески импульсных камер деления

В конструкции реактора предусмотрены 4 специальные ячейки для размещения камер деления (подвески КНТ-31): 10-30, 50-10, 67-47 и 30-67. В настоящее время канал 30-67 является резервным и используется для легирования кремния. Подвески КД (РБМ-К1 сб.37) устанавливаются в каналы после заглушения реактора. После вывода реактора в критическое состояние подвески из каналов извлекаются и устанавливаются в пеналах в сухой шахте (ШТ-1). Каналы закрываются специальной пробкой. Выносные каскады КВ.3М на период работы реактора на мощности от подвесок отсоединяются и хранятся в специальной нише ЦЗ. В связи с тем, что выносные каскады являются частью схемы ИСС.3М, они маркируются по принадлежности к своим рабочим каналам. Также имеют свои маркировки кабели (сигнальные и питания), которые на период работы реактора на мощности укладываются в ниши. Связь между приборами ИСС.3М, блоками питания камер деления и выносными каскадами осуществляется цельными кабелями без промежуточных соединений.

3.4 Внутризонные датчики системы ЛАР-ЛАЗ

В качестве датчиков используются 3-х зонные триаксиальные ионизационные камеры типа КТВ-17 в количестве 24-х штук. Внутризонные датчики КТВ-17 устанавливаются в центральные отверстия тепловыделяющих кассет (ТВК) Сб.49. Питание датчиков и передача информационного сигнала в измерительную часть на участке плато реактора осуществляется жаростойкими трассами КНМС, проложенными, как и кабели КЖА, в желобах. За пределами плато кабели проходят под настилом и выводятся в помещение 1004/1 (отм.39,5). Трассы сводятся в два клеммных шкафа ШПК, в которых осуществляется переход от трасс к гибким кабелям, проложенным далее до БЩУ-Н (отм.9,2).

3.5 Оборудование, размещённое в электрощитовой СУЗ (пом.1004/1).

В помещении 1004/1 (отм. +39.5) размещено вспомогательное оборудование СУЗ, а также выпрямительные устройства силового питания сервоприводов и муфт. В состав этого оборудования входят:

- Стеллажи штепсельных разъемов трасс сервоприводов (СШР).

СШР предназначены для осуществления перехода с жаростойкого кабеля КЖА на гибкий кабель НРШМ, ведущий к щитам управления сервоприводами. Стеллажи расположены у стенки п. 1004/1, соседствующей с центральным залом.

- Шкафы радиочастотных штепсельных разъемов (ШШР)

В ШШР установлены разъемные соединения схем питания ионизационных камер. Разъемное соединение в схеме питания камеры необходимо для состыковки радиочастотных коаксиальных кабелей, которые имеют различные диаметры (на участке от ИК до ШШР под плитным настилом проложены кабели типа РК-75-7-22 или КПО ЭП, на участке от ШШР до БЩУ-Н - кабели типа РК-75-4-16).
Через разъемы шкафа минусовых разъемов (ШРМ) от блоков питания камер, установленных на щите электронных приборов СУЗ в пом. БЩУ-Н, подается напряжение постоянного тока на отрицательные электроды ИК
Через разъемы шкафа плюсовых разъемов (ШРП) подается питание на положительные электроды ИК.

Через разъемы шкафа ШРС ток ИК поступает во входные цепи электронных измерительных приборов.
Все шкафы ШШР установлены у стены пом. 1004/1, соседствующей с ЦЗ, в одном ряду со стеллажами СШР.

- Шкафы АЗС-1,2,3

В шкафах АЗС-1,2,3 размещены выносные каскады со штепсельными высокочастотными разъёмами каналов аварийной защиты по скорости, которые разделены поканально в целях исключения взаимного влияния при выполнении работ с выносными каскадами во время работы блока на мощности.

- Стойка автоматического контроля температуры сервоприводов.

Сигналы на стойку поступают от термометров сопротивления, размещенных на двигателях сервоприводов, через общие кабели КЖА и отдельные разъемы (1-23) ШРТ, расположенные на стеллажах штепсельных разъемов (СШР).
Стойка расположена в помещении 1004/1 в ряду «ЩПМС-ЩБУ АР».

- Щит блоков управления сервоприводами АР.

Щит состоит из трех панелей: ЩБУ-1АР, ЩБУ-2АР, ЩБУ-АРМ. На панелях размещены силовые блоки системы синхронизации сервоприводов АР и регуляторы входного напряжения.

- Стойка управления сервоприводами ЛАР (СУСПЛ).

В стойке размещены 12 блоков управления сервоприводами ЛАР на бесконтактных элементах.

- Клемные шкафы системы ЛАР-ЛАЗ - ШПК-1 и ШПК-2;
- Шкаф силовой блокировки - ШПС;
- Переходной шкаф силовой блокировки - ПШ.
- Щит питания электромагнитных тормозных муфт сервоприводов СУЗ (ЩПМС).

Состоит из 14 шкафов, в которых размещено оборудование схемы электроснабжения СУЗ. Для питания ЩПМС используются три выпрямительных устройства типа ВУК - 67/140.

- Щиты управления сервоприводами (ЩУС) РР, УСП, ПК-АЗ (ЛАЗ) и БАЗ.

Всего установлено 6 щитов ЩУС. Каждый щит состоит из шести шкафов со съемными блоками контакторного управления (БВРК).

- Щит питания сельсинов-датчиков и сельсинов-приемников (ЩПСС).

ЩПСС состоит из двух панелей. Для питания секций 1,2 ЩПСС используются трансформаторы 1, 2, 3 ТС ~ 380/57. От 1, 2 ЩПСС запитаны также силовые цепи СП АР и ЛАР.

- Стойки питания якорных цепей сервоприводов БАЗ - СПЯ БАЗ.
- Стойки питания муфт сервоприводов БАЗ - СПМ БАЗ.
- Щиты питания БАЗ - 1÷3 ЩПБ.
- Шкаф резервного питания стоек СПМ БАЗ и СПЯ БАЗ - ШРБ.
- Сервоприводы оперативного резерва, специальное оборудование и оснастка для замены сервоприводов.

3.6 Оборудование СУЗ, размещённое на БЩУ-Н

Основная часть оборудования СУЗ размещена в левой половине помещения БЩУ-3 (Бл.Г, отм.+9,2). В состав оборудования БЩУ-Н входят:

- три сборки питания СУЗ - 1СПС, 2СПС, 3СПС;
- щит электронных приборов (ЩЭП), состоящий из 16 панелей, в которых размещены электронные приборы измерительной части, блоки питания ионизационных камер, блоки системы синхронизации 1АР, 2АР и АРМ, регистрирующие приборы среднего положения стержней и напряжения разбаланса включённого АР;
- две стойки (СТЭП-1 и СТЭП-2) системы ЛАР-ЛАЗ, в которых размещены электронные приборы и блоки их питания;
- щит логики СУЗ (ЩЛС), состоящий из 9 четырёхдверных стоек (1с ÷ 9с), в которых размещены блоки питания и элементы логической части - ТЭЗы.
- оперативный резерв для измерительной и логической частей СУЗ.

3.7 Оборудование СУЗ, размещённое на БЩУ-О

Всё оборудование, обеспечивающее работу оператора размещено на пульте оператора и щите оператора. Пульт оператора (ПО) состоит из пяти панелей,

оборудование СУЗ размещено на панелях 3А ÷5А. На ПО размещено следующее оборудование:

- выносные индикаторы (миллиамперметры и микроамперметры), выдающие оператору информацию о состоянии реактора по данным от электронных приборов измерительной части;
- ключи управления автоматическими регуляторами и задатчиками мощности;
- ключи для аварийного останова реактора (БАЗ, АЗ-5, КОМ);
- ключи снятия аварийных сигналов;
- ключи и кнопки для управления режимами работы СУЗ и индикации;
- кнопки выбора стержней для индивидуального управления в ручном режиме (наборное поле);
- цифровой вычислитель реактивности - ЦВР-9;
- световые табло информационной поддержки оператора.

На щите оператора (панели 1÷6) размещены:

- сельсины - указатели положения с размещённой в них индикацией верхнего и нижнего концевых выключателей и "стержень выбран или перемещается" (пан.3, 4, 5);
- выносные индикаторы систем ЛАР-ЛАЗ, АР-АЗМ и АРМ-АЗММ;
- световые табло вызывной, предупредительной и аварийной сигнализации от измерительной, логической и электромеханической частей, системы питания, выдаваемые после обработки в схеме ССЗ СЦК СКАЛА;
- регистрирующие приборы нейтронной мощности и реактивности.

3.8 Оборудование СУЗ, размещённое на РПУ

Резервный пульт управления предназначен для обеспечения возможности останова реактора в экстремальных ситуациях, когда это невозможно выполнить с БЩУ-О и контроля за нейтронным потоком с помощью переключаемого регистрирующего прибора каналов АЗСР-1, АЗСР-2. На РПУ установлены ключи БАЗ, АЗ-5 и КОМ, которые размещены на 2-й панели резервного пульта, и регистрирующий прибор РП160-17 с переключателем "АЗСР-1 - ОТКЛ. - АЗСР-2".

4. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ СУЗ

4.1 Реакторные измерения

Измерительная часть СУЗ предназначена для обеспечения во всех режимах работы реактора, от подкритического состояния до энергетического режима:

- контроля плотности нейтронного потока (нейтронной мощности);
- измерения скорости изменения нейтронного потока;
- выдачи информации о величине нейтронного потока и скорости его изменения в другие подсистемы, на регистрирующие приборы и оператору для обеспечения управления реакторной установкой.

Основными физическими измерениями в процессе эксплуатации реактора являются измерения *уровня плотности нейтронов* и *реактивности реактора*. Оба эти показателя взаимосвязаны между собой. Если плотность нейтронов в реакторе остается неизменной, то он находится либо в точно критическом состоянии, либо в подкритическом. При этом реактивность реактора, соответствующая критическому состоянию, равна нулю, а подкритическому - отрицательному значению, зависящему от источников нейтронов в подкритическом состоянии. Введение положительной или отрицательной реактивности нарушает равновесное состояние реактора. Введение отрицательной реактивности в конечном итоге приводит к новому равновесному состоянию, соответствующему более низкой плотности нейтронов. И наоборот, при введении положительной реактивности плотность нейтронного потока начинает возрастать. При этом, если реактор после введения положительной реактивности остается еще в подкритическом состоянии или достиг точно критического состояния, плотность нейтронов установится на новом, более высоком уровне. После того как реактор достиг критического состояния, дальнейшее приращение положительной реактивности приводит к разгону реактора, т.е. плотность нейтронного потока в нем будет непрерывно возрастать. Возрастание плотности нейтронов прекратится только тогда , когда избыточная реактивность будет компенсирована введением отрицательной реактивности и реактор выйдет в новый равновесный режим работы.

Чрезвычайно важным параметром, подлежащим постоянному контролю, является *период реактора*, который обратно пропорционален реактивности. В критическом состоянии, когда реактивность равна нулю, период реактора равен бесконечности. Конечное положительное значение периода свидетельствует о разгоне реактора со скоростью, определяемой избыточной реактивностью. Разгон реактора идет очень быстро, если избыточная реактивность составляет величину порядка ß, где ß - доля запаздывающих

нейтронов. При этом период может составлять доли секунд. Из определения периода реактора следует, что за это время плотность нейтронов возрастает почти втрое (e = 2,71... - бесконечная непериодическая десятичная дробь) с последующим лавинным наращиванием. Поэтому избыточная реактивность реактора в процессе разгона ограничивается величиной Δk « ß, где $\Delta k = k_{эф} - 1$ - избыточная реактивность, $k_{эф}$ - эффективный коэффициент размножения ($\rho = \Delta k / k_{эф}$ - реактивность реактора). Поскольку ß сама по себе достаточно малая величина (для первоначальной загрузки реактора РБМК-1000 ß = 0,0064), то прямое измерение величины Δk может стать ненадежным. Более надежным является измерение периода реактора, который изменяется в широких пределах при небольшом изменении реактивности.

Важной особенностью ядерного реактора является то, что изменение плотности нейтронов в нем идет практически без запаздывания за изменением реактивности. Этим определяются требования к системе измерения плотности нейтронов и периода реактора - она должна быть практически безынерционна. В качестве датчиков системы измерения, удовлетворяющих указанным требованиям, используются нейтронные детекторы.

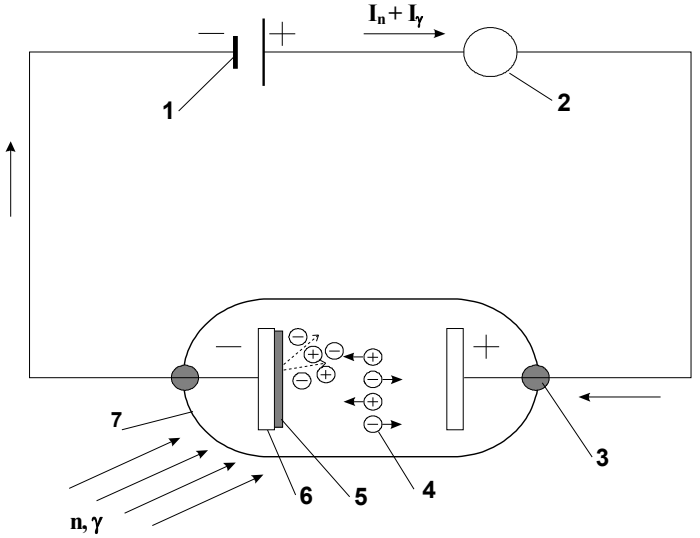

Рис. 4-1 Схема образования тока в ионизационной камере:

1 - источник питания, 2 - измеритель тока, 3 - изолятор, 4 - ионы, 5 - радиатор из нейтронно-чувчтвительного слоя, 6 - электрод, 7 - корпус камеры

Нейтронные детекторы предназначены для преобразования энергии излучений в ядерном реакторе в электрический сигнал. Так как нейтроны не имеют заряда и непосредственно не вызывают ионизации в веществе, для их регистрации используют эффект вызываемых ими ядерных реакций,

сопровождающийся образованием заряженных частиц (α-частицы или электроны). Нейтронный датчик, использующий этот принцип, называется *ионизационной камерой* (ИК), устройство , которой показано на Рис. 4-1. В корпусе 7 ИК, заполненном газом, размещены два электрода 6, один из которых покрыт нейтронно-чувствительным слоем, например бором ^{10}B - радиатор 5. К пластинам электродов через изоляторы 3 приложена разность потенциалов, создаваемых источником питания 1. Нейтронный поток *n* взаимодействует с нейтронно-чувствительным слоем. В результате ядерной реакции $^{10}_{5}B(n, \alpha)\,^{7}_{3}Li$ образуются положительно заряженные α-частицы, которые ионизируя газ, создают положительные и отрицательные ионы 4. Под влиянием внешнего электрического поля создается разность потенциалов, приложенных к пластинам электродов. Движение ионов образует в электрической цепи ток, пропорциональный ионизации газа. Ионизация газа вызывается не только нейтронным потоком *n*, но и γ-квантами, поэтому ток в цепи ИК пропорционален значениям плотности *n* и γ-квантов. Такая ионизационная камера называется *некомпенсированной.*

Ток в цепи ИК также зависит от приложенного напряжения. Зависимость, называемая *вольтамперной характеристикой*, ИК для двух значений плотности нейтронного потока φ_1 и φ_2 приведена на Рис. 4-2. При некотором критическом напряжении $U_{кр}$ дальнейшее увеличение напряжения не приводит к увеличению тока I. Соответствующий этому напряжению ток, называемый током насыщения $I_н$, для различной плотности нейтронного потока φ различен. В качестве рабочего напряжения, как правило, выбирают $U_{раб} \approx 2U_{кр.}$

Так как ионизация газа в объеме ионизационной камеры производится α-частицами и γ-квантами, всегда имеющимися в реакторе, а мощность реактора пропорциональна количеству нейтронов, то необходимо выделить сигнал, обусловленный только нейтронами. Для этого используют специальные *компенсированные ионизационные камеры* (Рис. 4-3).

В корпусе 1 ИК имеются три электрода 6, образующих два равных объема. В одном объеме, имеющем радиаторы 2 с чувствительным к нейтронам слоем, ионы образуются за счет нейтронов и γ-квантов, а во втором, где отсутствует чувствительный к нейтронам слой, - только за счет γ-квантов. В собирающем электроде сумма токов, вызванных γ-квантами, $I_\gamma = 0$. Поэтому измерителем 3 регистрируется только ток, вызванный нейтронами I_n, пропорциональный плотности потока нейтронов. Проводники тока проводятся к электродам через

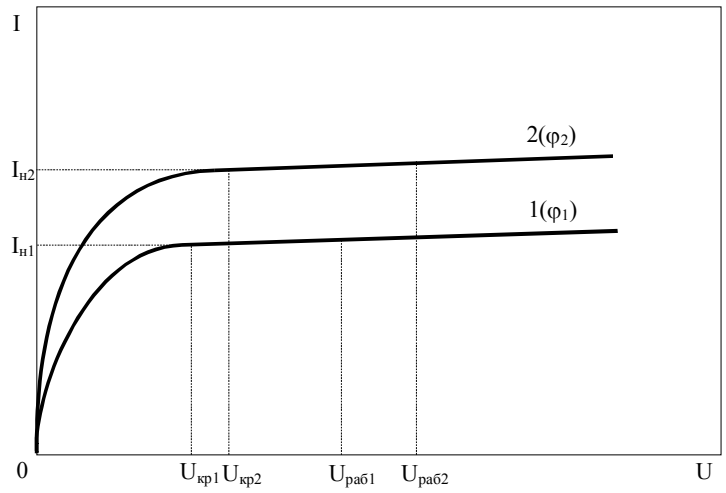

Рис. 4-2 Вольтамперные характеристики ионизационной камеры для двух значений плотности потока нейтронов ($\varphi_2 > \varphi_1$)

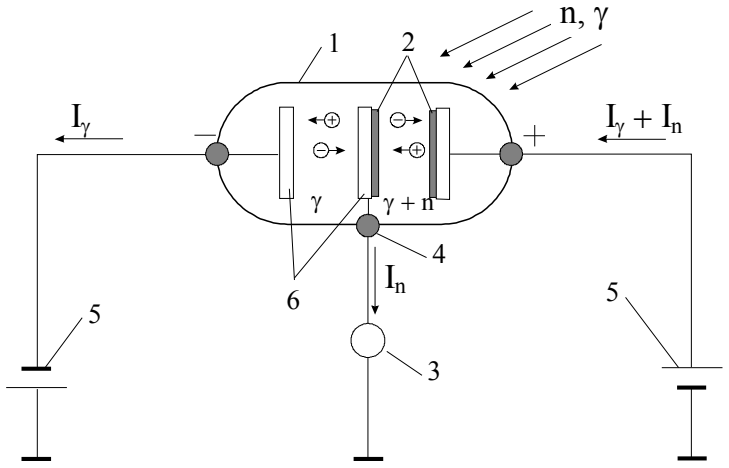

Рис. 4-3 Схема компенсированной ионизационной камеры

1 - корпус, 2 - радиатор, 3 - измеритель тока, 4 - изолятор, 5 - источник питания, 6 - электрод

изоляторы 4 и соединяются с источником питания 5. Сигнал ИК определяется как

$$I = \eta_{ток}\varphi,$$

где $\eta_{ток}$ - чувствительность камеры, А*см2*с/нейтр;

φ - плотность потока нейтронов, нейтр/$см^2$*с.

При эксплуатации реактора измеряется как средняя плотность нейтронов по всей активной зоне, так и локальные значения. При измерении средней плотности нейтронов детекторы выносятся за пределы активной зоны, а для определения локальных значений они размещаются непосредственно в активной зоне.

Вынос детекторов за пределы активной зоны при измерении средней плотности нейтронов связан с тем, чтобы свести к минимуму влияние неравномерности поля энерговыделения по объему активной зоны и его перераспределения за счет изменения изотопного состава и перемещения поглощающих стержней в процессе работы реактора. С этой же целью количество использующихся в автоматических регуляторах мощности СУЗ реактора РБМК-1000 нейтронных детекторов, размещенных вокруг активной зоны, составляет по четыре в каждом регуляторе. При этом применяется параллельное их подключение и усреднение сигнала, поступающего на вторичные приборы.

Учитывая специфику реактора, заключающуюся в том, что он может стать критическим и подкритическим при любом уровне плотности нейтронов, контроль за уровнем плотности нейтронов и его изменением следует вести как на работающем реакторе - на уровне рабочих мощностей, так и на остановленном - на уровне подкритического состояния, что соответствует практически нулевой мощности. При этом плотность нейтронов в диапазоне от уровня рабочих мощностей реактора до остановленного состояния изменяется на 10-11 порядков. В настоящее время не существует нейтронных детекторов, способных с одинаковой точностью перекрыть весь этот диапазон. Поэтому весь измерительный диапазон разбивают на несколько поддиапазонов, в каждом из которых используются свои нейтронные детекторы и измерительная аппаратура. Это три поддиапазона:

- *пусковой* - на уровне нейтронного источника - от 1*10E-11 до 1*10E-7 $N_{ном,}$
- *разгона* - периодный поддиапазон - от 4*10E-8 до 6*10E-2 $N_{ном,}$
- *энергетический* - на уровне рабочих мощностей - от 5*10E-2 до 1,25 $N_{ном}$.

Таким образом, в каждом поддиапазоне плотность нейтронов изменяется на 3 - 6 порядков.

Требования к точности измерительных каналов в различных поддиапазонах и даже в разных частях одного поддиапазона различные. При этом в схемах защиты по скорости, диапазон измерения которых охватывает 6 порядков, недопустимы переключения. Поэтому в измерительных каналах АЗС используется логарифмический масштаб измерения нейтронного потока, т.е. используются усилители с логарифмической характеристикой. Погрешность измерения данных каналов достигает ±30 % на самых низких уровнях мощности.

После вывода реактора в критическое состояние и дальнейшего подъема мощности требования к точности измерения значительно ужесточаются, что требует сужения диапазонов приборов до двух порядков, переходу на линейные характеристики. В СУЗ РБМК-1000 данную задачу решают:

- измерительные каналы вычислителя реактивности ЦВР-9 с автоматическим переключением диапазонов по декадам в диапазоне от 1*10Е-7 до 1,25;
- измерительные каналы АРМ-АЗММ с линейной характеристикой в диапазоне от2,5*10Е-3 до 6*10Е-2 $N_{ном}$;
- измерительные каналы АЗСР с логарифмической характеристикой в диапазоне от 5*10Е-2 до 1,25 Nном;
- измерительные каналы 1,2АР-АЗМ с линейной характеристикой в диапазоне от 5*10Е-2 до 1,25 $N_{ном}$;
- измерительные каналы ЛАР-ЛАЗ с линейной характеристикой в диапазоне от 2*10Е-1 до 1,25 $N_{ном.}$

При пуске реактора - выводе его из подкритического в критическое состояние - плотность нейтронов минимальна и определяется источником нейтронов. В реакторе со свежим топливом источником нейтронов в подкритическом состоянии являются самопроизвольный (спонтанный) распад урана и фотонейтроны, образующиеся в результате реакции (γ, n) за счет космического (фонового) γ-излучения. Однако мощность этих источников в глубоко подкритическом состоянии реактора настолько мала, что она лежит ниже порога чувствительности пусковых нейтронных детекторов. Поэтому в реактор со свежим топливом вводят искусственные источники нейтронов, которые не изменяют подкритичности реактора, а увеличивают только уровень плотности нейтронов, перекрывая тем самым порог чувствительности пусковых нейтронных детекторов.

В реакторе с облученным топливом, т.е. проработавшем значительное время до очередного останова, накопившиеся продукты деления сами являются мощными источниками γ-квантов и при наличии в активной зоне материалов, на которых идет реакция (γ, n), уровень плотности нейтронов будет заведомо превышать порог чувствительности нейтронных детекторов. Так для дейтерия

пороговая энергия образования нейтронов по реакции (γ, n) равна 2,21 Мэв, что меньше энергии γ-квантов некоторых продуктов деления. В обычной воде всегда имеется некоторое количество дейтерия (приблизительно 0,001 - 0,002%), которого вполне достаточно для получения фотонейтронов.

В пусковом режиме используются высокочувствительные нейтронные детекторы, в качестве которых в СУЗ РБМК-1000 применяются ионизационные камеры деления, работающие в импульсном режиме. Они фактически чувствительны к одиночным нейтронам, попадающим в полость детектора и вызывающим импульс напряжения на центральном электроде. Частота импульсов свидетельствует о плотности нейтронов в реакторе.

При выводе реактора из подкритического в критическое состояние плотность нейтронов увеличивается на 2 - 3 порядка, после чего переходят в следующий поддиапазон измерения, в котором в качестве нейтронных детекторов используются ионизационные камеры, работающие в токовом режиме. Они менее чувствительны, чем импульсные детекторы, но более стабильны и надежны в работе. Однако в режиме разгона (периодный поддиапазон) уровень плотности нейтронов таков, что он обеспечивает надежную чувствительность токовых ионизационных камер. Изменение ионизационного тока свидетельствует об изменении плотности нейтронов в реакторе. В этом режиме, как и в пусковом, основным контролируемым параметром является период реактора, который не должен выходить за пределы допустимого.

Энергетический поддиапазон занимает интервал плотности нейтронов, соответствующий 5 - 125% номинальной мощности реактора. В этом поддиапазоне в качестве нейтронных детекторов используются также токовые ионизационные камеры. Однако разница заключается в том, что в режиме разгона используются ионизационные камеры с дополнительной компенсацией от γ-излучения, выполненной в виде свинцового экрана вокруг ионизационной камеры. На малых уровнях мощности сигнал от γ-излучения может быть не только соизмерим с сигналом от нейтронной плотности, но и может превышать его. В энергетическом режиме уровень плотности нейтронов становится настолько большим, что сигнал от γ-излучения становится несоизмеримо малым.

В энергетическом режиме наряду с контролем за периодом реактора ведется тщательный контроль за уровнем плотности нейтронов, определяющим энерговыделение в реакторе. Связь между сигналом нейтронных детекторов и уровнем плотности нейтронов определяется предварительной градуировкой.

4.2 Схема измерения скорости счета

4.2.1 Состав, назначение

Схема предназначена для измерения слабого нейтронного потока остановленного реактора, а также нейтронного потока во время вывода реактора в критическое состояние после его остановки в диапазоне мощности от 1*10E-11 до 1*10E-8 $N_{ном}$ (при частичном извлечении КД - до 1*10-7 $N_{ном}$). Схема состоит из трёх независимых каналов измерения скорости счёта. На Рис. 4-4 приведена функциональная схема одного канала ИСС. Схема ИСС относится к системе информационной поддержки оператора.

В состав канала ИСС входят:

- источник информации - подвеска камеры деления (КД) типа КНТ-31 с выносным каскадом КВ.3М;
- блок питания камеры деления типа БП.30М;
- прибор ИСС.3М, совместно с выносным каскадом выполняющий функцию счёта количества нейтронов в единицу времени (сек.) через единицу площади (кв.см);
- выносной узкопрофильный показывающий прибор типа М-1730, размещенный на панели 4А пульта оператора.

Показания одного из трех измерительных каналов ИСС можно вывести на регистрирующий прибор типа РП160-17, размещенный на п. 6 ЩО

Диапазон измерения скорости счёта составляет от 2 до10*Е4 имп./сек.

4.2.2 Подвеска КНТ-31

Подвеска состоит из герметичного гибкого металлорукава (материал - нержавеющая сталь), в нижней части которого укреплена камера деления КНТ-31. В верхней части металлорукав имеет специальный электрический разъём, с помощью которого он крепится к выносному каскаду КВ.3М, который является частью схемы прибора ИСС.3М. Длина подвески 13500 мм. Диапазон рабочих температур 0 - 100 °С. Сопротивление изоляции при Т = 20 °С и относительной влажности 80 % не менее 5*10 Е8 Ом. Охлаждение гильзы, в которую устанавливается подвеска, обеспечивается водой контура охлаждения каналов СУЗ, КД и КОО.

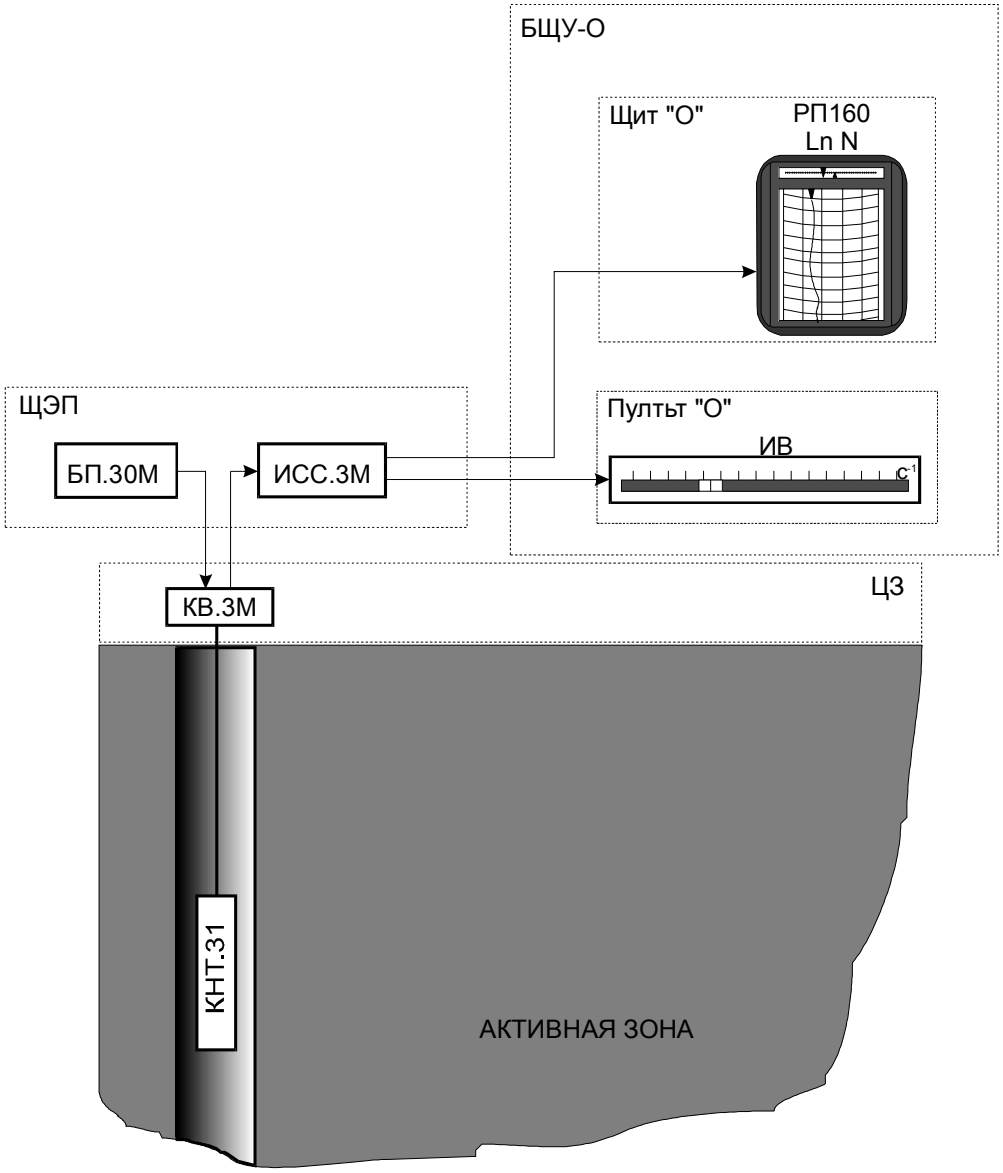

Рис. 4-4 Функциональная схема канала ИСС

Подвески устанавливаются в отражателе активной зоны в следующих ячейках:

- ИСС-1 - 10-30;
- ИСС-2 - 50-10;
- ИСС-3 - 67-47.

Для уменьшения влияния ионизирующего излучения схема, находящаяся внутри КВ.3М, закрыта специальным свинцовым экраном. Настройка прибора ИСС.3М осуществляется совместно с КВ.3М.

4.2.3 Импульсная камера деления КНТ-31

Импульсная камера деления КНТ-31является детектором потока нейтронов малой плотности реактора, находящегося в подкритическом состоянии, а также при выводе реактора в критическое состояние после его останова, на уровнях мощности от 10*Е-11 до 10*Е-8 $N_{ном}$ (при частичном извлечении КД - до 1*10-7 $N_{ном}$). Конструктивно камера представляет собой двухэлектродную цилиндрическую камеру. Электроды представляют собой набор коаксиальных тонкостенных цилиндров с наружными диаметрами 10, 18, 26 и 32 мм. Цилиндры скреплены по концам двумя конусными керамическими изоляторами, стягиваемыми центральной стойкой. Внутри камера заполнена газовой смесью, состоящей из 98 % аргона и 2 % азота при давлении 0,25 МПа (2,5 кг/см^2). Электроды имеют урановое покрытие, обогащённое изотопом U_{235} до 90 %. Покрытие наносится со стороны, контактирующей с межэлектродным зазором, в виде закиси-окиси урана. Импульсные камеры деления, содержащие ядра U_{233}, U_{235} или Pu_{239}, являются эффективными детекторами тепловых нейтронов. Импульсы тока формируются при появлении в электрическом поле камеры ионов, образованных осколками деления, ионизирующими газовую смесь, которая заполняет камеру. В следствие того, что осколки деления, вызывающие ионизацию газа, обладают большой энергией (до 100 МЭВ) появляется возможность регистрировать нейтроны на фоне интенсивного γ-излучения. Компенсация γ-фона производится подбором уровня дискриминации амплитуды импульсов в измерителе скорости счёта ИСС.3М.

Сигналом импульсной камеры является скорость счёта:

$$N = h_{имп}F,$$

где: $h_{имп}$- чувствительность камеры, F - нейтронный поток.

Технические характеристики КНТ-31:

- высота - 235 мм;
- диаметр - 32 мм;
- чувствительность к тепловым нейтронам - 0,25 имп/нейтрон/кв.см;
- высота чувствительной части - 200 мм;
- предел рабочей температуры - 400 °С;
- рабочее напряжение (600 - 1000) В;

- номинальное значение амплитуды импульса - 100 мкВ.

4.2.4 Блок питания БП.30М

Для питания камеры деления используется блок питания типа БП.30М, структурная схема которого представлена на Рис. 4-5. Он представляет собой регулируемый источник постоянного напряжения, особенностью которого является очень малый коэффициент пульсаций (переменная составляющая не превышает 1 мкВ), необходимый для нормальной работы схемы счёта.

Напряжение 220 В 50Гц поступает на трансформатор через схему ограничения по амплитуде, чем обеспечивается предварительная стабилизация по первичному питанию за счёт того что синусоидальное напряжение превращается в трапециидальное, ограниченное на уровне 180 В. Понижающий трансформатор обеспечивает питанием блок контроля. Выпрямленное напряжение стабилизируется транзисторным стабилизатором компенсационного типа и поступает на питание генератора повышенной частоты (1000 Гц). Далее напряжение повышенной частоты запитывает повышающий трансформатор, имеющий на выходе несколько обмоток со схемами удвоения напряжения. На выходе имеется Г-образный фильтр для сглаживания пульсаций выходного напряжения. Переключатель выходного напряжения коммутирует последовательно выпрямленные напряжения, в результате их суммирования на выходе дискретно выставляется необходимая величина напряжения. Напряжение, подаваемое на КД, регулируется от 400 до 1000 В и выставляется из расчёта выхода рабочей точки характеристики камеры в центр «плато» (см. **Рис. 4-2**). Общий провод подключается к спецконтуру реактора, а положительное напряжение подаётся высоковольтным коаксиальным кабелем без промежуточных соединений к подвеске КД. Блок контроля предназначен для выдачи сигналов: "Неисправность" (выключенное состояние блока) и "Работа" на лицевую панель блока и в систему централизованного контроля.

Примечание: Спецконтур представляет собой медную шину, уложенную по периметру активной зоны под настилом в верхней части схемы «Е», к которой подключены корпуса подвесок ионизационных камер. Экраны ысокочастотных кабелей через разъёмы имеют электрический контакт о спецконтуром. Медная шина спецконтура с восточной и западной стороны кабелями с большим сечением соединяется с надёжными заземлениями, причём сопротивление не должно превышать 0,8 Ом. Кабели, идущие к заземлению, не должны иметь электрического контакта с арматурой и другими конструкциями здания, а также не должны иметь контакта с другими шинами заземления. Подобное жёсткое требование к организации спецконтура вызвано необходимостью максимально защитить измерительную часть СУЗ от влияния помех и наводок от другого электрооборудования. Спецконтур выводится специальной шиной на ЩЭП.

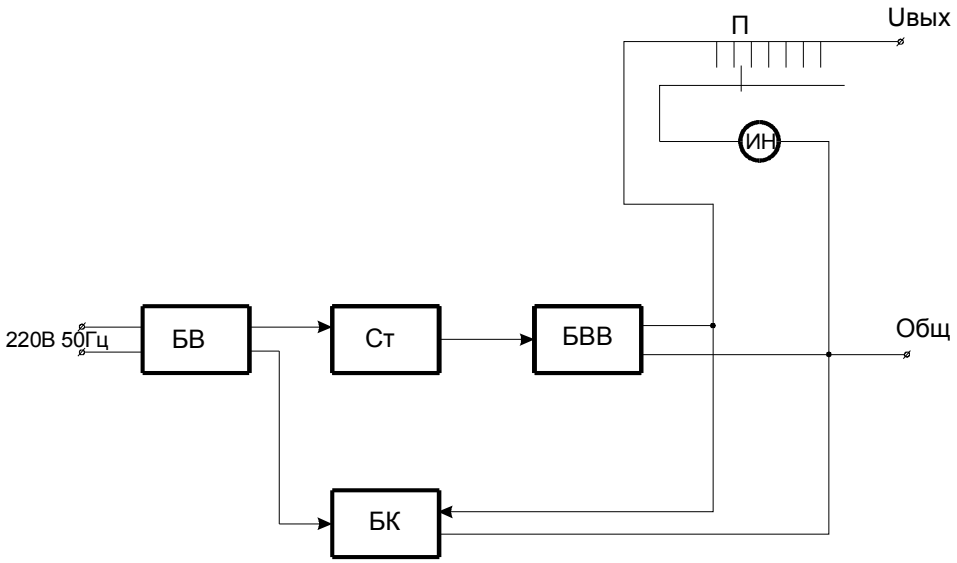

Рис. 4-5 Структурная схема блока питания БП.30М

БВ - блок выпрямителя; СТ - стабилизатор выпрямленного напряжения; ББВ - блок выходной высоковольтный; БК - блок контроля; ИН - вольтметр-индикатор напряжения; П - переключатель величины напряжения выхода.

4.2.5 Прибор ИСС.3М

На Рис. 4-6 показана функциональная схема прибора ИСС.3М вместе с выносным каскадом КВ.3М. Схема измерения скорости счёта имеет длинные линии между источником информации (КД) и непосредственно схемой счёта, что может приводить к появлению помех. Поэтому в схеме использован выносной каскад, размещаемый непосредственно у подвески КД. Несмотря на это схема подвержена влиянию помех. Для защиты от них используется амплитудный дискриминатор с регулируемым уровнем дискриминации при настройке прибора. Прошедшие дискриминатор импульсы нормируются по амплитуде и длительности (схема нормализации) и поступают на интегрирующую схему (схема измерения интенсивности скорости счёта). Напряжение на выходе интегратора пропорционально количеству импульсов в единицу времени. Максимальная скорость счёта составляет 1*10E4 имп/сек. При достижении этой величины формируется сигнал о достижении предела и показания прибора падают до 0. Для восстановления показаний скорости счёта во время вывода реактора в критическое состояние производится частичное извлечение КД из активной зоны. Момент выхода реактора в

критическое состояние фиксируется измерительными каналами АЗС, вычислителя реактивности ЦВР-9.

В схеме прибора предусмотрена упрощенная схема измерения периода увеличения нейтронного потока, которая из-за несовершенства отключена на основании технического решения. В состав данной схемы входят:

- Д - дифференцирующая цепь;
- М - модулятор;
- УЗ - усилитель и демодулятор.

Питание прибора осуществляется напряжением 220 В 50 Гц. На входе обеспечивается стабилизация по первичному питанию методом ограничения амплитуды. Для снижения взаимного влияния отдельных схем прибора друг на друга предусмотрена развязка их по питанию, т.е. организация отдельного питания для каждой из схем. Для оперативного контроля работоспособности канала служит генератор контрольного сигнала. Такая проверка позволяет проверить целостность кабелей от приборов на ЩЭП (ИСС.3М и БП.30М) до КВ.3М. Для выполнения проверки производится переключение высоковольтного кабеля с гнезда "ВН" на гнездо "Контроль". На лицевой панели прибора переключатель контроля переводится из положения "Откл." в положение 100 имп/сек, затем - 1000 имп/сек. При исправной работе схемы показывающий прибор на лицевой панели прибора и выносной индикатор на пульте оператора покажут соответствующие значения скорости счёта.

В СЦК СКАЛА выдаётся информация о неисправности блока питания (БП ИСС-1,2,3), достижении предельной величины скорости счёта и неисправности (отключении) ИСС.3М. Сигналы от ИСС.3М и БП.30М поступают в шкаф ССЗ. Сигналы релейные, наличие сигнала - размыкание замкнутой при нормальной работе группы контактов реле. Отображение сигналов - световые табло на панели 6 щита оператора. Табло на ЩО скомпонованы поканально. После вывода реактора в критическое состояние блоки питания БП.30М и приборы ИСС.3М выключаются, подвески КД извлекаются из каналов, выносные каскады укладываются в шкафы на места постоянного хранения, а подвески размещаются в пеналах сухой шахты. Кабели отключаются от выносных каскадов и хранятся в специальных нишах в ЦЗ. Вызывная сигнализация на ЩО о выключении БП.30М и ЙСС.3М будет присутствовать до достижения основного диапазона мощности реактора и перевода ключа "КЗМ" на пульте оператора в положение "АЗММ ОТКЛ".

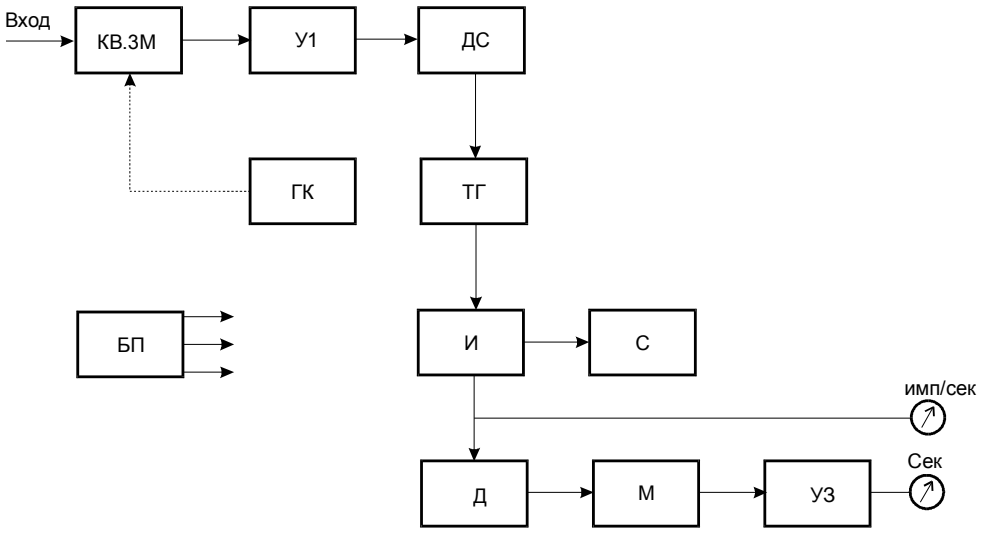

Рис. 4-6 Функциональная схема прибора ИСС.3М

КВ - каскад выносной КВ.3М; У1 - предварительный усилитель импульсный; ДС - дискриминатор уровня сигнала; ТГ - триггер формирователь нормированных импульсов; И - интегратор; С - схема пороговой сигнализации (узел сигнализации); БП - блок питания прибора; ГК - генератор контрольного сигнала.

4.3 Схема измерения нейтронной мощности и реактивности

4.3.1 Состав, назначение

Схема измерения нейтронной мощности и реактивности предназначена для измерения реактивности и средней нейтронной мощности реактора. Функциональная схема изображена на Рис. 4-7.

Измерение и регистрация осуществляются в линейном масштабе в диапазоне от 8*10E-8 до 1,25 $N_{ном}$ по сигналам от четыр÷х ионизационных камер типа КНК.53М, установленных на подвесках типа РБМ-К7 Сб.38. Подвески размещаются в БИК - 1, 7, 13 и 19. Питание камер обеспечивается одним источником питания типа БП.39. Собирающие электроды, выдающие токовый сигнал, пропорциональный нейтронному потоку, соединены параллельно, т.е. токи ионизационных камер алгебраически суммируются на основании первого закона Кирхгоффа. Коммутации цепей питания камер и собирающих электродов осуществляются в тр÷х шкафах ШРП, ШРС и ШРМ, находящихся в электрощитовой СУЗ (пом.1004/1). Питание камер осуществляется с

помощью двух кабелей: «+ 500В» и «- 500В», общий провод соединяется со спецконтуром.

Суммарный ток от ионизационных камер поступает от ШРС на вход ЦВР-9, где происходит цифровая обработка сигнала. Входной электрометрический усилитель реактиметра преобразует токовый сигнал ионизационных камер в напряжение постоянного тока, пропорциональное току. В пределах одной декады изменения входного тока усилитель формирует постоянное напряжение в линейном масштабе в диапазоне 0 - 100 мВ. Регистрация значений мощности и реактивности осуществляется с использованием самопишущих милливольтметров типа КСП4-040. Переключение диапазонов регистрации средней мощности осуществляется автоматически самим прибором ЦВР-9.

4.3.2 Цифровой вычислитель реактивности ЦВР-9

Схема реактиметра позволяет измерять ток ионизационных камер в диапазоне от 1*10E-11 до 1*10E-2 А и рассчитывать реактивность в диапазоне от $0{,}02\beta_{эфф}$ до $20\beta_{эфф}$. Весь диапазон разбит на 8 поддиапазонов, устанавливаемых оператором с помощью переключателя, расположенного на лицевой панели прибора:

1. От -0,02 до +0,02 $\beta_{эфф}$;
2. От -0,05 до +0,05 $\beta_{эфф}$;
3. От -0,1 до +0,1 $\beta_{эфф}$;
4. От -0,5 до +0,5 $\beta_{эфф}$;
5. От -1,0 до +1,0 $\beta_{эфф}$;
6. От -5,0 до +5,0 $\beta_{эфф}$;
7. От -10,0 до +10,0 $\beta_{эфф}$;
8. От -20,0 до +20,0 $\beta_{эфф}$

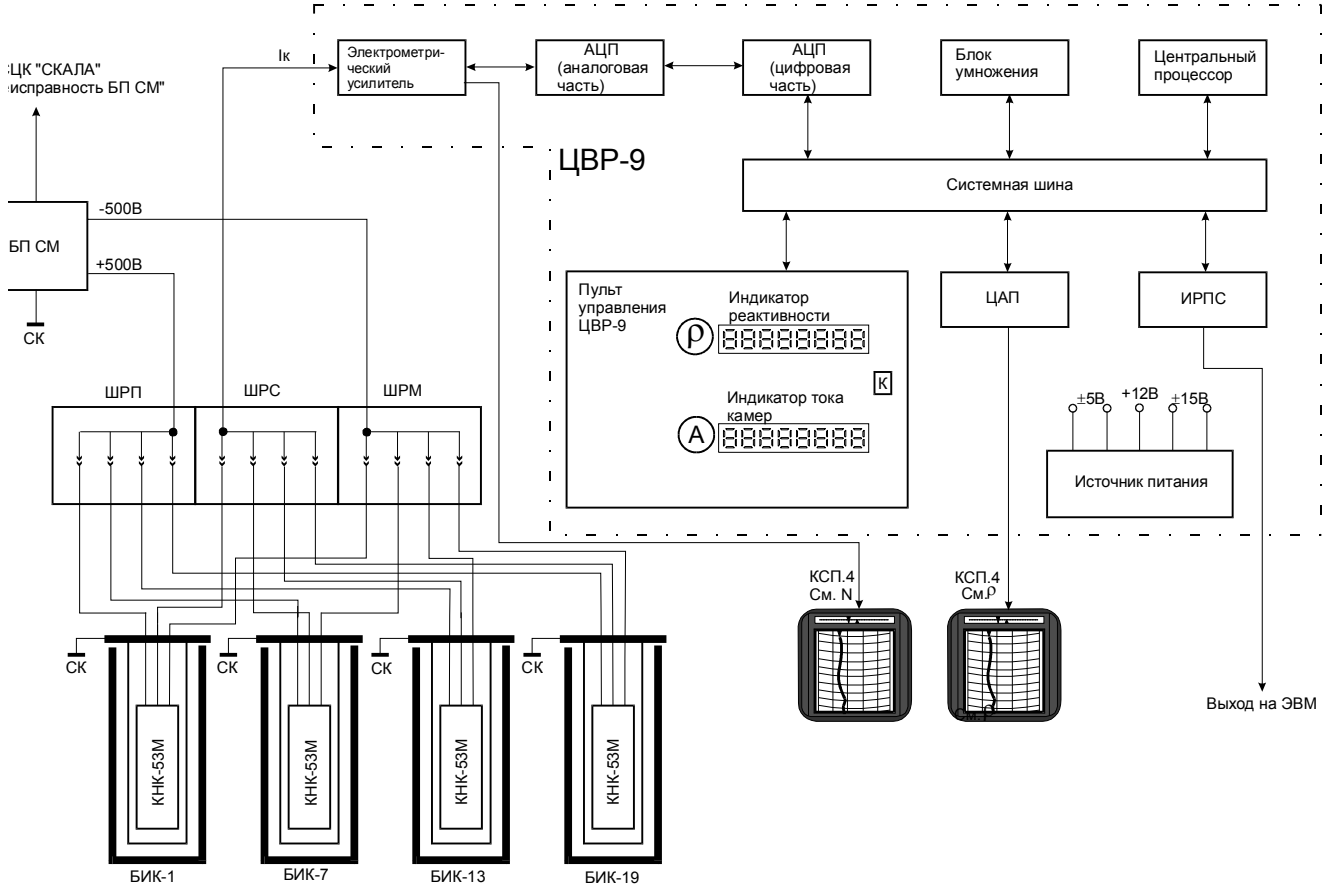

Рис. 4-7 Функциональная схема измерения средней мощности и реактивности

СК - спецконтур; К - индикатор константы (на пульте управления ЦВР-9); См N - самописец средней мощности; См r - самописец реактивности; ЦВР-9 - цифровой вычислитель реактивности; ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь; АЦП - аналого-цифровой преобразователь.

Диапазон измерения токов разбит на 9 поддиапазонов:

1. (10E-11 ÷ 10E-10) А;
2. (10E-10 ÷ 10E-9) А;
3. (10E-9 ÷ 10E-8) А;
4. (10E-8 ÷ 10E-7) А;
5. (10E-7 ÷ 10E-6) А;
6. (10E-6 ÷ 10E-5) А;
7. (10E-5 ÷ 10E-4) А;
8. (10E-4 ÷ 10E-3) А;
9. (10E-3 ÷ 10E-2) А.

В этих поддиапазонах реактиметр ведёт непрерывное вычисление реактивности и выдачу информации о средней мощности, при этом, индикация реактивности на лицевой панели прибора осуществляется стрелочным прибором и в цифровом виде. Ток представлен в виде мантиссы и порядка. Реактивность отображается также стрелочным индикатором и в цифровом виде - знак и значение мантиссы.

Как видно из функциональной схемы (Рис. 4-7), вся обработка информации в ЦВР-9 осуществляется в цифровой форме. Преобразование информации в аналоговую форму используется только для передачи её на регистрирующие приборы. В программе используется специальная константа, задаваемая оператором и определяемая величиной наработанной концентрации плутония в процессе кампании. На практике значение константы устанавливается «4». Т.к. ЦВР-9 рассчитывает величину реактивности, которая является производной от изменения тока ионизационных камер, то для обеспечения необходимой точности вычислений необходимо накопление информации. Исходя из этого, прибор начинает выдавать значения реактивности только после накопления начальных условий для начала работы программы вычислений. Ионизационные камеры, помимо полезного токового сигнала, имеют собственный шум (флюктуации тока), которые при обработке сигнала отфильтровываются. Схемная реализация ЦАП и электрометрического усилителя предусматривает выдачу информации в различных масштабах, как в виде токового сигнала, так и в виде напряжений. В данном варианте

используется выдача сигнала в виде напряжения постоянного тока в масштабе 0 ÷ 100 мВ, при этом на самописце реактивности значению 0 соответствует выдаваемое напряжение 50 мВ, т.е. середина шкалы прибора.

4.3.3 Ионизационная камера КНК-53М

Ионизационная камера КНК-53М является камерой рабочего диапазона, токовая, компенсированная, с твёрдым борным покрытием электродов (см. Рис. 4-3). Покрытие выполнено бором, обогащённым изотопом B_{10}, степень обогащения 85 %. Покрытие нанесено только на положительные электроды, площадь покрытия около 1800 $см^2$. Конструктивно камера представляет набор пластин диаметром 44,5 мм, закреплённых на стержневых электродах. Общее количество пластин в электродной системе 148 штук и они образуют по 77 ячеек в борной и компенсирующей частях камеры. Для большей жёсткости электродная система разделена по высоте на 4 секции опорными кольцами. Камера заполнена газовой смесью, состоящей из 94 % гелия и 6 % азота при давлении 0,6 МПа.

Технические характеристики камеры КНК-53М:

- чувствительность к тепловым нейтронам - 1,4*10Е-14 А/(нейтрон/$см^2$/сек);
- чувствительность к γ-излучению - около 1,5*10 Е -12 А/(Р/ч);
- рабочее напряжение - ±500 В;
- максимальный допустимый рабочий ток - 4000 мкА;
- диаметр камеры - 50 мм;
- высота камеры - 512 мм;
- высота чувствительной части - 328 мм;
- напряжение на катоде камеры (-500 В) - не регулируется;
- ток камеры на номинальной мощности - не менее 150 мкА.

Конструкция подвески РБМ-К7 Сб.38 с камерой КНК-53М представляет собой алюминиевую герметичную трубу, в нижней части которой размещена сама ионизационная камера, подвешенная на жёсткой алюминиевой штанге. Для обеспечения защиты в верхней части подвески штанга выполнена в виде стального цилиндра. В верхней части подвески труба соединена с герметичной клеммной коробкой. Токоведущие жилы, проходящие от камеры до клеммной коробки по всей длине изолированы от металлических конструкций подвески специальными керамическими изоляторами. От канала подвеска изолирована специальными втулками, равномерно распределёнными по высоте трубы подвески. Подключение подвески к источнику питания и электронным приборам осуществляется высокочастотным коаксиальным

кабелем через герметичный разъём. Большинство деталей подвески выполнено из алюминия, корпус клеммной коробки и сама камера выполнены из нержавеющей стали. При установке в БИК фланец уплотняется резиновой прокладкой, крепление выполняется тремя болтами невыпадающей конструкции.

4.4 Измерительная часть аварийной защиты реактора по уменьшению периода нарастания мощности в пусковом диапазоне (АЗС)

4.4.1 Состав, назначение

Измерительная часть схемы защиты реактора по уменьшению периода нарастания мощности в пусковом диапазоне (АЗС) предназначена для осуществления в диапазоне от 4*10E-8 до 6*10E-2 $N_{ном}$.

- контроля нейтронного потока в логарифмическом масштабе,
- измерения периода нарастания мощности,
- формирования и выдачи предупредительных, аварийных сигналов в схему логики аварийной защиты по скорости,
- формирования и выдачи предупредительных, аварийных сигналов в СЦК СКАЛА для отображения сигнализации на щите оператора (информационная поддержка оператора).

Значение уставки аварийной защиты по скорости определяется "Технологическим регламентом эксплуатации энергоблока № 3" 1Э-С-II и задана равной 20 сек. Данная уставка выставляется на лицевой панели приборов УЗС.13 и опечатывается после установки прибора на рабочее место в ЩЭП.

Измерительная часть аварийной защиты по скорости представляет собой три независимых идентичных канала. На рисунке Рис. 4-8 представлена схема измерительной части одного канала защиты по скорости пускового диапазона.

Измерительный канал АЗС состоит из следующих элементов:

- пусковой компенсированной ионизационной камеры типа КНК-56, установленной в подвеске РБМ-К7 Сб.39;
- блока питания пусковой ионизационной камеры БП.38 в комплекте с ЩУ.1М, предназначенным для плавной регулировки отрицательного напряжения питания ИК при изменяющемся γ-фоне для компенсации его воздействия на камеру;

- усилителя защиты по скорости УЗС.13 с выносным каскадом КВ.2 (усилитель с логарифмической характеристикой коэффициента усиления);
- выносных узкопрофильных показывающих приборов (микроамперметры типа М-1730): индикаторы тока ионизационной камеры в логарифмическом масштабе и периода нарастания мощности.

Диапазоны измерения:

- тока ионизационной камеры - от 10 Е-11 до 10 Е-4 А;
- периода нарастания мощности - от ∞ до 10 сек.

Подвески РБМ-К7 Сб.39 с пусковыми ионизационными камерами КНК-56 устанавливаются в БИК, имеющие дополнительный свинцовый экран, ослабляющий влияние γ-потока на камеру. Это - БИК-6 (канал АЗС-1), БИК-12 (канал АЗС-2) и БИК-18 (канал АЗС-3). БИК-24 также имеет свинцовый экран и является резервным. Свинцовый экран представляет собой цилиндр с толщиной стенки 80 мм, позволяющий снизить γ-поток через камеру примерно на 2 порядка и за счёт этого обеспечить более высокую чувствительность каналов АЗС к нейтронному потоку.

Ток собирающего электрода ионизационной камеры подаётся на вход логарифмического усилителя выносного каскада. В целях уменьшения влияния помех на работу измерительного канала защиты по скорости выносные каскады установлены в специальном трёхстворчатом шкафу АЗС-1,2,3 (пом.1004/1), разнесены поканально и сокращена до минимума длина кабеля от источника информации до первичного преобразования сигнала. Далее сигнал, преобразованный в напряжение, пропорциональное логарифму входного тока, поступает на вход УЗС.13 в схемы измерения LnN, выдачи на регистрацию на самописец LnN (в масштабе 0 ÷ 20 мВ) и измерения периода (дифференцирующий элемент).

Напряжение с выхода дифференцирующего элемента, обратно пропорциональное периоду увеличения тока в "е" раз (е = 2,71... - основание натурального логарифма), поступает в схему измерения периода, усилитель постоянного тока и, далее, на дискриминаторы (пороговые устройства) уровней предупредительной и аварийной сигнализации (ПС и АЗ).

Выносные индикаторы периода нарастания мощности, установленные на пульте оператора, отградуированы от 120 до 20 сек.

Дискриминаторы уровня предназначены для формирования и выдачи в логику и в СЦК СКАЛА дискретных сигналов ПС и АЗ.

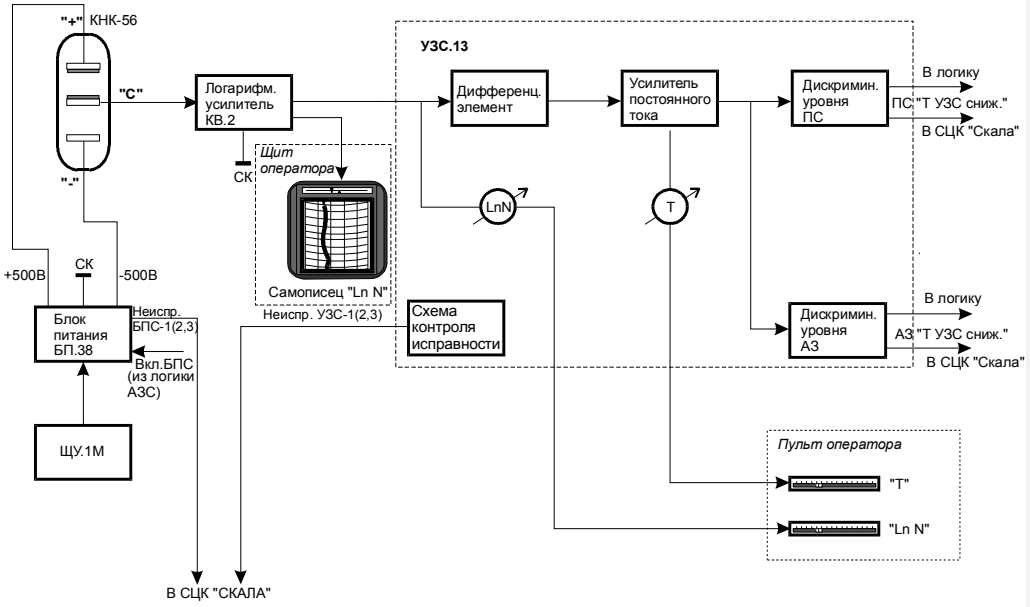

Рис. 4-8 Структурная схема измерительного канала АЗС

На приборе УЗС.13 можно задать уставки АЗ: 30, 20, 15 и 10 сек. При этом обеспечивается формирование предупредительного сигнала при достижении соответственно значений периода 60, 40, 30 и 20 сек., т.е. в 2 раза больше уставки периода срабатывания АЗ.

Сигнал ПС в схему логики АЗС выдаётся в потенциальной форме и снимается при исчезновении первопричины, сигнал АЗ в устройство сигнализации СУЗ выдаётся в контактной форме с запоминанием, снимается только после нажатия кнопки "Деблокировка" на лицевой панели УЗС.13.

Напряжение 220 В, 50 Гц на блоки питания пусковых ионизационных камер (БП.38) подаётся через контакты реле, управляемых схемой логики АЗС. Напряжение на БП.38 подаётся без задержки по времени при переводе ключа КЗС на пульте оператора из положения "АЗСР" в положение "АЗСП", а снимается через 3 сек. после перевода ключа КЗС из положения "АЗСП" в положение "АЗСР".

Приборы УЗС.13 и БП.38 имеют схемы контроля исправности, сигналы от которых выдаются в логику АЗС как аварийные сигналы в канале. На щите оператора (пан.6) сигналы схемы контроля исправности отображаются на световых табло "Неисправность УЗС-1(2,3)" и "Неисправность БПС-1(2,3)".

Приборы УЗС.13, БП.38 и ЩУ.1М скомпонованы поканально и установлены на панелях 1 ÷ 3 ЩЭП.

Самописец "LnN", установленный на панели 6 щита оператора, с помощью переключателя может подключаться для регистрации значений тока в любом из трёх каналов АЗС.

4.4.2 Пусковая ионизационная камера КНК-56

КНК-56 является токовой ионизационной, компенсированной камерой, обладающей высокой чувствительностью к тепловым нейтронам, низкой чувствительностью к γ-потоку и большим значением рабочего тока. Ионизация межэлектродного пространства (радиатора) осуществляется α-частицами, которые образуются в результате воздействия тепловых нейтронов на газообразный трёхфтористый бор, обогащённый до 85% изотопом бор-10. Это обеспечивает чувствительность камеры к тепловым нейтронам 4*10Е-13 А/нейтрон/см^2/сек. Давление газовой смеси внутри камеры 0,2 МПа. Часть камеры, компенсирующая составляющую тока от γ-излучения, наполнена криптоном при давлении 0,65 МПа. Характеристика ионизационной камеры имеет линейный участок в диапазоне токов от 0 до 500 мкА.

Электродная система борной части выполнена в виде набора тонких пластин, собранных в 2 электрода, на 2-х стойках каждый. Расстояние между пластинами - 2 мм. Компенсирующая часть камеры образована двумя трубчатыми тонкостенными электродами диаметром 14 и 15 мм. Обе части герметично разделены тонкой трубой, сваренной непосредственно с фланцем. Ток борной части камеры обусловлен α-частицами и γ-излучением, а ток компенсирующей части - только γ-излучением (см. **Рис. 4-3**). При соответствующем включении электродов ионизационных камер получаем практически полную компенсацию тока, вызванного ионизирующим воздействием γ-излучения, и от собирающего электрода через входной каскад усилителя будет течь ток, зависящий практически только от величины нейтронного потока через ионизационную камеру.

Учитывая нестабильный уровень γ-излучения после останова реактора, для более точной компенсации камеры применяется плавная регулировка отрицательного напряжения питания ИК с помощью ЩУ.1М в комплекте с БП.38. Данная мера позволяет обеспечивать компенсацию γ-фона с погрешностью 10Е-11 А.

Технические характеристики КНК-56:

- диаметр - 50 мм;
- длина - 750 мм;
- длина чувствительной части - 525 мм;

- максимально-допустимая рабочая температура - 200 ^{o}C;
- напряжение на аноде - +500 В;
- напряжение на катоде - Var (0 ÷ 500) В;
- максимальный допустимый рабочий ток - 500 мкА.

Конструкция подвески пусковой ионизационной камеры КНК-56 (РБМ-К7 Сб.39) представляет алюминиевую герметично закрытую трубу, в нижней части которой размещена ионизационная камера, подвешенная на жёсткой алюминиевой штанге. Для обеспечения защиты в верхней части подвески штанга выполнена в виде стального цилиндра. В верхней части труба соединена с герметичной клеммной коробкой. Токоведущие жилы, проходящие от камеры до клеммной коробки по всей длине изолированы от металлических частей подвески керамическими изоляторами. От канала подвеска изолирована специальными втулками, равномерно распределёнными по высоте трубы подвески. Подача напряжений питания и съём полезного сигнала осуществляются через специальные одноштырьковые высокочастотные разъёмы. Большинство деталей подвески выполнено из алюминия. Разъёмы, корпус клеммной коробки и корпус камеры выполнены из нержавеющей стали. При установке на фланец канала подвеска уплотняется резиновой прокладкой, а её корпус электрически соединяется со спецконтуром. Крепление подвески осуществляется тремя болтами невыпадающей конструкции.

Технические характеристики подвески РБМ-К7 Сб.39:

- Длина подвески - 13 040 мм.
- Температурный диапазон - 0 ÷300°C.
- Сопротивление изоляции при 20°C - не менее 10E6 Ом (1 МОм).

4.4.3 Усилитель защиты по скорости УЗС.13

Усилитель защиты по скорости типа УЗС.13 предназначен для измерения величины тока ионизационных камер в пределах от 10 E-11 до 10 E-4 А и скорости изменения этого тока (периода) в пределах от 120 до 10 сек., а также для формирования и выдачи предупредительных и аварийных сигналов при достижении скорости нарастания входного тока значений уставки. Прибор даёт возможность задавать уставки срабатывания АЗ 10, 15, 20 и 30 сек., что автоматически обеспечивает формирование сигнала ПС при достижении скорости нарастания входного тока соответственно 20, 30, 40 и 60 сек.

Примечание: Под периодом следует понимать время, в течение которого входной ток изменяется в "e" раз.

В комплект прибора входит выносной каскад КВ.2. Прибор обеспечивает выдачу сигнала неисправности в СЦК СКАЛА (контактный сигнал) и в логические схемы аварийной защиты по скорости (контактный сигнал). Функциональная схема УЗС.13, схема выносного каскада (логарифмического усилителя приведены на Рис. 4-9

Ток ионизационной камеры, пропорциональный нейтронной мощности реактора, подаётся на вход логарифмирующего усилителя, выполненного в виде выносного каскада и размещаемого в шкафу АЗС (пом.1004/1), и преобразуется с его помощью в напряжение, величина которого пропорциональна натуральному логарифму тока ионизационной камеры.

Логарифмический усилитель выполнен на пентоде 6Ж1Б по схеме триодного логарифматора, логарифмирующим элементом которого является промежуток "управляющая сетка - катод", а усилительным элементом - промежуток

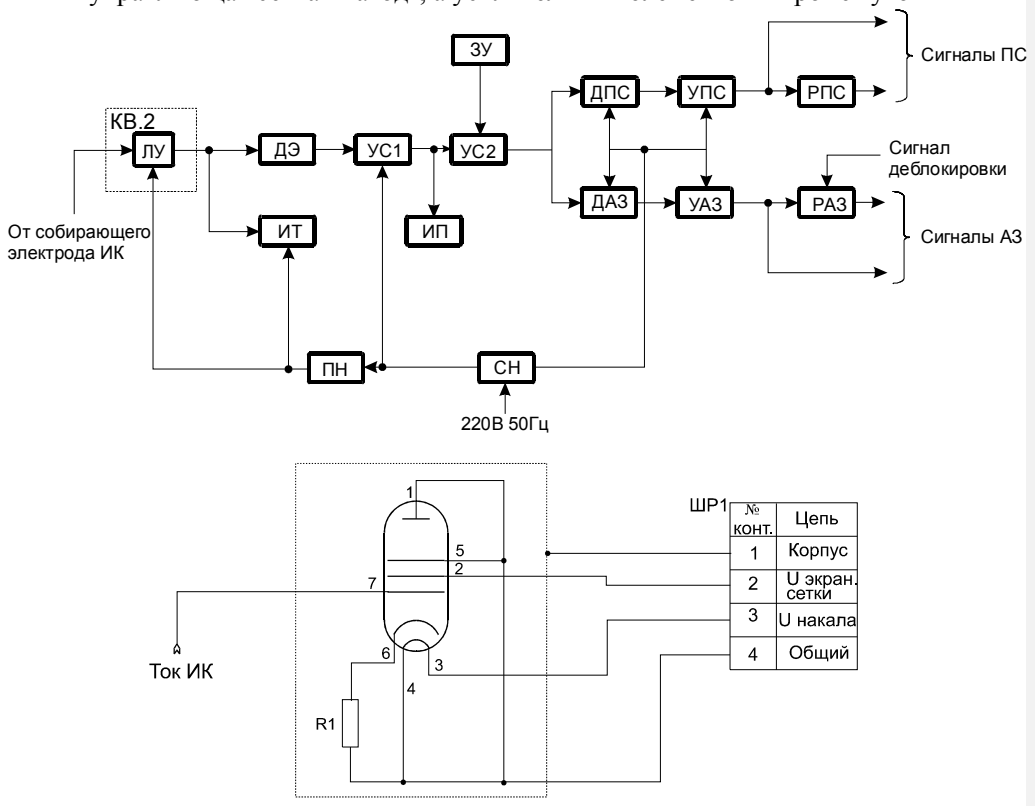

Рис. 4-9 Функциональная схема прибора УЗС.13 и логарифмического усилителя

ЛУ - логарифмирующий усилитель (КВ.2); ДЭ - дифференцирующий элемент; Ус1 и Ус2 - усилители сигнала; ЗУ - задатчик уставки; ДПС - дискриминатор уровня ПС; УПС

- усилитель мощности сигнала ПС; РПС - реле сигнала ПС; ДАЗ - дискриминатор уровня АЗ; УАЗ - усилитель мощности сигнала АЗ; РАЗ - реле сигнала АЗ; ИТ - измеритель входного тока; ИП - измеритель периода; ПН - преобразователь напряжения питания; СН - стабилизатор напряжения питания.

"управляющая сетка - экранная сетка". Напряжение экранной сетки и ток управляющей сетки связаны зависимостью:

$$U_{эк} = U_0 - B\log\frac{I}{I_0},$$

где: I_o и I - соответственно начальное (10E-11 А) и текущее значение тока управляющей сетки;

U_o - напряжение экранной сетки лампы при токе управляющей сетки I_o;

В - крутизна логарифмичекой характеристики лампы.

Выходное напряжение логарифмирующего усилителя подаётся на измеритель входного тока (ИТ), а также преобразуется дифференцирующим элементом (ДЭ) в сигнал, обратно пропорциональный периоду реактора.

Мощность реактора изменяется по следующему закону:

$$N(t) = N_o e^{\frac{t}{T}},$$

$$\frac{N(t)}{N_o} = e^{\frac{t}{T}},$$

$$\ln\frac{N(t)}{N_o} = \frac{t}{T},$$

где N - мощность реактора в момент времени t;

N_o - начальный уровень мощности реактора;

T - период.

Т.к. ток ИК пропорционален мощности реактора, то будет справедливо соотношение:

$$\ln\frac{I}{I_o} = \frac{t}{T}$$

Сигнал на выходе дифференцирующего элемента (ДЭ) определяется следующим выражением:

$$U_{дэ} = \frac{dU_{эк}}{dt} = \frac{d}{dt}(U_o - B\log\frac{I}{I_o}) = \frac{d}{dt}(A\ln\frac{I}{I_o}) = \frac{d}{dt}(A\frac{t}{T}) = A\frac{1}{T},$$

т.е. на выходе дифференцирующего элемента получаем сигнал, обратно пропорциональный величине периода реактора.

В качестве дифференцирующего элемента в приборе УЗС.13 используется RC -цепь. Неидеальность такого дифференцирующего элемента неизбежно приводит к погрешности в определении периода.

Выходной сигнал с ДЭ после усиления усилителем постоянного тока Ус1, выполненного по схеме "модулятор - усилитель переменного тока - демодулятор", подаётся на измеритель периода (ИП встроенный и ИП выносной) и через усилитель Ус2, коэффициент усиления которого регулируется задатчиком уставки ЗУ (переключатель "Уставка АЗ"), - на дискриминаторы уровней ДАЗ и ДПС (пороговые триггеры), выходные сигналы которых после усиления усилителями мощности УАЗ и УПС подаются во внешние цепи логики и на реле сигнализации. Напряжения, снимаемые с коллекторов транзисторов усилителей мощности, образуют выходной сигнал прибора в потенциальной форме (резерв). Контактный выход прибора образуют контакты 2-х реле, обмотки которых также являются нагрузками усилителей мощности. На контактах этих реле, кроме того, выполнена световая сигнализация срабатывания дискриминаторов (лампы "Предупр." и "Аварийн." на лицевой панели прибора).

Измеритель входного тока (ИТ) выполнен на микроамперметре М4204 с добавочными резисторами. Шкала прибора проградуирована в значениях тока от 10Е-11 до 10Е-4 А и имеет логарифмический масштаб. Последовательно с ИТ включается выносной узкопрофильный прибор "Логарифм мощности", установленный на пульте оператора (секция 4А). Для обеспечения работы выносного прибора необходимо на задней стенке УЗС.13 разблокировать его переключателем "приборы выносные". Начальное значение шкалы устанавливается регулировкой "Уст. 10Е-11", вынесенной на лицевую панель УЗС.13, при подаче на вход КВ.2 тока 10Е-11 А от эталонного генератора тока. Указатель измерителя периода (ИП) должен быть при этом установлен на "∞" с помощью регулировки "Уст. ∞ " на лицевой панели прибора.

Сигнал неисправности выдаётся прибором УЗС.13 при:

- обрыве цепи накала электронной лампы логарифмирующего усилителя;

- исчезновении напряжения питания экранной сетки логарифмирующего усилителя;
- исчезновении напряжения питания дискриминаторов уровней;
- исчезновении напряжения питания усилителей мощности АЗ и ПС.

После включения прибора УЗС.13, а также после каждого срабатывания аварийного триггера необходимо производить вручную деблокировку реле АЗ для снятия аварийного сигнала (кнопка "Деблокировка" на панели прибора УЗС.13).

Питание схемы прибора осуществляется напряжением 220 В, 50 Гц от встроенного блока питания.

4.5 Измерительная часть аварийной защиты реактора по уменьшению периода нарастания мощности в рабочем диапазоне (АЗСР)

4.5.1 Состав, назначение

Измерительная часть аварийной защиты реактора по уменьшению периода нарастания мощности в рабочем диапазоне (АЗСР) предназначена для осуществления в диапазоне от 5*10E-2 до 1,25 $N_{ном}$:

- контроля нейтронного потока в логарифмическом масштабе,
- измерения периода нарастания мощности,
- формирования и выдачи предупредительных, аварийных сигналов в схему логики аварийной защиты по скорости,
- формирования и выдачи предупредительных, аварийных сигналов в СЦК СКАЛА для отображения сигнализации на щите оператора (информационная поддержка оператора).

На Рис. 4-10 представлена структурная схема измерительного канала АЗСР. Её отличие от схемы пускового диапазона состоит в использовании в качестве источников информации ионизационных камер типа КНК-57, устанавливаемых в сборках РБМ-К7 Сб.38-1. Эти сборки размещаются в БИК без дополнительного свинцового экрана. БИК-10 подключена к 1-му каналу АЗСР, БИК-22 - ко 2-му каналу АЗСР, БИК-4 - к 3-му каналу АЗСР. Питание ионизационных камер рабочего диапазона не требует регулируемого отрицательного напряжения, поэтому в схеме нет ЩУ.1М и блок питания БП.38 подключен по схеме БП.39. Регистрация значения тока ионизационной камеры осуществляется на самописце РП160-17 $0 \div 20$ мВ, который расположен на панели ПК-2 РПУ. Подключение измерительных каналов АЗСР к самописцу производится через переключатель "АЗСР-1 - Откл. - АЗСР-2" (тумблер со средним положением), расположенный под самописцем.

Таким образом, регистрация значения LnN обеспечивается либо от 1-го, либо от 2-го канала АЗСР. Отключение схемами логики СУЗ питания ионизационных камер измерительных каналов АЗСР не предусматривается.

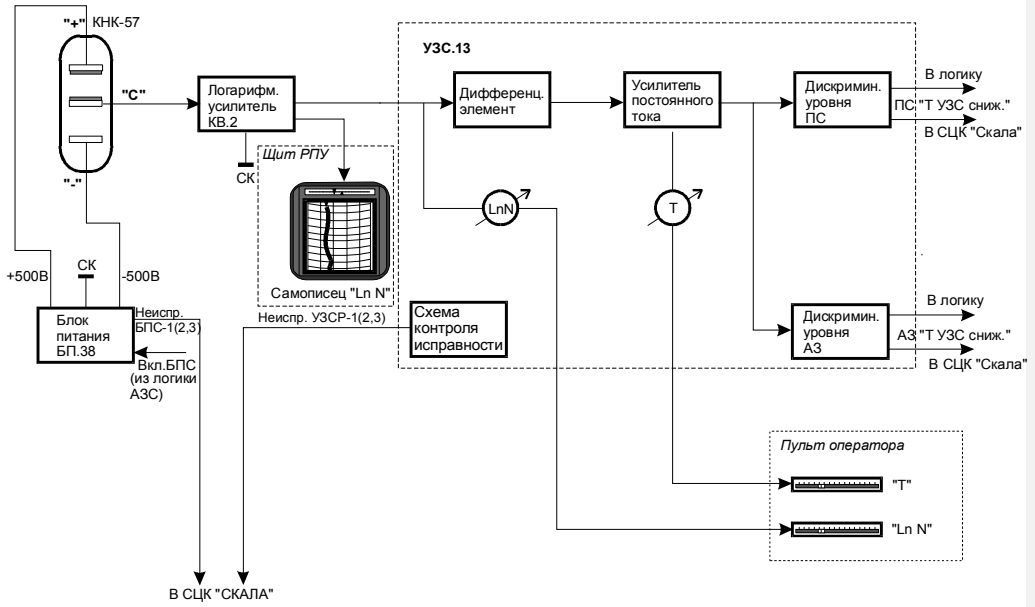

Рис. 4-10 Структурная схема измерительного канала АЗСР

Приборы УЗСР-1,2,3 и блоки питания БПСР-1,2,3 скомпонованы поканально и размещены на панелях 1,2,3 ЩЭП. Выносные каскады поканально разнесены в трёхстворчатом шкафу АЗС-1,2,3 (пом.1004/1).

4.5.2 Блок питания БП.38

Блок питания БП.38 предназначен для питания ионизационных камер и имеет два выходных напряжения: +500 В и -500 В. При работе с щитком управления ЩУ.1М блок питания обеспечивает плавно-ступенчатое изменение отрицательного напряжения в диапазоне от -(2÷6)В до -500В. На Рис. 4-11 приведена структурная схема БП.38.

В основу построения схемы блоков питания ионизационных камер (ПИК и РИК) положен один и тот же принцип. Питание осуществляется от

переменного напряжения 220 В 50 Гц, на входе это напряжение ограничивается по амплитуде, чем обеспечивается стабильность по переменному току, далее переменное напряжение выпрямляется двухполупериодной схемой, фильтруется и стабилизируется по постоянному току. Постоянным стабилизированным напряжением запитывается преобразователь повышенной частоты, который через трансформаторы повышенной частоты (1000 Гц), подаёт это напряжение на выпрямительные схемы и фильтры типа RC. Использование такого принципа позволяет повысить помехозащиту по первичному питанию и улучшить качество фильтрации напряжения питания ионизационных камер. Использование повышенной частоты обеспечивает построение схем плавной регулировки питания отрицательных электродов ИК с применением вращающихся трансформаторов и максимального использования преимуществ этого метода.

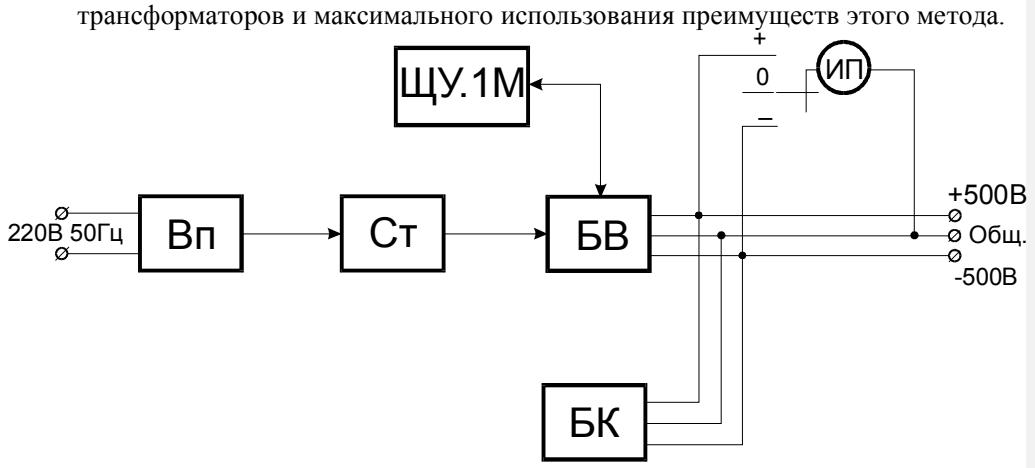

Рис. 4-11 Структурная схема БП.38

Вп - выпрямитель; Ст - стабилизатор напряжения; БВ - блок выпрямителей; БК - блок контроля; ЩУ.1М - выносной щиток управления; ИП - измеритель выходных напряжений.

4.5.3 Рабочая ионизационная камера КНК-57

Как и камера типа КНК-53М является ионизационной, компенсированной камерой с твёрдым борным покрытием электродов, обогащённым до 85 % изотопом бор-10. Покрытие выполнено только на положительных электродах. Площадь покрытия около 1800 см^2. Конструкция камеры представляет набор пластин диаметром 44,5 мм, закреплённых на стержневых электродах. Общее количество пластин в электродной системе - 148, они образуют по 77 ячеек в борной и компенсирующей частях камер. Для повышения жёсткости электродная система разделена по высоте на 4 секции опорными кольцами.

Камера заполнена газовой смесью: гелий - 94 %, азот - 6 % при давлении 0,6 МПа.

Технические характеристики КНК-57:

- Чувствительность камеры к тепловым нейтронам - 3*10Е-15 А/нейтрон/см^2/ сек.
- Чувствительность к γ-излучению - 1,5*10 Е-12 А/Р/ч.
- Напряжения питания электродов - ±500 В.
- Максимально допустимый рабочий ток - 4000 мкА.
- Диаметр камеры - 50 мм.
- Длина чувствительной части - 230 мм.

Конструкция подвески РБМ-К7 Сб.38-1 с КНК-57 аналогична конструкции подвесок РБМ-К7 Сб.38 с КНК-53М и РБМ-К7 Сб.39, описанных ранее.

4.6 Измерительная часть АРМ и АЗММ

4.6.1 Состав, назначение

Измерительная часть АРМ-АЗММ предназначена для осуществления в диапазоне (0,25 ÷ 6) % $N_{ном}$:

- измерения нейтронного потока;
- поддержания заданного уровня мощности реактора;
- определения рассогласования между действительной и заданной мощностью;
- формирования сигналов на управление исполнительными механизмами АРМ с помощью системы синхронизации;
- формирования предупредительных и аварийных сигналов по превышению мощности;
- блокировки измерительных каналов.

Из схемы измерительной части АРМ-АЗММ сигналы в аналоговой форме передаются в схему системы синхронизации на управление исполнительными механизмами и в дискретном виде - в логические схемы СУЗ и СЦК.

Структурная схема измерительной части АРМ-АЗММ изображена на Рис. 4-12.

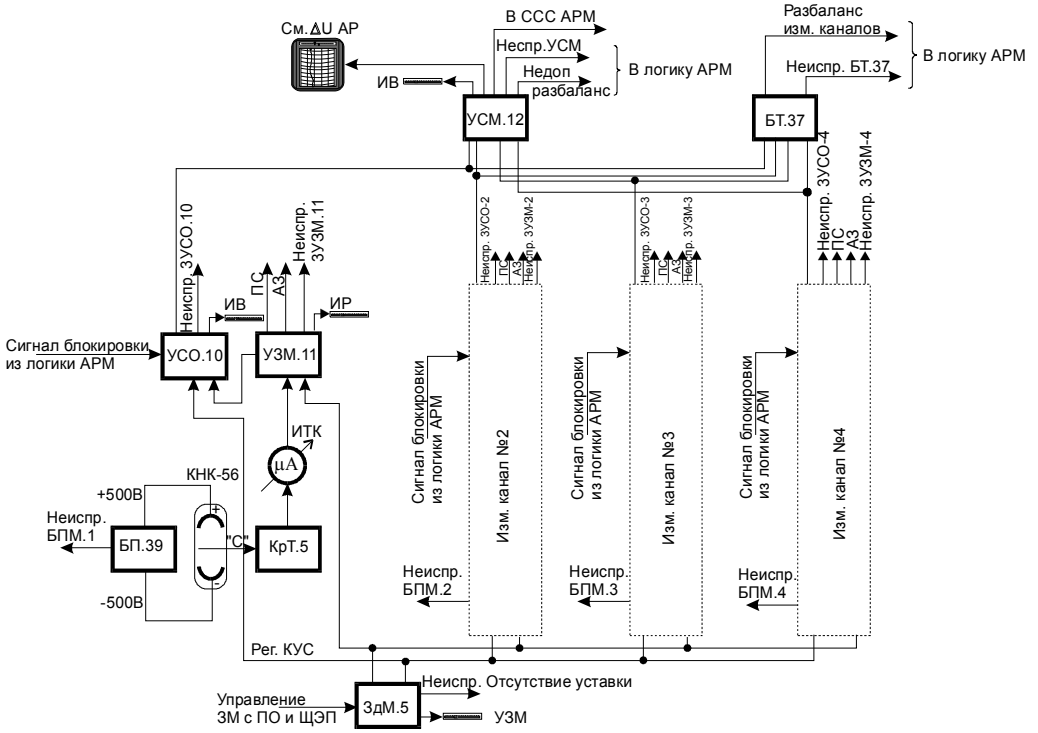

Рис. 4-12 Структурная схема измерительной части АРМ-АЗММ

Измерительная часть АРМ-АЗММ состоит из 4-х идентичных измерительных каналов. В состав измерительного канала входят:

- ионизационная камера КНК-56 в составе подвески РБМ-К7 Сб.39;
- корректор тока камеры КрТ.5;
- усилитель защиты по мощности УЗМ.11;
- индикатор тока камеры ИТК;
- блок питания ионизационной камеры БП.39;
- выносные индикаторы выхода (ИВ) и разбаланса (ИР).

Общими для всех 4-х каналов являются:

- задатчик мощности ЗдМ.5;
- БТ.37 - прибор контроля исправности измерительных каналов АРМ;
- суммирующий усилитель УСМ.12;

- выносные индикаторы заданного уровня мощности и суммарного разбаланса.

Все выносные узкопрофильные приборы, самописцы, усилители защиты по мощности, усилители сигнала отклонения, суммирующий усилитель, задатчик мощности и корректоры тока камер подлежат метрологической поверке.

Подвески ИК АРМ-АЗММ размещены в следующих ячейках:

- БИК-3 - 1-й канал АРМ-АЗММ;
- БИК-9 - 2-й канал АРМ-АЗММ;
- БИК-15 - 3-й канал АРМ-АЗММ;
- БИК-21 - 4-й канал АРМ-АЗММ.

Ток ионизационной камеры поступает на вход корректора тока КрТ.5, затем через ИТК (микроамперметр) в приборы УЗМ.11 и УСО.10.

Аппаратура измерительной части СУЗ настроена исходя из следующего соотношения: 100 % $N_{ном}$ соответствует откорректированный ток камер 100 мкА и напряжение уставки задатчика мощности 100 В. Для измерительных каналов АРМ-АЗММ используется другое соотношение: 5% $N_{ном}$ соответствует откорректированный ток камер 100 мкА и напряжение уставки задатчика мощности 100 В.

4.6.2 Корректор тока КрТ.5

Корректор тока представляет собой пассивный делитель тока на резисторах и обеспечивает коэффициент ослабления от 1,0 до 4,2, регулируемый с помощью вынесенных на лицевую панель переключателей. Структурная схема прибора КрТ.5 приведена на Рис. 4-13. Прибор имеет один вход и два выхода: ВЫХОД и ИЗМЕРИТЕЛЬ. Отношение токов между выходами составляет 40:1. Для предотвращения выхода из строя прибора от перегрузки в случае отключения вторичных устройств на задней стенке прибора предусмотрен тумблер "ВЫХОД ЗАКОРОЧЕН".

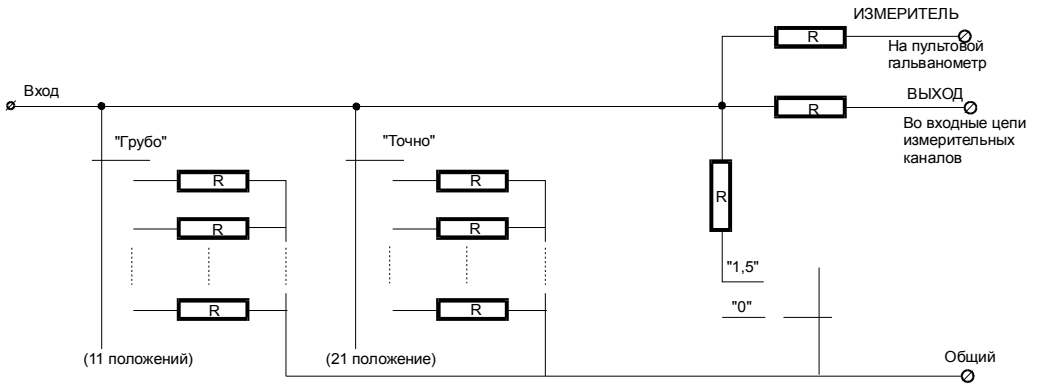

Рис. 4-13 Структурная схема прибора КрТ.5

4.6.3 Блок питания БП.39

Питание ионизационных камер обеспечивается блоком питания БП.39. Блок не имеет регулировки отрицательного напряжения питания компенсирующей части камеры и поэтому его структурная схема выглядит так, как представлено на Рис. 4-14. Принцип формирования напряжений питания электродов ИК такой же как и в БП.38.

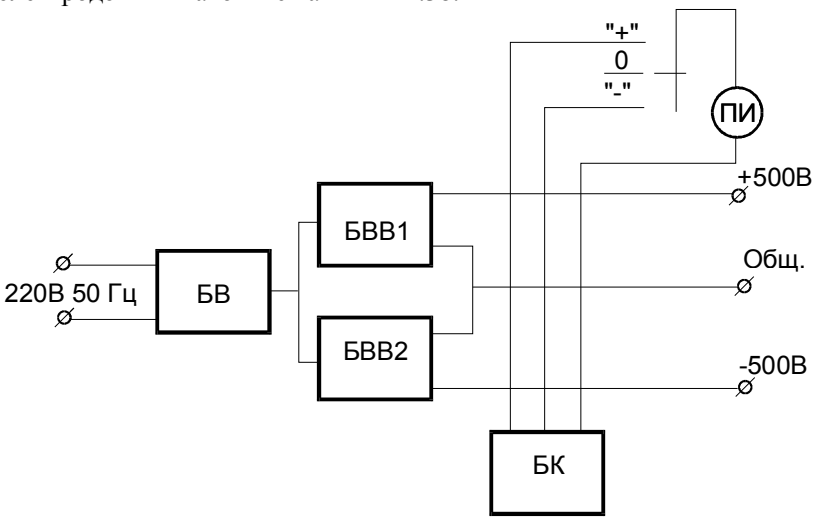

Рис. 4-14 Структурная схема БП.39

БВ - блок выпрямителей; БВВ - блок выпрямителей с удвоением напряжения; БК - блок контроля; ИП - измеритель выходных напряжений

4.6.4 Усилитель защиты по мощности УЗМ.11

Усилитель защиты по мощности УЗМ.11 предназначен для работы совместно с задатчиком мощности типа ЗдМ.5 в схеме аварийной защиты реактора по превышению мощности.

Входными сигналами прибора являются:

- ток ионизационной камеры ($I_к$), изменяющийся от 0 до 100 мкА (вход "+" и вход "-");
- напряжение постоянного тока от задатчика мощности, изменяющееся от -5 до -120 В (в схеме прибора преобразуется в ток ($I_з$)).

Выходными сигналами прибора являются:

- потенциальные сигналы ПС и АЗ в логические схемы защиты по мощности;
- контактные сигналы ("сухие" контакты реле) ПС и АЗ в СЦК СКАЛА и световую сигнализацию на лицевой панели прибора "Предупр." и "Аварийн.";
- разность токов задатчика мощности и ионизационной камеры.

Прибор обеспечивает:

- формирование сигналов ПС и АЗ при превышении тока камеры заданного значения на величину выбранной уставки. В приборе может задаваться "Уставка АЗ" 6, 10, 15 или 20 мкА, срабатывание ПС (предупредительной сигнализации) происходит при превышении тока камеры над заданным значением на величину, равную половине значения уставки АЗ;
- индикацию отклонения тока камеры в пределах заданной уставки АЗ встроенным и выносным электрическими индикаторами разбалансов, на шкалах которых нанесены зоны срабатывания "ПС" и "АЗ" (выносные индикаторы установлены на пан. 5 щита оператора);
- непрерывный контроль исправности прибора (при возникновении неисправности выдаются сигналы ПС и АЗ).

На Рис. 4-15 представлена структурная схема УЗМ.11.

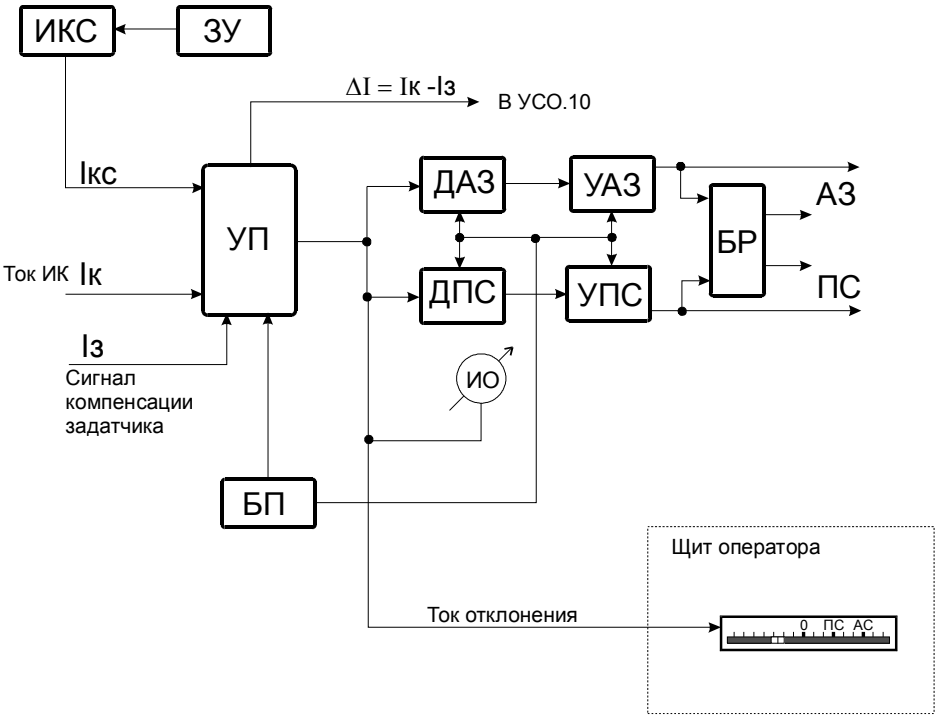

Рис. 4-15 Структурная схема прибора УЗМ.11

БП - блок питания; БР - блок реле; ИО - индикатор отклонения; ДПС - дискриминатор амплитуды ПС; ДАЗ - дискриминатор амплитуды АЗ; УПС - усилитель мощности ПС; УАЗ - усилитель мощности АЗ; УП - усилитель предварительный; ИКС - источник контрольного сигнала; ЗУ - задатчик уставки

Прибор функционально представляет собой усилитель постоянного тока с релейным выходом. Напряжение постоянного тока задатчика мощности ЗдМ.5, пропорциональное заданному уровню мощности, на входе прибора преобразуется в ток задатчика ($I_з$). На вход усилителя также подаётся ток контрольного сигнала ($I_{кс}$). Токи $I_{кс}$ и $I_з$ одного направления, ток ионизационной камеры ($I_к$) - противоположного, таким образом, на вход УЗМ.11 поступает сигнал алгебраической суммы:

$$I_к - (I_з + I_{кс}) = I_к - I_з - I_{кс}.$$

В случае, когда $I_к = I_з$, на вход усилителя поступает только контрольный сигнал ($I_{кс}$). Величина контрольного сигнала определяется задатчиком уставки (ЗУ) и изменяется с помощью переключателя "Уставка АЗ". Усилитель УП осуществляет преобразование $I_{кс}$ в сигнал переменного тока и выполнен таким образом, что на выходе усилителя присутствует переменное напряжение только в том случае, если входной ток удовлетворяет неравенству:

$$I_к - I_з - I_{кс} < 0 \text{ или } I_к < I_з + I_{кс}.$$

Переменное напряжение прямоугольной формы поступает на входы дискриминаторов амплитуды ПС и АЗ (ДПС и ДАЗ) и на индикатор отклонения (ИО). Дискриминаторы амплитуды работают в режиме формирования, срабатывая на переднем и отпуская на заднем фронте отрицательного полупериода переменного напряжения.

Выходные сигналы дискриминаторов поступают на вход усилителей мощности, где усиливаются и преобразуются в напряжения постоянного тока отрицательной полярности. С выхода усилителей мощности сигналы ПС и АЗ поступают во внешние цепи. При увеличении сигнала $I_к$ ($I_к > I_з + I_{кс}$) переменный сигнал в тракте усилителя и на выходе дискриминаторов амплитуды уменьшается и при величине, меньшей порога срабатывания, дискриминатор амплитуды ПС перестанет работать в режиме формирования. На выходе усилителя мощности (УПС) исчезнет постоянное напряжение и во внешнюю цепь поступит сигнал ПС (сигнал логический "0"). При дальнейшем увеличении тока ионизационной камеры ($I_к$) аналогичным образом произойдёт срабатывание по каналу АЗ.

Возникновение неисправности, приводящей к исчезновению сигнала на входе дискриминаторов амплитуды, а также возникновение неисправности в любом из дискриминаторов или усилителей мощности приведёт к исчезновению постоянного напряжения одного или обоих усилителей мощности. В этих случаях на выходе прибора появятся сигналы ПС и/или АЗ.

Через входное сопротивление УЗМ.11 разность $\Delta I = I_к - I_з$ поступает на вход усилителя УСО.10

4.6.5 Усилитель сигнала отклонения УСО.10

Усилитель сигнала отклонения предназначен для работы в системе автоматического регулирования мощности ядерного реактора совместно с задатчиком мощности ЗдМ.5. Усилитель расчитан на работу в диапазоне токов ионизационной камеры от 5 до 120 мкА, соответствующих изменению уставки задатчика мощности от 5 до 120 В.

Прибор обеспечивает:

- усиление (канал нагрузки) сигнала отклонения тока камеры от заданного значения с коэффициентом усиления, регулируемым сигналом от задатчика мощности;
- индикацию (канал индикации) встроенным и выносным приборами относительного отклонения тока камеры от заданного значения в диапазоне ±10 %;
- выходное напряжение в пределах ±10 В, изменяющееся пропорционально величине отклонения и измеряемое встроенным прибором;
- блокировку выхода канала нагрузки;
- контроль наличия питания.

Прибор имеет отдельный вход для подачи напряжения коррекции от корректора уставки КрУ.4.

На Рис. 4-16 приведена структурная схема УСО.10.

Функционально усилитель представляет собой усилитель постоянного тока, построенный по принципу модулятор - усилитель переменного тока - демодулятор. Такой принцип построения позволяет устранить существенный недостаток классических схем усилителей постоянного тока т.н. "дрейф нуля".

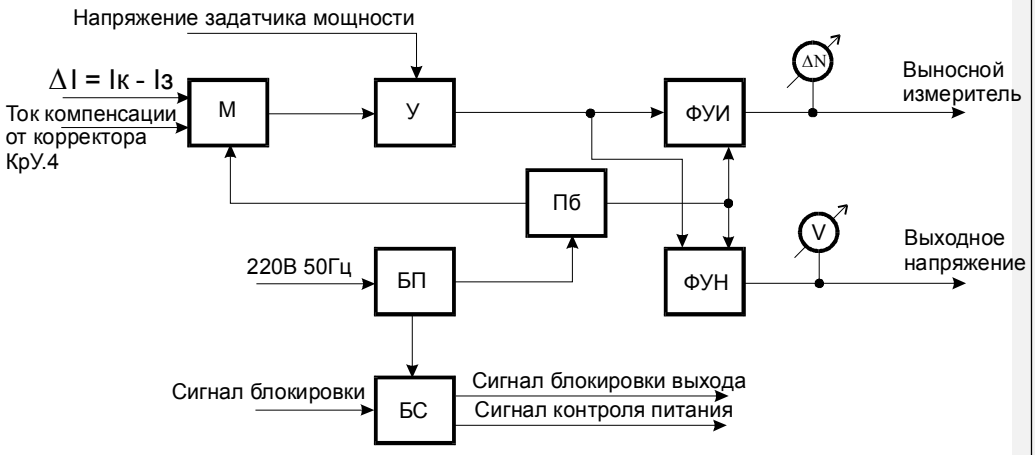

Рис. 4-16 Структурная схема прибора УСО.10

М -модулятор; У - усилитель; ФУИ - фазочувствительный усилитель канала индикации; ФУН - фазочувствительный

усилитель канала нагрузки; БС - блок сигнализации; Пб - преобразователь

Сигнал отклонения тока камеры от тока задатчика преобразуется модулятором (М) в сигнал переменного тока и поступает на вход усилителя переменного тока (У), коэффициент усиления которого регулируется напряжением от задатчика мощности. С выхода усилителя (У) сигнал поступает на вход фазочувствительного усилителя канала индикации (ФУИ) и фазочувствительного усилителя канала нагрузки (ФУН).

Фазочувствительные усилители ФУН и ФУИ преобразуют переменный сигнал отклонения токов в постоянный. Полярность выпрямленного сигнала определяется фазой переменного напряжения на входе усилителей.

Выходные сигналы измеряются в канале индикации измерителем ΔN, в канале нагрузки - вольтметром V.

При подаче из внешней схемы управления сигнала блокировки на блок сигнализации (БС) на выходе канала нагрузки будет нулевое значение напряжения при любом значении отклонения входных токов. Блок сигнализации выдаёт также сигнал о том, что подан сигнал блокировки (горит лампа "Блокировка"). Кроме того, блок сигнализации контролирует подачу напряжения сети на усилитель.

Преобразователь (Пб) обеспечивает питание модулятора и фазочувствительных усилителей импульсами прямоугольной формы. Питание преобразователя напряжения Пб, блока сигнализации и усилителя У обеспечивает блок питания БП, который, в свою очередь, получает питание 220 В 50 Гц от сборок питания СУЗ.

Сигналы от 4-х усилителей УСО.10 (каналы нагрузки) поступают на 4 входа суммирующего устройства усилителя УСМ.12. В УСМ.12 эти сигналы алгебраически суммируются, усиливаются и поступают в систему синхронизации сервоприводов АР и, затем, в исполнительную часть регулятора.

Во входном блоке системы синхронизации установлена величина порога трогания сервоприводов АР (3,5 ÷ 4,0) В, что соответствует величине относительного разбаланса в каналах УСО.10 (0,9 ÷ 1,0) % по ИВ УСО.

С помощью системы синхронизации обеспечивается трёхпозиционное релейное регулирование мощности с симметричной зоной нечувствительности, при этом обеспечивается поддержание заданной мощности с точностью порядка ±1 % заданной мощности.

Реактор, как объект системы регулирования, обладает нелинейностью, поскольку мощность реактора после внесения реактивности изменяется во времени по экспоненциальному закону. Эта нелинейность выражается в том, что равным абсолютным приращениям мощности (в %) на разных её уровнях соответствуют разные величины абсолютных (в мкА) приращений тока камер. Кроме того, необходимо учитывать «вес» стержней СУЗ, который пропорционален квадрату плотности потока нейтронов. Если в системе регулирования использовать абсолютную разность токов камер и задатчика, то на б***о***льших уровнях мощности реактора одинаковым приращениям токов будут соответствовать б***о***льшие значения реактивности, вносимой исполнительными органами регулятора. В процессе подъема мощности реактора это может привести к возникновению автоколебательного режима работы регулятора. Следовательно, абсолютную величину разности токов камер и задатчика нельзя использовать для регулирования мощности на разных её уровнях с одинаковой точностью.

Поэтому в тракте регулирования должно осуществляться нормирование сигнала рассогласования на уровень заданной мощности. Эта задача реализуется путём регулирования коэффициента усиления каждого из 4-х усилителей сигнала отклонения УСО.10 напряжением задатчика мощности (См. Рис. 4-12). Напряжение сигнала отклонения на выходе УСО.10 пропорционально относительному отклонению текущей мощности от заданной. Это напряжение определяется соотношением:

$$U_{вых} = \frac{(I_к - I_з) \cdot 100\% \cdot K}{N_{зд}\%}$$, где К = (1 ÷ 3) В/мкА.

Теперь одинаковым приращениям $I_{вх}$ на б***о***льших уровнях мощности будут соответствовать меньшие значения напряжения на выходе УСО.10.

Прибор настроен так, что его выходная характеристика имеет насыщение при ±15 % относительного разбаланса. Выходная характеристика УСО.10 изображена на Рис. 4-17.

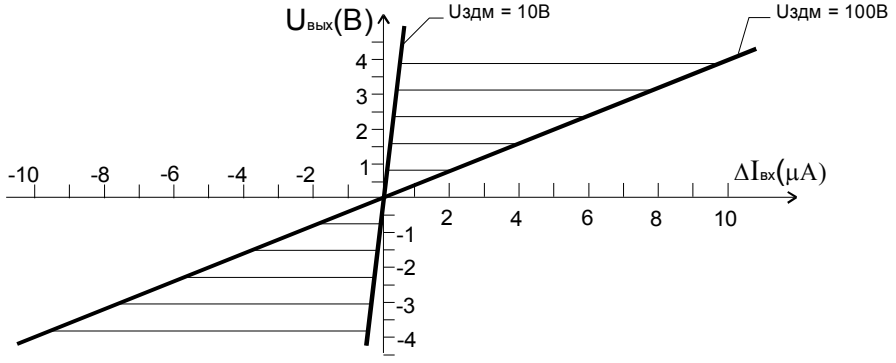

Рис. 4-17 Выходная характеристика УСО.10

4.6.6 Усилитель суммирующий УСМ.12

На Рис. 4-18 изображена блок-схема суммирующего усилителя УСМ.12.

Усилитель суммирующий УСМ.12 предназначен для алгебраического суммирования сигналов отклонения в тракте автоматического регулятора мощности и выдачи управляющего сигнала на приборы исполнительной части АР (в блок управления системы синхронизации сервоприводов).

Входными сигналами прибора являются выходные сигналы каналов нагрузки 4-х усилителей УСО.10.

Входные сигналы изменяются в пределах ±10 В, выходной сигнал - в пределах ±20 В. Выходная характеристика УСМ.12, которая показана на Рис. 4-19, имеет излом на уровне 8 ÷ 12 В. Выходное напряжение УСМ.12 измеряется встроенным и выносным измерителями с погрешностью ±5 %.

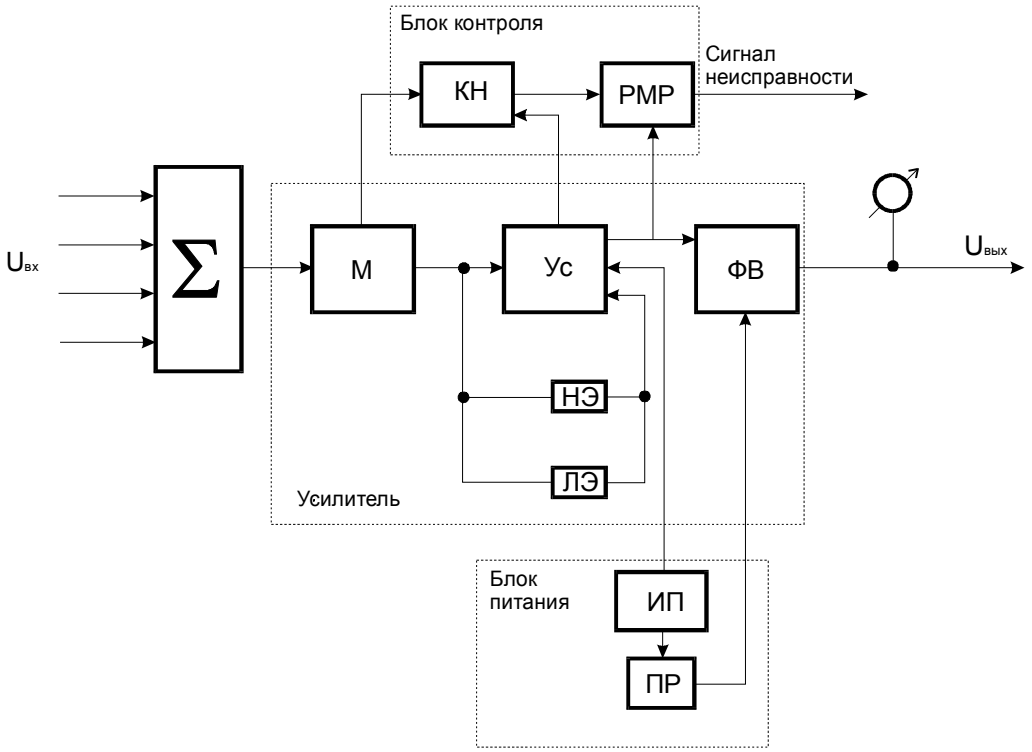

Рис. 4-18 Блок-схема прибора УСМ.12

Σ - суммирующее устройство; РМР - реле максимального разбаланса; КН - контроль неисправности; М - модулятор; Ус - усилитель переменного тока; ЛЭ - линейный элемент обратной связи; НЭ - нелинейный элемент обратной связи; ФВ - фазочувствительный выпрямитель; ИП - блок питания; двухтактный генератор

При достижении выходным сигналом величины (20±2) В в приборе срабатывает реле максимального разбаланса (РМР) и выдаётся сигнал в логическую схему управления регулятором (сигнал "Недопустимый разбаланс" на пульте оператора). Сигналы от УСО.10 в виде напряжений постоянного тока суммируются на входе суммирующего устройства (Σ), алгебраическая сумма напряжений с выхода сумматора поступает на вход модулятора (М). С выхода модулятора сигнал переменного тока поступает на вход усилителя переменного тока (Ус), охваченного отрицательной обратной связью. Регулируемая величина линейной отрицательной обратной связи (ЛЭ) обеспечивает регулировку коэффициента усиления усилителя до "излома"

выходной характеристики. При достижении сигнала на выходе усилителя величины ±(8 ÷ 12)В включается в работу дополнительный нелинейный элемент (НЭ) отрицательной обратной связи, уменьшающий коэффициент усиления усилителя и, как следствие, изменяющий крутизну выходной характеристики.

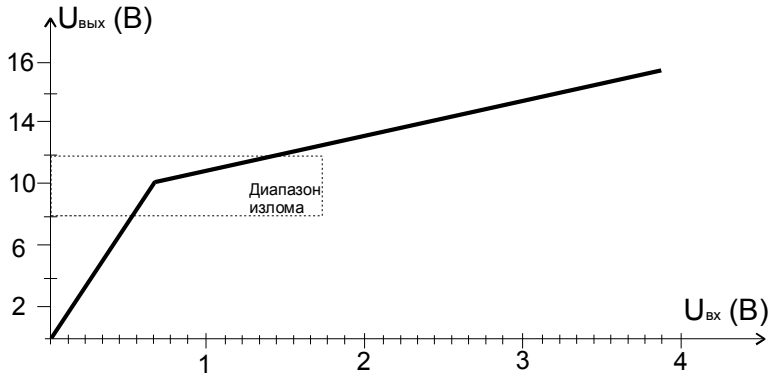

Рис. 4-19 Выходная характеристика прибора УСМ.12

С выхода усилителя сигнал поступает на вход фазочувствительного выпрямителя ФВ, осуществляющего демодуляцию сигнала. Напряжение постоянного тока с выхода ФВ поступает во внешние цепи:

- корректор уставки КрУ.4;
- блок управления системы синхронизации сервоприводов АР (БУ ССС);
- контрольно-измерительные приборы.

Контроль исправности модулятора, усилителя и демодулятора обеспечивается схемой контроля, выходным элементом которой является реле сигнализации. Контактный сигнал неисправности поступает в шкаф ССЗ СЦК СКАЛА и затем на табло "УСМ" ("УСММ") панели 5 щита оператора.

Блок питания (ИП) включает в себя силовой трансформатор, выпрямитель питания реле максимального разбаланса и выпрямитель питания остальных узлов прибора. Цепи переменного тока (управление модулятором и фазочувствительным выпрямителем) питаются от двухтактного генератора ПР.

Выходной сигнал УСМ.12 поступает для регистрации на самописец "ΔU АР", установленный на панели 13 ЩЭП. Самописец "ΔU АР" подключается с помощью реле к выходу суммирующего усилителя автоматического

регулятора, включенного в работу. Командный сигнал на включение реле приходит из логической схемы.

4.6.7 Блок триггеров БТ.37

Блок триггеров БТ.37 предназначен для контроля исправности измерительных каналов АР методом сравнения значений сигналов в этих каналах.

Контроль исправности измерительных каналов АРМ осуществляется по принципу измерения величины собственного разбаланса в каждом из 4-х каналов с помощью блока триггеров БТ.37 (БТМ). Если на выходе УСО.10 любого канала сигнал разбаланса превысит ±15 %, то в данном канале сработает триггер, который выдаст в схему логики АРМ сигнал блокировки данного канала.

Измерительная часть АР остаётся работоспособной при трёх включенных измерительных каналах, при условии, что на пульте оператора заданное количество измерительных каналов установлено "3". При этом несколько меняется коэффициент усиления схемы АР за счёт уменьшения количества входных сигналов.

Благодаря работе БТ.37, при резком снижении из-за неисправности тока одной из камер мощность реактора , поддерживаемая АР, изменяется незначительно (на величину, не превышающую 5 % от заданной).

В схеме автоматических регуляторов основного диапазона (1,2АР) используется сравнение восьми измерительных трактов по кольцевой схеме: 1-2, 2-3.....7-8, 8-1.

Прибор БТ.37 состоит из восьми однотипных и связанных между собой триггерных каналов, на вход которых подаются сигналы с выходов канальных усилителей УСО.10. На Рис. 4-20 изображена блок-схема двух смежных каналов БТ.37.

Сигналы постоянного напряжения с выходов УСО.10 преобразуются с помощью модуляторов в напряжения переменного тока и трансформируются во вторичные цепи трансформаторов ТрТ, имеющие по две одинаковые вторичные обмотки W2 и W3, каждая из этих обмоток включена встречно с одной из вторичных обмоток смежного канала. Таким образом, сигнал рассогласования, поступающий на вход усилителя Ус, представляет собой алгебраическую сумму переменных напряжений, фаза каждого из которых определяется полярностью сигнала, поступающего из тракта регулятора. При превышении сигнала рассогласования над установленным значением порога срабатывания триггера данного канала (15 %, соответствующие 6 В выходного напряжения УСО.10) появляется сигнал в контактной форме и одновременно включается индикаторная лампа соответствующей пары

каналов ("1-2"..."8-1"), расположенная на лицевой панели БТ.37. В приборе БТ.37, устанавливаемом в АРМ, используются только 4 входа: 1, 3, 5 и 7.

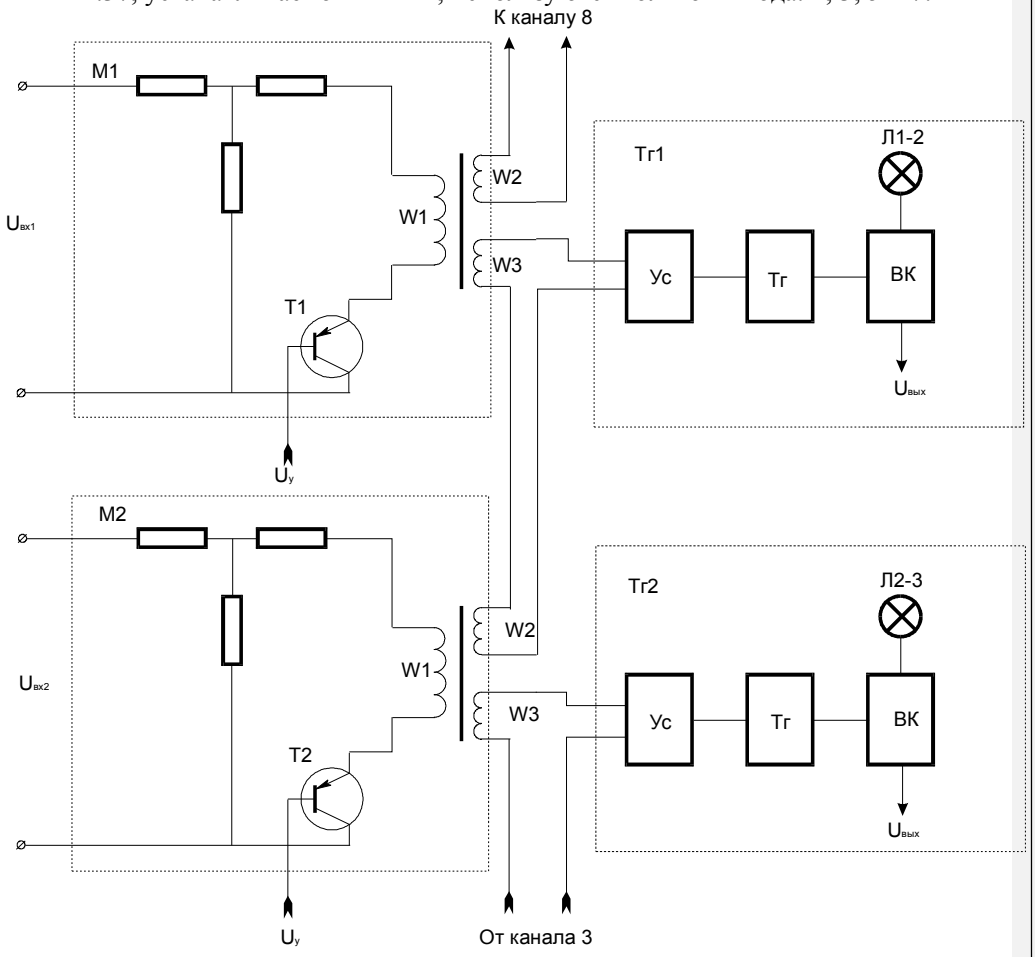

Рис. 4-20 Блок-схема двух смежных каналов Бт.37

Сигнал неисправности БТ.37 в потенциальной форме образуется при исчезновении напряжения питания =24 В канальных триггеров и поступает в СЦК СКАЛА (табло "Изм.канал АРМ" и "Изм. канал 1АР-2АР") и схемы логической части АР для формирования запрета блокировки измерительных каналов.

В приборе предусмотрено устройство для проверки его исправности от внутреннего источника сигналов. При установке переключателя "Работа-проверка" на лицевой панели прибора в положение "Проверка I" напряжение

источника подаётся на все нечётные каналы, а входы чётных закорачиваются, загораются все 8 ламп на лицевой панели прибора. При установке переключателя в положение "Проверка II", напряжение подаётся одновременно на все чётные каналы, а входы нечётных закорачиваются и также загораются все 8 сигнальных ламп.

4.6.8 Задатчик мощности ЗдМ.5

Задатчик мощности ЗдМ.5 предназначен для задания необходимого уровня мощности в схемах автоматического регулирования и аварийной защиты по превышению мощности. ЗдМ.5 является общим прибором для всех каналов АРМ-АЗММ. ЗдМ.5 является дистанционно управляемым источником напряжения уставки, которое во входных каскадах электронных приборов измерительной части преобразуется в ток.

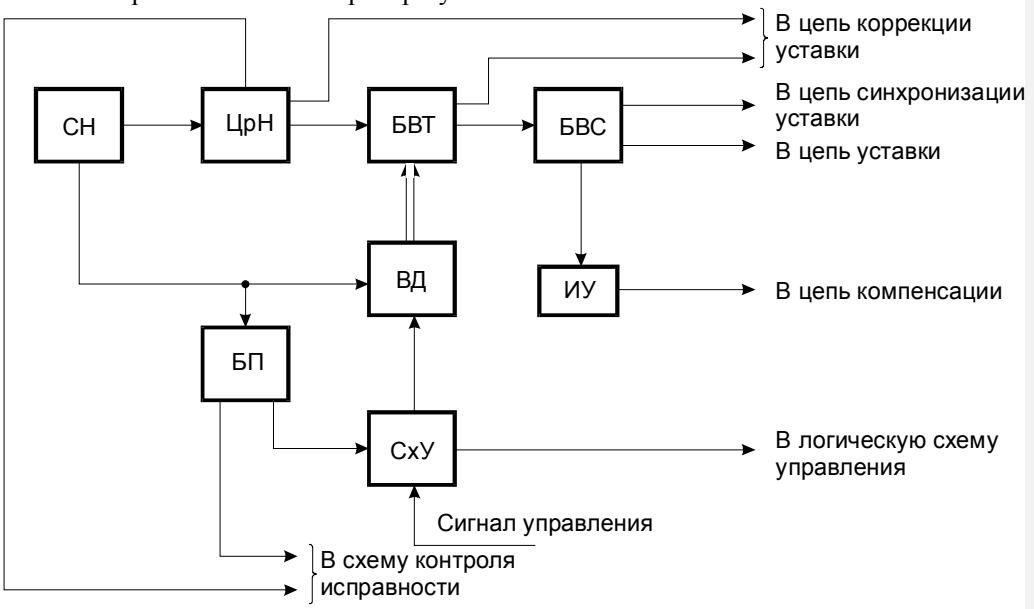

Рис. 4-21 Структурная схема прибора ЗдМ.5

СН - стабилизатор напряжения; ПрН- преобразователь напряжения; БВТ - блок синусно-косинусных вращающихся трансформаторов; БВС- блок выходных сигналов; ВД - блок двигателей и привода вращающихся трансформаторов; ИУ - измеритель уставки; БП - блок питания; СхУ - схема управления.

Входными сигналами прибора являются:

- сигналы от ключей управления КУЗ на ПО и ЩЭП и от кнопки "Быстрое снижение" (секция 3А ПО);
- сигнал из логической схемы АЗ-1,2, разрешающий увеличение уставки задатчика;
- сигнал из логической схемы АЗ-1,2, УСМ, АЗ-5, инициирующий снижение уставки задатчика мощности с аварийной скоростью;
- сигнал от блока синхронного перемещения уставки задатчиков БСП.36.

Выходными сигналами прибора являются:

- сигнал уставки уровня мощности в виде напряжения постоянного тока, линейно изменяющееся во времени (с одним изломом характеристики) по командам от ключа управления или от схем логики в пределах от -5 до -120 В. Сигнал поступает во входные цепи усилителей УЗМ.11 и УСО.10;
- напряжение постоянного тока, пропорциональное уставке мощности - в схему блока синхронного перемещения задатчиков БСП.36;
- сигнал в прибор КрУ.4 в виде напряжения переменного тока прямоугольной формы частотой 1 кГц в схему относительной и абсолютной коррекции уставки уровня заданной мощности (режим абсолютной коррекции в СУЗ энергоблока №3 не используется);
- сигнал постоянного тока на указатель заданной мощности на ПО, пропорциональный заданному уровню мощности и равный 0,96 мА для уставки 120 % номинального уровня;
- сигналы неисправности прибора (в контактной форме на засветку лампы "Неисправность" на лицевой панели прибора и в потенциальном виде в логическую схему АЗ-Т2 и АЗМ);
- сигналы "N > 60%", "N > 50%", "N > 20%" в контактной форме в логическую схему формирования сигналов "АЗ-1,2" и схемы технологической автоматики.

Скоростные характеристики изменения уставки задатчика мощности:

- в режиме рабочих скоростей изменение уставки осуществляется:

  $\Rightarrow$ от 5% до 20% за (100±10) сек;

  $\Rightarrow$ от 20% до 120% за (400±10) сек;

- в режиме ускоренного снижения уставки (для АР основного диапазона и ЛАР)изменение уставки осуществляется:

$\Rightarrow$ от 100% до 5% за 50 сек (2 %/сек).

Задатчик мощности функционально представляет собой стабилизированный источник напряжения с дистанционным управлением этим напряжением. Основным задающим элементом прибора является блок из 2-х синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (ТрВ1 и ТрВ2), включённых по линейной схеме.

Вращающийся трансформатор это индукционная электрическая машина переменного тока, изменяющая коэффициент трансформации пропорционально углу поворота её ротора. При включении обмоток статора и ротора по линейной схеме обеспечивается линейная зависимость коэффициента трансформации от угла поворота ротора в определённых пределах угла поворота. Роторы обоих трансформаторов жёстко связаны.

Напряжение на первичные обмотки подаётся через стабилизатор напряжения и преобразователь напряжения постоянного тока в переменный. Со вторичной обмотки трансформатора ТрВ1 напряжение переменного тока подаётся в КрУ.4 в цепь относительной коррекции уставки, а с роторной обмотки вращающегося трансформатора ТрВ2 напряжение подаётся на размножающий трансформатор блока выходных сигналов (БВС). Сигнал с БВС подаётся во внешние цепи и на измеритель уставки. Напряжение переменного тока постоянной амплитуды снимается с выходного трансформатора преобразователя для питания цепи абсолютной коррекции в корректоре уставки КрУ.4. Поворот роторов вращающихся трансформаторов производится дистанционно механическим блоком, состоящим из 2-х электродвигателей с дифференциальным редуктором и схемы управления электродвигателями.

Схема управления электродвигателями включает в себя:

- два двигателя переменного тока, один из которых предназначен для поворота роторов вращающихся трансформаторов с рабочей скоростью (0,15 или 0,3 %$N_{ном}$/сек, в зависимости от модификации ЗдМ.5), другой - для поворота роторов только на снижение уставки со скоростью 2 %$N_{ном}$/сек (аварийная скорость);
- концевые выключатели МП1 и МП2 (105% и 5%);
- промежуточные путевые выключатели МП3÷МП6, срабатывающие при 20%, 50%, 60% $N_{ном}$ (20, 50, 60 В);
- дифференциальный редуктор, позволяющий осуществить поворот роторов вращающихся трансформаторов от двигателей, имеющих различную скорость вращения;
- релейно-контактная схема для выполнения алгоритмов изменения рабочей скорости увеличения, уменьшения уставки (излом

характеристики на 20% $N_{ном}$), разрешения увеличивать уставку, быстрого снижения уставки, работы в режиме "ведомого".

Сигнал неисправности ЗдМ.5 формируется схемой контроля, срабатывающей при:

- отсутствии напряжения питания цепи уставки;
- неисправностях стабилизатора напряжения, вызывающих пробой или насыщение регулирующего транзистора преобразователя напряжения;
- отсутствии напряжения питания электродвигателей.

4.7 Измерительная часть 1,2 АР-АЗМ

4.7.1 Состав, назначение

Измерительная часть схемы аварийной защиты по превышению мощности в основном диапазоне и автоматических регуляторов основного диапазона предназначена для:

- измерения нейтронного потока в диапазоне от 5 до 125 % $N_{ном}$;
- определения рассогласования между действительной и заданной мощностью;
- формирования сигналов на управление исполнительными органами 1(2) АР;
- формирования аварийных (предупредительных) сигналов при превышении фактического уровня мощности заданного на величину уставки.

При достижении мощности реактора 5%$N_{ном}$ заканчиваются возможности АРМ. Особенность схемного решения измерительной части АРМ-АЗММ состоит в том, что 100 В выходного напряжения соответствуют 5% $N_{ном.}$, это создаёт некоторые неудобства в оценке мощности, задаваемой для автоматического управления (требуется выполнять пересчёт показаний на фактическую величину мощности). Автоматические регуляторы основного диапазона используют градуированную шкалу задатчиков мощности, для которой 1 % по шкале задатчика мощности основного диапазона соответствует 1 В напряжения на выходе ЗдМ.5 1АР и 2АР.

Схема измерительной части 1,2АР-АЗМ обеспечивает рабочую скорость управления уставкой задатчика мощности 0,15 В/сек в диапазоне (5÷20)%$N_{ном}$ и 0,25 В/сек - в диапазоне мощности (20÷125)% $N_{ном}$. Также обеспечивается

снижение уставки задатчика мощности с аварийной скоростью (при наличии сигналов АЗ-1,2, УСМ, АЗ-5 (БАЗ) и при нажатии кнопки ускоренного снижения уставки задатчика) со скоростью 2 В/сек.

При наборе мощности 5% $N_{ном}$ обеспечивается необходимая чувствительность измерительных каналов рабочего диапазона 1,2АР-АЗМ.

В основном диапазоне управление мощностью осуществляется с помощью двух автоматических регуляторов 1АР и 2АР, причём в работу включён только один регулятор, другой находится в состоянии "горячего резерва" и готов в любой момент, при возникновении неисправности в схеме работающего автоматического регулятора, автоматически включиться из состояния готовности в работу. На Рис. 4-22 изображена структурная схема измерительной части АЗМ-1АР. Измерительная часть 2АР аналогична 1АР. Общими для обоих измерительных частей являются приборы: блок триггеров БТ.37 и блок синхронного перемещения уставок задатчиков мощности БСП.36

В измерительной части АЗМ-АР основного диапазона использованы приборы УСО.10, УЗМ.11, КрТ.5, БП.39 и ЗдМ.5, аналогичные используемым в схеме измерительной части АЗММ-АРМ.

Отличия измерительных каналов АЗМ от измерительных каналов АЗММ состоят в следующем:

- в качестве датчиков нейтронного потока используются подвески РБМ-К15 Сб.38 с тремя камерами КНК-53М (трёхзонные);
- обеспечено синхронное управление задатчиками мощности и коррекция уставки задатчика мощности.

В качестве детекторов плотности нейтронного потока используются ионизационные камеры КНК-53М. Конструкция камеры и её технические характеристики описаны в п.4.3.3. Подвески РБМК-К15 сб. 38, используемые в измерительной части 1,2АР-АЗМ, в отличие от подвесок РБМ-К7 сб. 38, имеют 3 ионизационные камеры.

В состав измерительной части 1,2АР-АЗМ входят две группы по 4 измерительных канала. Подвески с ионизационными камерами размещены по внешнему периметру активной зоны и распределены следующим образом:

БИК-2 - 1АР-1	БИК-5 - 2АР-1
БИК-8 - 1АР-2	БИК-11 - 2АР-2
БИК-14 - 1АР-3	БИК-17 - 2АР-3
БИК-20 - 1АР-4	БИК-23 - 2АР-4.

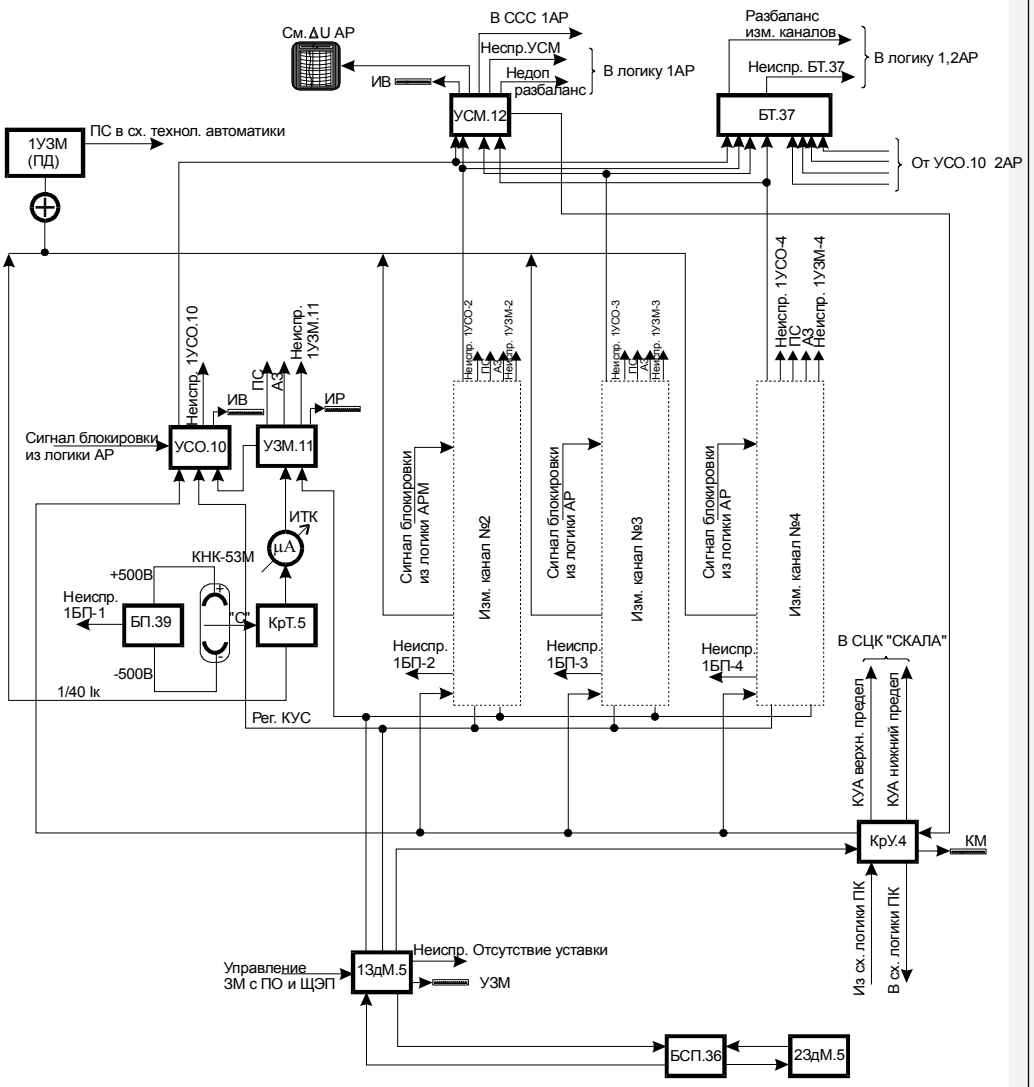

Рис. 4-22 Структурная схема измерительной части 1АР-АЗМ

Как отмечалось ранее, особенностью подвески РБМ-К15 Сб.38 является размещение в ней трёх ионизационных камер типа КНК-53М. Ионизационные камеры разнесены по высоте активной зоны. Одна камера размещена на отметке, соответствующей центру активной зоны, две другие смещены вверх и вниз на 1750 мм. Линии электрических связей выполнены их жаростойких и радиационностойких кабелей, заключенных в стальные оболочки, марки КНМСС. Кабельные вводы в камеры герметично заварены. От каждой камеры

проложены три кабеля ("+", "-" и "Собирающий"), которые выведены в головку подвески. В головной части подвески выполнены коммутации питания и собирающих электродов. В заводских условиях питание камер включено параллельно, а собирающие электроды выведены автономно. Подключение подвесок к измерительной части выполнено магистральными кабелями РК-75-22, т.е. такими же как и для других подвесок. Перед установкой на рабочее место после расконсервации собирающие электроды внутри головной части подвесок РБМ-К15 Сб.38 соединяются параллельно (пайка) и выводятся на один разъём, два других разъёма закрываются заглушками.

В подвеске РИК РБМ-К15 Сб.38 предусмотрена защитная биологическая пробка. Удержание камер на нужной высоте осуществляется с помощью штанг, концентрично установленных внутри подвески. Верхняя камера посредством гибкой штанги присоединена к защитной пробке, остальные камеры соединяются промежуточными штангами. Ионизационные камеры в сборе со штангами и с кабелями, выведенными в клемную коробку помещаются в чехол, состоящий из двух труб и гибкого металлорукава.

Принцип работы измерительных каналов 1,2АР-АЗМ в основном аналогичен принципу работы измерительных каналов АЗММ-АРМ. Отличия этих схем состоят в следующем:

- в состав измерительной схемы основного диапазона входит блок синхронного перемещения БСП.36, обеспечивающий синхронное изменение уставок задатчиков 1АР и 2АР при управлении ими с пульта оператора;
- в БТ.37 задействованы все 8 каналов контроля разбаланса. Контроль измерительных каналов 1,2АР может осуществляться не только по величине собственного разбаланса в каналах УСО.10, но и по принципу сравнения разбалансов в соседних каналах. Переключение режимов сравнения осуществляется с помощью ключа контроля разбаланса (ККР), установленного на ПО, и имеющего три положения : "1АР", "2АР" и "Калейдоскоп";
- в измерительную схему введён корректор уставки автоматический КрУ.4, предназначенный для обеспечения слежения за измерительной частью регулятора, находящегося в режиме "Готовность", путём подстройки сигнала суммарного разбаланса с выхода УСМ.12 со скоростью 0,1%$N_{зад}$ в секунду. Работа Кру.4 обеспечивает «безударное» включение регулятора в работу.

Выбор режима контроля измерительных каналов определяется оператором с пульта переключением ключа ККР. В режиме "Калейдоскоп" задействованы все 8 каналов БТ.37, при этом сравнение сигналов выполняется по кольцевой схеме, т.е. сигнал канала 1АР-1 сравнивается с сигналом 2АР-1 ("1-2") и,

одновременно, сравнивается с сигналом 2АР-4 ("8-1"). При наличии, например, одновременно двух сигналов "1-2" - "8-1" больше допустимого" (порог срабатывания настроен на 15% по ИВ УСО) канал "1" считается неисправным и УСО.10 данного канала блокируется логической схемой управления 1(2)АР. Оператор включает режим контроля "Калейдоскоп" только после устранения перекосов поля энерговыделения.

В логические схемы управления 1АР, 2АР, в логику АЗМ, а также в устройство сигнализации СЦК СКАЛА поступают из измерительной части 1,2АР-АЗМ следующие сигналы:

- от прибора УЗМ.11 - предупредительные сигналы превышения мощности в измерительном канале (уставка ПС равна половине аварийной уставки), которые отображаются с помощью световых табло белого цвета на панелях 4 и 6 щита оператора;
- от прибора УЗМ.11 - сигналы аварийного превышения мощности, отображаемые световыми табло жёлтого цвета;
- от блоков питания ионизационных камер - сигналы неисправности блоков питания;
- от прибора УСМ.12 - сигнал максимального разбаланса в УСМ.12 ("Неисправность УСМ"), отображаемый табло белого цвета;
- от прибора КрУ.4 - сигналы верхнего и нижнего пределов работы КрУ.4 (табло белого цвета на панели 4 щита оператора);
- от ЗдМ.5 - сигналы неисправности задатчиков мощности (отсутствие уставки, отсутствие питания двигателей).

Текущая величина суммарного разбаланса в тракте АР, включенного в работу, регистрируется самописцем "ΔU АР" и отрабатывается через систему синхронизации исполнительной частью этого авторегулятора.

Значение среднего положения стержней включённого в работу АР также регистрируется непрерывно самописцем "$\varphi_{ср}$", установленным на панели 13 ЩЭП. Коммутация осуществляется одновременно с самописцем "ΔU АР " по сигналам логической части при включении регулятора в работу.

4.7.2 Блок синхронного перемещения

Блок синхронного перемещения работает совместно с двумя задатчиками мощности типа ЗдМ.5 и предназначен для приведения в соответствие (синхронизации) уставок задатчиков мощности.

Входными сигналами прибора являются два напряжения постоянного тока от ЗдМ.5, пропорциональные уставкам обоих задатчиков. Прибор осуществляет сравнение уставок задатчиков мощности, выдачу сигналов в виде напряжения

постоянного тока с двумя уровнями: "0" и "1" в схему управления первого или второго задатчика при расхождении уставок более, чем на ±0,5%$N_{ном}$ (0,5 В). Индикация знака расхождения уставок осуществляется с помощью сигнальных ламп "N1 > N2" или "N1 < N2", расположенных на лицевой панели прибора. Сигнал "0" по абсолютной величине не превышает 0,5 В, сигнал "1" равен 20÷27 В на сопротивлении нагрузки не менее 200 Ом.

На Рис. 4-23 приведена структурная схема прибора БСП.36.

Принцип работы БСП.36 заключается в следующем. На вход блока подаются сигналы уставок задатчиков мощности 1АР и 2АР одновременно. В результате непрерывного сравнения уровней этих сигналов на выходе БСП.36 формируются сигналы "N1 > N2", либо "N1 < N2". Сигналы с выхода БСП.36 заведены в схему управления задатчиками мощности 1,2АР и обеспечивают управление ими по принципу остановки опережающего задатчика (в обоих направлениях).

Примечание:

1. Увеличение уставок возможно при отсутствии запрета из логической схемы и управления задатчиками.

2. При смене команды "Увеличение" на "Уменьшение" и наоборот имеется так называемое "мертвое время" порядка 5-7сек., определяемое реверсом механического редуктора ЗдМ.5.

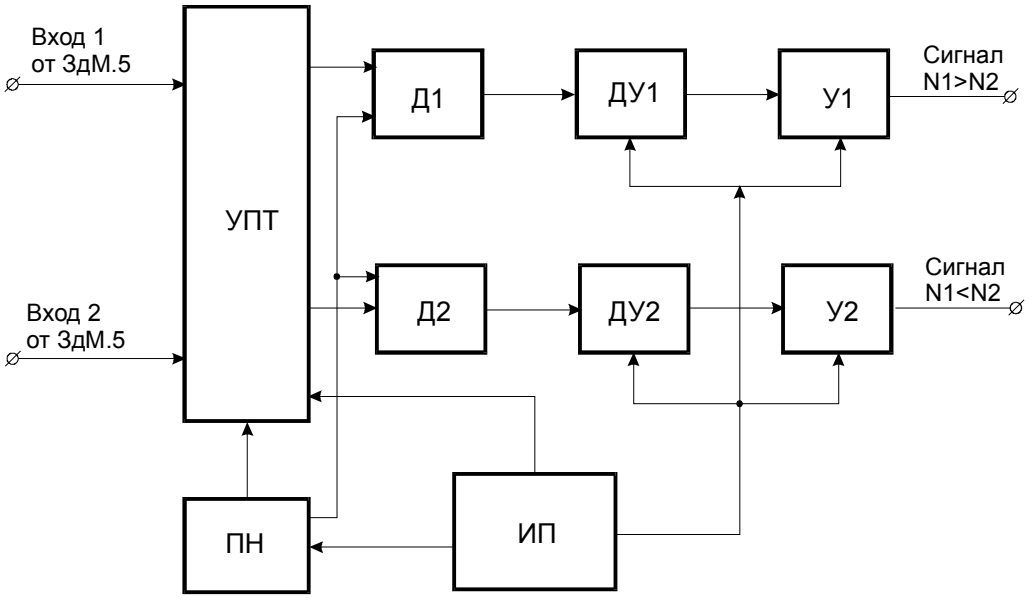

Рис. 4-23 Структурная схема прибора БСП.36

УПТ - усилитель постоянного тока; ДУ1, ДУ2 - дискриминаторы уровней N1 > N2 и N1 < N2; У1, У2 - усилители мощности N1 > N2 и N1 < N2; Д1, Д2 - фазочувствительные демодуляторы; ИП - источник питания; ПН - преобразователь напряжения.

Подаваемые на вход напряжения постоянного тока входными резисторами УПТ преобразуются в токи, которые текут навстречу друг другу ("+" от ЗдМ №2, "-" от ЗдМ №1). Разность входных токов преобразуется модулятором УПТ в сигнал повышенной частоты и усиливается трёхкаскадным усилителем переменного тока. Два параллельных выхода УПТ образованы двумя фазочувствительными демодуляторами, преобразующими напряжение переменного тока в однополярное напряжение прямоугольной формы. Выходное напряжение демодулятора сглаживается фильтром. Фазы управляющих напряжений модулятора и фазочувствительных демодуляторов выбраны таким образом, чтобы при отрицательной разности входных напряжений появилось напряжение отрицательной полярности на выходе дискриминатора "N1 < N2".

Дискриминаторы уровня выполнены по одинаковым схемам триггера Шмидта и представляют собой пороговые элементы (пороги срабатывания соответствуют разности входных сигналов 0,4÷0,5 В).

Усилители мощности выполнены по одинаковым схемам на одном транзисторе, работающем в ключевом режиме. С коллектора транзистора сигнал подаётся во внешние цепи и на реле, на контактах которого выполнена сигнализация знака отклонения.

Величина порога отпускания блока по абсолютной величине равна 0,2÷0,3 В, т.е. имеется гистерезис, исключающий "дребезг".

Преобразователь напряжения обеспечивает работу модулятора и демодуляторов и выполнен по двухтактной схеме на трансформаторе и двух транзисторах.

Управление задатчиками мощности обеспечивается:

- с пульта оператора ключом "Мощность" с синхронизацией управления уставками;

- индивидуальными ключами, установленными на ЩЭП непосредственно под каждым задатчиком, без синхронизации уставок.

4.7.3 Корректор уставок КрУ.4

Прибор предназначен для:

- коррекции уставки заданного уровня мощности со скоростью 0,1%$N_{зад}$/сек путем коррекции разбаланса в трактах АР, находящегося в "горячем резерве";
- индикации уровня корректирующего сигнала.

Скорость коррекции составляет 0,1%$N_{зад}$/сек. Слежение включается при разбалансе на выходе УСМ.12 ±2,5%, что в величинах напряжения соответствует (8±1)В и отключается при снижении рассогласования до ±0,5% (2±0,5В). Сигналы подстройки передаются с противоположным знаком на входы канальных усилителей УСО.10 автоматического регулятора, включённого в режим "Готов" в пределах от +5% до -15% (%от заданной мощности - на механическом указателе прибора КрУ.4 (относительная коррекция), % $N_{ном}$ - на выносном приборе (абсолютная коррекция)). Цепь питания двигателя корректора КрУ.4 включается тумблером отключения слежения ("ТОС") на панели 9 ЩЭП (сигнализация о его выключении выведена на пульт оператора). Во время исполнения режимов управляемого аварийного снижения мощности "АЗ-1", "АЗ-2", "УСМ" двигатель корректора отключается сигналом "Режим ПК". При этом пороговый триггер "±2,5%" вместо команд слежения выдаёт в логику команду "ПК вниз" на управление стержнями ПК-АЗ.

На Рис. 4-24 изображена функциональная схема прибора КрУ.4.

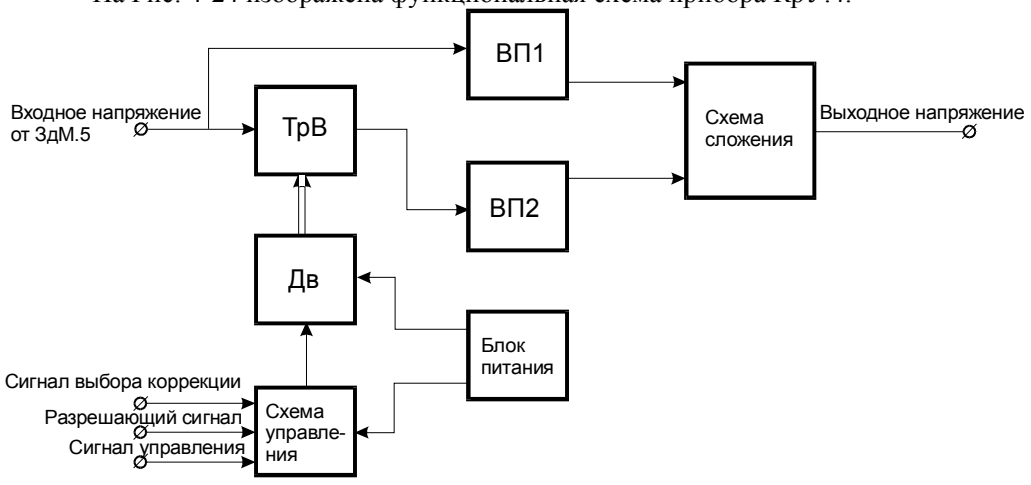

Рис. 4-24 Функциональная схема прибора КрУ.4

Прибор функционально представляет источник напряжения с дистанционным управлением величиной и знаком выходного напряжения.

Входными сигналами прибора являются:

- переменное напряжение задатчика мощности (частотой 1 кГц), изменяющееся от 2,5 до 60 В;
- сигнал выбора типа коррекции (сигнал имеет контактную форму);
- сигнал управления (из УСМ.12), вызывающий включение схемы коррекции заданного уровня мощности при пороговом значении (8±1)В и выключение при (2±0,5)В;
- сигнал разрешения слежения (включен тумблер ТОС на ЩЭП и отсутствуют сигналы АЗ-1,2, УСМ).

Входное напряжение от задатчика мощности подаётся по двум параллельным каналам на сумматор (схема сложения), являющийся выходным устройством прибора. Сигнал выпрямителя ВП1 образует "постоянную" составляющую выходного сигнала КрУ.4, а напряжение вторичной обмотки вращающегося трансформатора ТрВ после выпрямления выпрямителем ВП2 образует "переменную" составляющую выходного сигнала, меняющуюся в зависимости от угла поворота ротора ТрВ. Оба выпрямителя включены последовательно и образуют схему последовательного сложения напряжений. Величина и полярность выходного напряжения КрУ.4 определяется "переменной" составляющей, т.е. углом поворота ротора вращающегося трансформатора.

Вращение ротора ТрВ осуществляет двигатель Дв, который управляется схемой управления (триггерами КрУ.4). Схема управления состоит из транзисторных ключей, дискриминаторов уровней, усилителей мощности и представляет собой два симметричных канала, один из которых пропускает сигнал управления на изменение корректирующего сигнала от +5 до -15 %, другой - от -15 до +5 %. Транзисторные ключи коммутируют сигналы управления, поступающие из УСМ.12.

Переключатель напряжения коррекции "Абс." - "Относ." расположен на задней стенке прибора. При достижении предельных значений корректирующего сигнала прибор выдаёт в систему централизованного контроля «СКАЛА» сигнал "1(2) КУА верх. предел" или "1(2) КУА ниж. предел". Данные световые табло расположены на панели 4 щита оператора в группе "Контроль исправн.".

Индикация уровня корректирующего сигнала на лицевой панели прибора осуществляется встроенным механическим указателем, проградуированным в процентах от заданного уровня мощности и выносным узкопрофильным

прибором типа М1730, проградуированным в процентах номинального уровня мощности.

4.7.4 Схема переключения диапазонов

В схеме измерительных каналов автоматических регуляторов основного диапазона предусмотрено использование 1/40 тока ионизационной камеры каждого канала для подачи в схему ПД (переключения диапазонов).

Схема ПД предназначена для обеспечения условий работы реакторной установки при срабатывании АЗ-5.

При срабатывании АЗ-5 для предотвращения срыва ГЦН необходимо обеспечить уменьшение расхода теплоносителя прикрытием ДРК. Из-за инерции энерговыделения сразу с получением аварийного сигнала это исполнить нельзя. При фактическом снижении мощности ниже 30 % номинальной допускается уменьшение расхода теплоносителя.

В состав схемы ПД входят два усилителя УЗМ ПД (см. Рис. 4-22). Запрет на прикрытие ДРК формируется от двух сигналов ПС приборов УЗМ.11 (1УЗМ и 2УЗМ, размещённые на 9 и 12 панелях ЩЭП). Исполнительный сигнал запрета формируется по критерию 2 из 2-х и передаётся в схему технологической автоматики через ключ на пульте оператора, блокирующий прохождение этого сигнала. На вход УЗМ-ПД сигнал от задатчика мощности не подаётся и уставка АЗ устанавливается "6 мкА", что обеспечивает срабатывание ПС при 3 мкА входного тока.

4.8 Измерительная часть ЛАР-ЛАЗ

4.8.1 Состав, назначение

В схеме измерительной части локального автоматического регулирования и локальной аварийной защиты использован принципиально новый подход к организации управления реактором - измерение нейтронного потока непосредственно внутри активной зоны и воздействие на него в непосредственной близости от точки замера, а также использование нескольких подобных зон регулирования. Выбор данной схемы регулирования связан со значительными перекосами энерговыделения по объему активной зоны, которые являются следствием больших размеров активной зоны реактора РБМК-1000.

Подсистема ЛАР-ЛАЗ обладает большим, по сравнению с 1АР и 2АР, быстродействием и гибкостью управления, обеспечивает более качественное поддержание заданного уровня мощности, управление мощностью, включая аварийное управляемое снижение мощности, уменьшает отклонения

энерговыделения по радиусу активной зоны от заданного до такого предела, когда коррекция поля не представляет трудностей для оператора.

Подсистема ЛАР-ЛАЗ обеспечивает:

- управление мощностью, начиная с (10 ÷20)% $N_{ном}$ и подавление быстро развивающихся радиальных перекосов поля энерговыделения;
- локальную автоматическую аварийную защиту двенадцати зон регулирования путем ввода в аварийную зону стержней ЛАЗ и одновременного снижения уставок задатчиков авторегуляторов;
- формирование и поддержание заданной формы поля радиального энерговыделения (формирование и поддержание заданной формы энерговыделения во всем объеме активной зоны реактора производится оператором с помощью стержней РР и УСП).

На АРМ и АР основного диапазона возлагается задача вывода реактора на энергетический уровень мощности до уровня устойчивой работы ЛАР (10 ÷20)% $N_{ном}$.

При работе ЛАР 1АР и 2АР находятся в состоянии готовности ("горячего" резерва). Одновременная работа двух регуляторов невозможна.

При отказе ЛАР автоматически включается АР основного диапазона. Схемой одновременного управления задатчиками ЛАР и АР и работой в схеме 1,2 АР прибора КрУ.4 обеспечивается безударное автоматическое переключение с ЛАР на АР. Переход с АР на ЛАР выполняется вручную.

Аппаратура ЛАР-ЛАЗ по конструктивному исполнению делится на две части:

- блоки питания внутризонных датчиков и задатчики мощности выполненные с использованием элементной базы 2-го поколения (аналогичной элементной базе, используемой в электронных приборах измерительной части 1,2АР), которые размещены на трех панелях ЩЭП-Л;
- электронные приборы и блоки, выполненные с использованием элементной базы третьего поколения (интегральные схемы), которые имеют значительно меньшие габариты и размещены в двух стойках: СТЭП-1 и СТЭП-2 (в СТЭП-1 размещены приборы и блоки нечётных зон, а в СТЭП-2 - чётных).

В каждой стойке установлен пульт контроля со встроенным имитатором тока датчиков. 12-канальный корректор уставки ЛАР и выносные индикаторы измерительной части ЛАР вынесены на пульт оператора. На щите оператора смонтированы индикаторы ЛАЗ и самописец суммарного тока датчиков ЛАР-

ЛАЗ (регистрирующий прибор РП160-17, пределы измерения и регистрации которого составляют 0÷100 мВ).

Аппаратура измерительной части настроена из соотношения: 100% $N_{ном}$ = 100 В задатчика мощности = 50 мкА от каждого датчика зоны (откорректированный ток).

Измерительная часть ЛАР-ЛАЗ предназначена для:

- измерения в диапазоне мощности (20÷100)% $N_{ном}$ нейтронного потока в 12 зонах регулирования;
- определения рассогласования между измеренной и заданной мощностью в каждой зоне регулирования;
- выдачи сигналов в схемы логики управления стержнями ЛАР и ЛАЗ.

Измерительная часть ЛАР-ЛАЗ состоит из 12 идентичных каналов измерения, контроля нейтронного потока в зонах и:

- 2-х задатчиков мощности ЛАР - 43М и 53М;
- 2-х задатчиков мощности ЛАЗ - 63М и 73М;
- клемников задатчиков ЛАР и ЛАЗ;
- корректора уставки ЛАР;
- 2-х переключателей уставок АЗ;
- блока синхронного перемещения задатчиков ЛАР (БСП);
- блока синхронного перемещения задатчиков ЛАЗ (БСП);
- 4-х триггеров суммарного разбаланса ЛАР (13ТГ и 15ТГ в СТЭП-1, 14ТГ и 16ТГ в СТЭП-2).

Структурная схема измерительной части ЛАР-ЛАЗ изображена на Рис. 4-25.

В каждой зоне имеется:

- 2 датчика нейтронного потока типа КТВ-17;
- 2 секции блоков питания датчиков;
- двухканальный корректор тока датчиков КрТ;
- усилитель сигнала отклонения УСО;
- триггер ТГ;
- два усилителя защиты по мощности УЗМ.

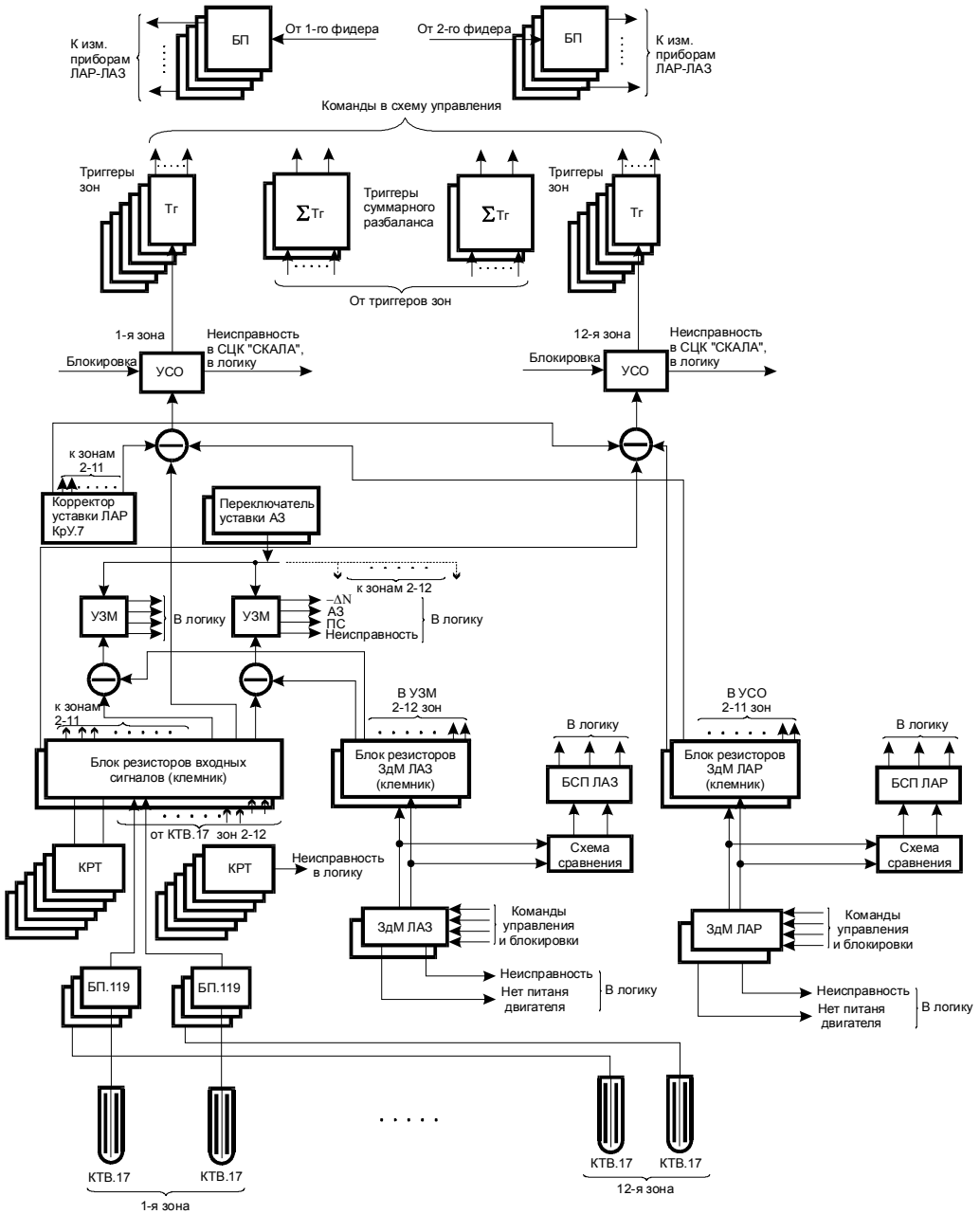

Рис. 4-25 Структурная схема измерительной части ЛАР-ЛАЗ

4.8.2 Детектор КТВ-17

В качестве датчиков нейтронного потока в системе ЛАР-ЛАЗ используются внутризонные триаксиальные детекторы типа КТВ-17, устанавливаемые в центральные отверстия тепловыделяющих сборок (Сб.49).

Детектор предназначен для измерения плотности потока нейтронов в технологическом канале реактора РБМК-1000. Для установки детекторов используются тепловыделяющие сборки Сб.49, имеющие центральное отверстие для установки в нём датчика.

Характеристики детекторов КТВ-17:

- чувствительность - 1*10 Е-18 А/см^2 ·сек./нейтрон (ток до 300 мкА);
- рабочее напряжение - минус (50÷100) В;
- рабочий диапазон - (20÷100)% $N_{ном}$;
- длина - 15730 мм;
- масса - 13 кг;
- диаметр в нижней части - 8 мм.

Камера выполнена на основе триаксиального кабеля КНМС 2С с магнезиальной изоляцией, наружным диаметром 4 мм, с центральной жилой и двумя коаксиальными оболочками из коррозионно-стойкой стали, внутренняя оболочка выполняет функцию охранного электрода. На кабель надет стальной чехол диаметром 6 мм, служащий корпусом камеры.

Внутри корпуса камеры на дистанционирующих изоляторах выделены три участка кабеля полного сечения - чувствительных элемента длиной по 50 мм, выполняющие функцию собирающих электродов. Центральный элемент смещён вниз от отметки центра активной зоны реактора на 400 мм, а верхний и нижний элементы расположены на расстоянии соответственно 1400 и 2100 мм от центрального. На всей остальной длине кабеля его оболочка и промежуточная изоляция удалены.

Чувствительные элементы покрыты слоем радиатора, роль которого выполняет U_{235} 2% обогащения. Внутренний объём камеры заполнен смесью азота (98 %) и гелия (2 %) при давлении 760 мм рт.ст.

Триаксиальный кабель выведен из корпуса камеры через герметизирующую заглушку, проходит в защитной трубе диаметром 8 мм и заканчивается триаксиальным разъёмом для стыковки с кабельной трассой. На трубе размещены две спиральные втулки, предназначенные для защиты от γ-излучения.

На центральный (собирающий) электрод камеры подаётся напряжение до минус 100 В (блок питания имеет ступенчатое переключение 50, 75 и 100 В). На практике используется работа камеры при напряжении -75 В. Под действием тепловых нейтронов уран-235, находящийся в радиаторе, делится. Образовавшиеся в процессе деления осколки ионизируют заполненное газовой смесью внутреннее пространство камеры и в нём возникает ток, пропорциональный средней плотности потока тепловых нейтронов в месте установки камеры.

На охранный электрод подаётся напряжение той же величины и полярности, что и на собирающий. При этом охранный и собирающий электроды находятся под одинаковым потенциалом и токи утечки с собирающего электрода, связанные с воздействием γ-излучения только нагружают блок питания, но практически не влияют на ток собирающего электрода. Наличие охранного электрода снижает требования к межэлектродной изоляции на 3-4 порядка и обеспечивает работоспособность камеры при температуре до 300°С.

4.8.3 Блок питания БП.119

Для питания внутризонных триаксиальных камер КТВ-17 используются 6 блоков питания типа БП.119(один блок питания работает на камеры КТВ.17 двух зон). Каждый блок питания БП.119 содержит четыре индивидуальных источника питания (секции) для питания собирающих электродов четырёх камер и один общий источник питания охранных электродов. Напряжение источников питания собирающих электродов автоматически поддерживается равным напряжению источника питания охранных электродов, что обеспечивает значительное уменьшение токов утечки собирающих электродов и как следствие компенсацию тока, вызванного ионизирующим воздействием γ-потока на газ, заполняющий внутреннюю полость камеры. Блок имеет три фиксированных значения величины выходного напряжения, устанавливаемого переключателем на лицевой панели прибора (50 В, 75 В, 100 В).

В блоке питания БП.119 предусмотрена схема контроля исправности, формирующая и выдающая в логическую часть аварийный сигнал при:

- превышении тока нагрузки источника питания охранных электродов значения 22 мА;
- исчезновении питания блока;
- возникновении неисправности в блоке.

При коротком замыкании в нагрузке (в любой из 4-х секций) схема контроля исправности отключает нагрузку от секции блока и выдаёт сигнал неисправности через СЦК на панель 3 щита оператора "Неиспр. БП ЛАР-ЛАЗ" и в логические схемы ЛАР и ЛАЗ.

Сигнал перегрузки блока или неисправности запоминается и для его снятия необходимо произвести деблокировку сигнала нажатием кнопки "Деблокировка", расположенной на лицевой панели прибора.

Встроенный измерительный прибор, расположенный на лицевой панели БП.119, позволяет измерять напряжение питания на выходе источника питания охранных электродов и любого источника питания собирающего электрода, а также токи охранных электродов.

Питание на 2 камеры одной зоны подаётся от секций двух разных блоков питания. Это позволяет обеспечить работоспособность ЛАР-ЛАЗ при неисправности любого блока питания.

4.8.4 Блок резисторов входных сигналов

Схема клеммника входных сигналов одной зоны ЛАР-ЛАЗ и корректора тока показана на Рис. 4-26.

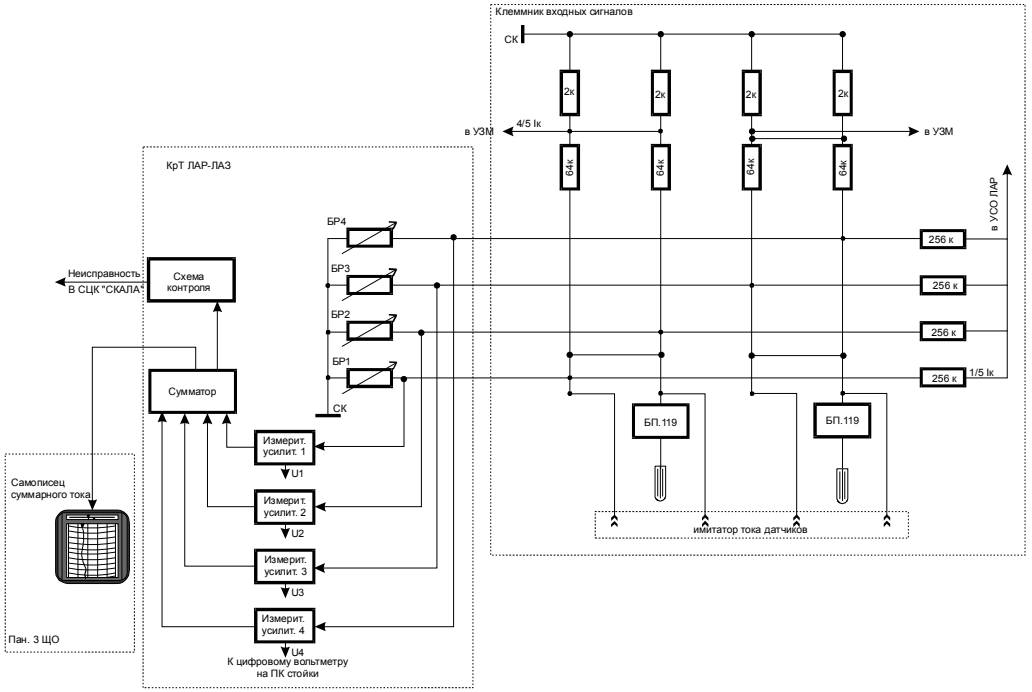

Рис. 4-26 Функциональная схема КрТ ЛАР-ЛАЗ и клеммника входных сигналов одной зоны ЛАР-ЛАЗ

В блоке резисторов входных сигналов ток каждой камеры распределяется следующим образом:

- 4/5 части откорректированного тока подаётся в каналы УЗМ зоны;
- 1/5 часть откорректированного тока поступает в узел суммирования, откуда подаётся на вход усилителя сигнала отклонения УСО.

4.8.5 Корректор тока камер

Корректор тока камер КрТ предназначен для коррекции (уменьшения) тока, поступающего в измерительную схему ЛАР-ЛАЗ от датчиков зоны ЛАР-ЛАЗ. Величина откорректированного тока определяется сопротивлением утечки на спецконтур в цепи корректора

Корректор обеспечивает:

- уменьшение входного тока в диапазоне от 1 до 6,11 раз;
- выдачу сигнала, пропорционального сумме токов четырёх датчиков;
- выдачу сигнала неисправности при исчезновении питания ±15 В.

Корректор имеет четыре независимых канала. Входные сопротивления каждого канала определяются положением тумблеров, расположенных на лицевой панели прибора и равны значениям, приведённым в Табл. 4-1

Табл. 4-1

Обозначение включённого тумблера (K_i)	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	0,32	0,64	1,28	2,56
Входное сопротивле-ние (кОм)	5120 ±10%	2560 ±10%	1280 ±10%	640 ±5%	320 ±5%	160 ±5%	80 ±1%	40 ±1%	20 ±1%

Суммарное входное сопротивление канала R_Σ (кОм) при включённых двух и более тумблерах определяется по формуле:

$$R_\Sigma = \frac{51{,}20}{K},$$

где $K = \Sigma K_i$.

При включении параллельно входу канала внешнего сопротивления $R_{внеш}$= 51,2 кОм, отношение входного тока, поступающего от датчика, к току, протекающему через $R_{внеш.}$, равно значению $K = 1 + \sum K_i$.

Функциональная схема корректора представлена на Рис. 4-27.

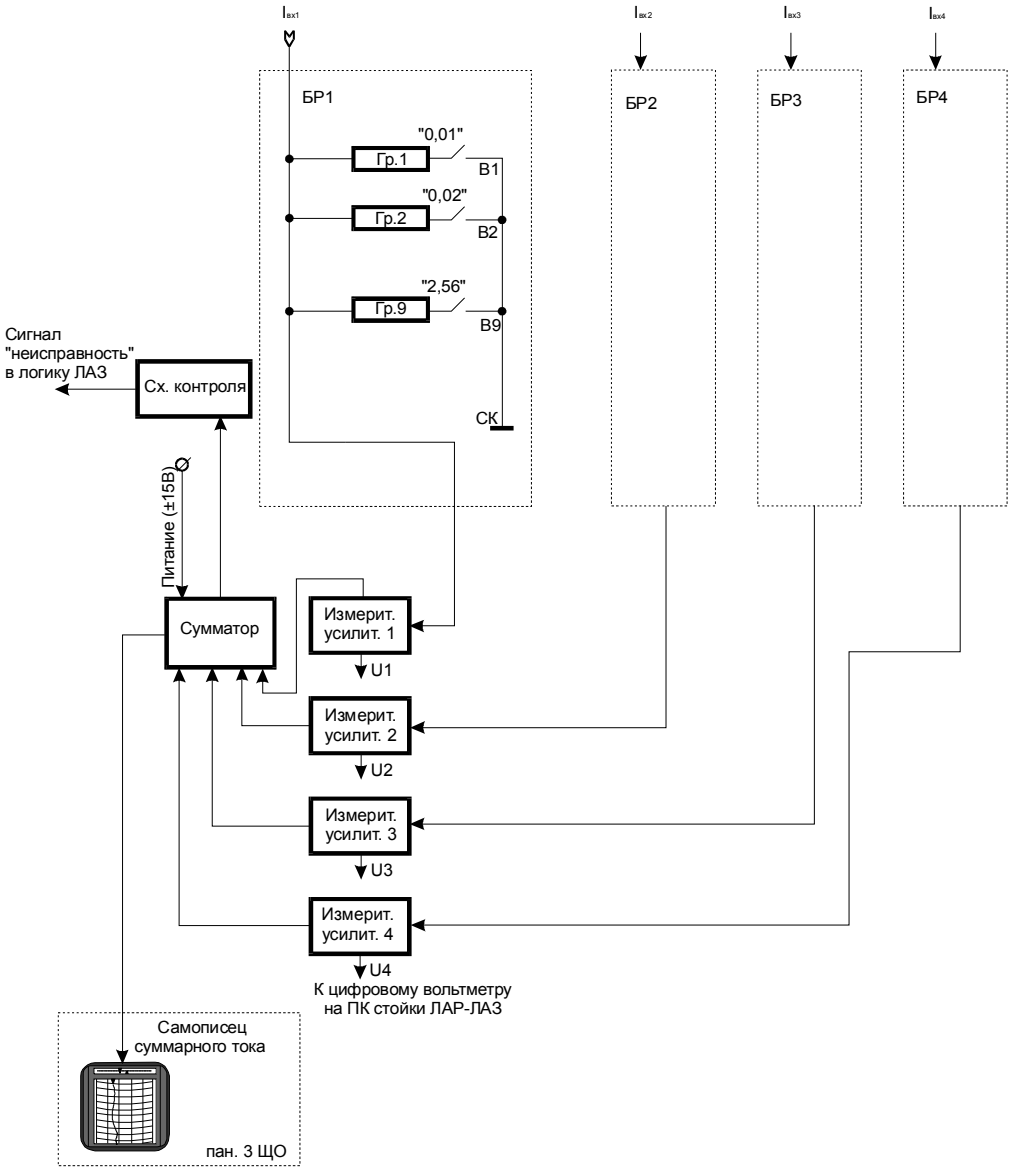

Рис. 4-27 Функциональная схема КрТ ЛАР-ЛАЗ

В состав корректора входят:

- четыре блока резисторов БР1÷БР4;
- сумматор;

- схема контроля.

Каждый блок резисторов составляет канал и состоит из девяти групп резисторов, обозначенных на схеме 0,01 ... 2,56 и усилителя.

Каждая из групп резисторов подключается параллельно входу усилителя посредством транзисторного ключа. Управление ключом осуществляет тумблер (В). В исходном состоянии транзистор ключа заперт отрицательным смещением на его затворе. При включении тумблера отрицательное смещение снимается, транзистор открывается и пропускает часть тока датчика, пропорциональную величине R, на спецконтур.

Усилитель осуществляет усиление и нормирование входного напряжения канала пропорционально току датчика.

Выходные напряжения четырёх усилителей поступают на сумматор. С его выхода снимается напряжение, пропорциональное сумме токов четырёх датчиков зоны и выдаётся на самописец суммарного тока КТВ.17, который расположен на панели №3 ЩО. Самописец имеет переключатель «Четные зоны» и «Нечетные зоны».

Схема контроля выдаёт сигнал неисправности в логику ЛАЗ при исчезновении питания ±15 В.

4.8.6 Усилитель защиты по мощности

Токи датчиков КТВ.17, измененные в схемах КрТ и делителя клеммника входных сигналов, поступают на свои индивидуальные УЗМ. Причем, на вход УЗМ поступает 4/5 откорректированного в КрТ тока датчика. Число усилителей равно числу датчиков, используемых в схеме ЛАЗ (24 шт.).

На входы усилителей УЗМ также поступают сигналы от задатчиков ЛАЗ (тип ЗдМ.5), причём, на все первые усилители УЗМ всех зон - сигнал от задатчика 6ЗМ, а на все вторые усилители УЗМ всех зон - сигнал от задатчика 7ЗМ.

Усилитель защиты по мощности УЗМ предназначен для непрерывного сравнения тока задатчика мощности с откорректированным током камеры и формирования, выдачи сигналов ПС и АЗ, если ток камеры превышает ток задатчика на величину уставки (в процентах). Уставке ПС соответствуют значения 1, 2, 3, 4, 5, 6 мкА, уставке АЗ - 2, 4, 6, 8, 10, 12 мкА. Также УЗМ формирует сигнал «-ΔN» при уменьшении входного тока до минус(2, 4, 6, 8, 10 или 12)мкА.

Значения токов уставок ПС, АЗ, -ΔN усилителя задаются внешними сигналами. Усилитель выдаёт ток и напряжение в цепь индикатора отклонения.

Ток камеры и ток компенсации на входе усилителя вычитаются, т.к. имеют противоположные направления. Разностный ток модулируется импульсами с блока управления и усиливается с коэффициентом, обратно пропорциональным уставке АЗ. Уставка задаётся с помощью переключателя, общего для 12 УЗМ каждой стойки и имеет следующие значения: 10 %, 15 %, 20 % $N_{ном}$. Переменное напряжение с выхода усилителя поступает на пороговые устройства ПС и АЗ. Пороги срабатывания последних выбраны таким образом, чтобы обеспечить появление сигнала АЗ при превышении тока камеры над током компенсации на величину уставки, а сигнала ПС - при превышении тока камеры над током компенсации на половину величины уставки.

Усилитель защиты выдаёт сигнал неисправности ("НЕИСПР.") в случаях возникновения отказов при трёх-, четырёх- кратном превышении входного тока значения уставки АЗ, а также при любой неисправности в УЗМ, могущей повлечь несрабатывание пороговых устройств ПС и АЗ.

Сигналы ПС, АЗ и НЕИСПР. выдаются в виде скачка напряжения от 10÷12 В до 0÷2 В на сопротивлении нагрузки не менее 330 Ом и в контактной форме (для -ΔN $R_{нагр.} \leq 1$кОм).Сигналы АЗ и неисправности запоминаются в УЗМ и деблокируются нажатием кнопки "Сброс", расположенной на лицевой панели прибора. Сигналы "ПС", "АЗ", "Неиспр." поступают из УЗМ в логические схемы ЛАЗ. На лицевой панели усилителя сигналы ПС, АЗ, -ΔN, НЕИСПР. индицируются светодиодами.

В схеме ЛАЗ имеется два выносных индикатора отклонений УЗМ, выполненных на основе 12-канальных миллиамперметров типа М1742, с отметками на шкалах: "-ΔN", "0", "ПС", "АЗ". Индикаторы установлены на пан.3 щита оператора.

4.8.7 Задатчики мощности ЛАР-ЛАЗ

В ЛАР-ЛАЗ используются задатчики мощности типа ЗдМ.5 (см. п. 4.6.8) Выходное напряжение задатчика подаётся на клеммник ЗдМ ЛАР соответствующей стойки, откуда затем разводится на корректор уставки ЛАР КрУ.7 и на блок синхронного перемещения БСП ЛАР.

Напряжения задатчиков мощности ЛАЗ подаётся на делители клеммников ЗдМ ЛАЗ стоек 1 и 2, аналогичные делителям в клеммниках ЗдМ ЛАР. С делителей сигналы компенсации раздаются на входы УЗМ. Кроме того, напряжения задатчиков с клеммника подаются на БСП ЛАЗ, схема и работа которого полностью аналогична БСП ЛАР.

Выносные индикаторы задатчиков мощности ЛАР и ЛАЗ размещены на секции 4А ПО. Управление задатчиками мощности ЛАР и ЛАЗ

осуществляется по командам из логики с помощью ключей на ПО и ЩЭП-Л, с учётом всех запретов увеличения мощности задатчиков.

Схема контроля прибора выдает через СЦК «СКАЛА» на панель 3 ЩО сигнал «Неисправн. ЗдМ ЛАР» в случаях формирования схемой контроля сигналов:

- "Неисправность уставки" любого из ЗдМ;
- "Неисправность двигателя" любого из ЗдМ.

4.8.8 Блок синхронного перемещения (БСП ЛАР)

Блок синхронного перемещения БСП ЛАР служит для выработки сигнала рассогласования между напряжениями двух задатчиков мощности ЛАР с целью их синхронизации.

При отличии сигналов задатчиков мощности на ±2% (первый порог БСП) используются сигналы первого триггера БСП "1>2" и "2>1", поступающие в схемы логики. Для контроля самопроизвольного (из-за неисправности) изменения уставок задатчиков предусмотрен второй порог БСП - при разнице уставок более ±5% формируется сигнал "Неисправн. ЗдМ ЛАР", который выдаётся через СЦК на панель 3 щита оператора.

Блок обеспечивает:

- выдачу сигналов относительного рассогласования токов входа 1 и входа 2; диапазон отклонения входного тока по цепи "Вход 1" от тока по цепи "Вход 2" составляет (-5% ÷ +5%), диапазон изменения входных токов - (-5 мкА ÷ -50 мкА);
- выдачу сигналов неисправности при исчезновении напряжения питания +15 В или -15 В.

Структурная схема БСП представлена на Рис. 4-28.

Широтно-импульсный преобразователь служит для преобразования входных токовых сигналов в последовательность разнополярных импульсов, длительность которых определяется величинами сравниваемых токов.

Постоянная составляющая на выходе ШИП пропорциональна относительному рассогласованию тока по цепи вход 1 от тока по цепи вход 2.

Усилитель У выполняет функцию выделения постоянной составляющей разнополярных импульсов, формируемых ШИП. Сигналы с выхода усилителя У поступают на входы двухканальных триггеров, выполняющих роль

пороговых устройств. Пороги срабатывания первого триггера составляют ±2% рассогласования входных токов, второго триггера - ±5%.

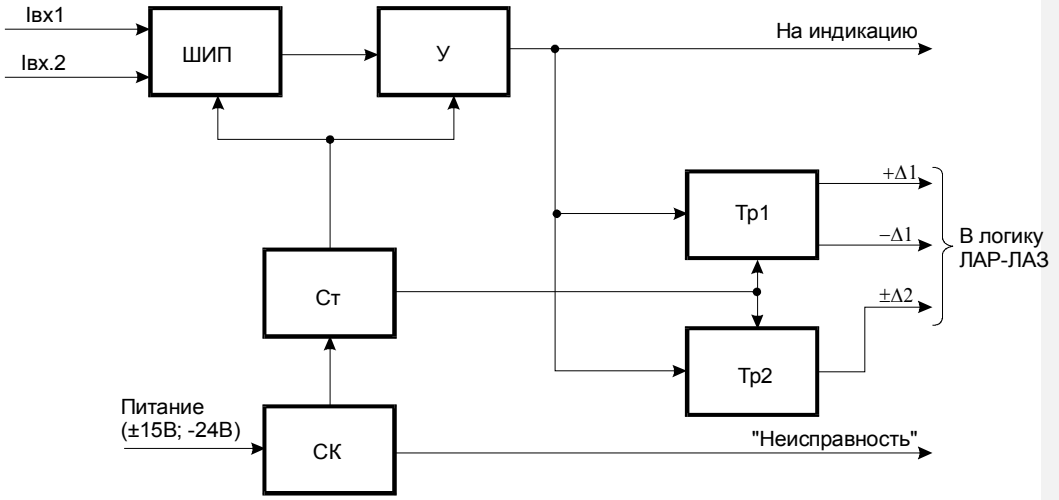

Рис. 4-28 Структурная схема БСП

ШИП - широтно-импульсный преобразователь; У - усилитель постоянного тока; Тр -двухканальный триггер; Ст - стабилизатор; СК - схема контроля

Сигналы срабатывания триггеров выдаются замыканием контактов реле.

Схема контроля (СК) выдаёт сигнал неисправности в логику ЛАР в виде "логической единицы" при исчезновении питания +15 В или -15 В.

Стабилизатор Ст обеспечивает питанием ШИП, У, Тр.

4.8.9 Корректор КрУ.7

Из КрУ.7 сигналы уставки возвращаются на клеммники ЗдМ ЛАР, где поступают на индивидуальные резисторные делители. Предусмотрена возможность неоперативной подстройки сигнала уставки мощности в каждой зоне на этих делителях. С выходов делителей сигналы подаются в соответствующие УСО.

Корректор уставки КрУ.7 предназначен для оперативного изменения токов, поступающих на входы УСО от задатчиков мощности ЗдМ ЛАР.

Корректор позволяет изменять ступенями по 2% токи уставок в каждом из 12 каналов ЛАР от -10% до +10% от установленного значения заданной мощности.

Корректор состоит из 12 идентичных блоков (по числу зон ЛАР-ЛАЗ). Каждый блок содержит переключатель на 11 положений и тумблер отключения зоны ЛАР. Положение переключателя определяет величину вводимого сопротивления в цепь «ЗдМ - УСО».

Величины сопротивлений, соответствующих оцифрованным значениям переключателя приведены в таблице Табл. 4-2:

Табл. 4-2

Положение переключателей	+5	+3	0	-3	-5
Сопротивление цепи (кОм)	0÷0,001	18,2±0,91	49,2±2,46	83,2±4,16	108,2±5,4

Тумблер отключения зоны ЛАР с измерительной схемой не связан. Сигнал с него поступает в логическую часть, где и формируется команда блокировки УСО.

Расположение тумблеров и переключателей 12 каналов мнемонически повторяет расположение зон ЛАР в реакторе.

4.8.10 Усилитель сигнала отклонения (УСО)

Токи датчиков КТВ.17зоны ЛАР-ЛАЗ, измененные в схемах КрТ и делителя клеммника входных сигналов, после суммирования поступают на вход УСО зоны ЛАР. В схеме клеммника входных сигналов суммируются 1/5 части откорректированных в КрТ токов датчиков зоны. На другой вход усилителя поступает сигнал от задатчиков мощности ЛАР (4ЗМ и 5ЗМ) через канал корректора уставки ЛАР, расположенный на секции 5А пульта оператора. Каждый задатчик ЛАР формирует сигнал для 6 зон ЛАР (задатчик 4ЗМ - для нечётных зонах, задатчик 5ЗМ - для чётных зонах).

Прибор обеспечивает:

- сравнение суммарного тока датчиков зоны (I_1) с опорным током от задатчика мощности (I_2) и выдачу сигнала в виде напряжения, пропорционального их относительному рассогласованию (диапазон изменения напряжения от -5 В до +5 В):

$$U = \kappa \cdot \frac{\Delta I_1}{I_2}$$

- отключение выхода УСО в логику при поступлении блокирующего сигнала из логики ЛАР;

- контроль исправности трактов формирования сигнала рассогласования, выдачу сигнала неисправности в логику ЛАР при неисправности УПТ, ШИП и при отсутствии питающих напряжений +15 В, -15 В;
- выдачу токового сигнала на индикатор разбаланса (-5% ÷ 0 ÷ +5%);
- индикацию с помощью плафона "Неисправность УСО", расположенного на лицевой панели прибора, неисправности УПТ (ШИП, Тр);
- индикацию отсутствия напряжений питания +15 В, -15 В в виде светового сигнала "Неисправность питания".

На лицевую панель УСО выведены:

- кнопка "Проверка", при нажатии которой имитируется неисправность одного из каналов усилителя;
- переключатель "Число рабочих камер" с положениями "4", "3", "2", позволяющий изменить величину опорного тока в схеме УСО при изменении числа датчиков в зоне при отключении неисправных датчиков (аппаратура ЛАР-ЛАЗ конструировалась из расчета наличия в одной зоне ЛАР-ЛАЗ до четырех детекторов).

Для блокировки выхода УСО предусмотрено реле блокировки, управляемое сигналами из логики ЛАР. Выходной сигнал УСО поступает на триггер зоны и на суммирующие триггеры в СТЭП-1,2. Причём, при блокировке УСО (зоны ЛАР) выход на суммирующий триггер становится равным нулю, а показания триггера зоны сохраняются.

Структурная схема прибора представлена на Рис. 4-29.

На входе УСО имеется широтно-импульсный преобразователь (ШИП), преобразующий входные токовые сигналы в последовательность разнополярных импульсов, длительность которых определяется величинами токов $I_{ик}$ и $I_{здм}$. На один вход ШИП поступает положительный ток камер $I_{ик}$, на другой - отрицательный опорный ток $I_{здм}$ от задатчика мощности, причём при скомпенсированном УСО величина отрицательного тока в два раза больше величины положительного тока. ШИП формирует положительные импульсы, длительность которых обратно пропорциональна току камер, и отрицательные импульсы с длительностью, обратно пропорциональной разности токов задатчика и камер, т.е.:

$$\tau_1 = \frac{K}{I_{ИК}};\ \tau_2 = \frac{K}{I_{ЗДМ} - I_{ИК}},$$

где К - коэффициент широтно-импульсного преобразования.

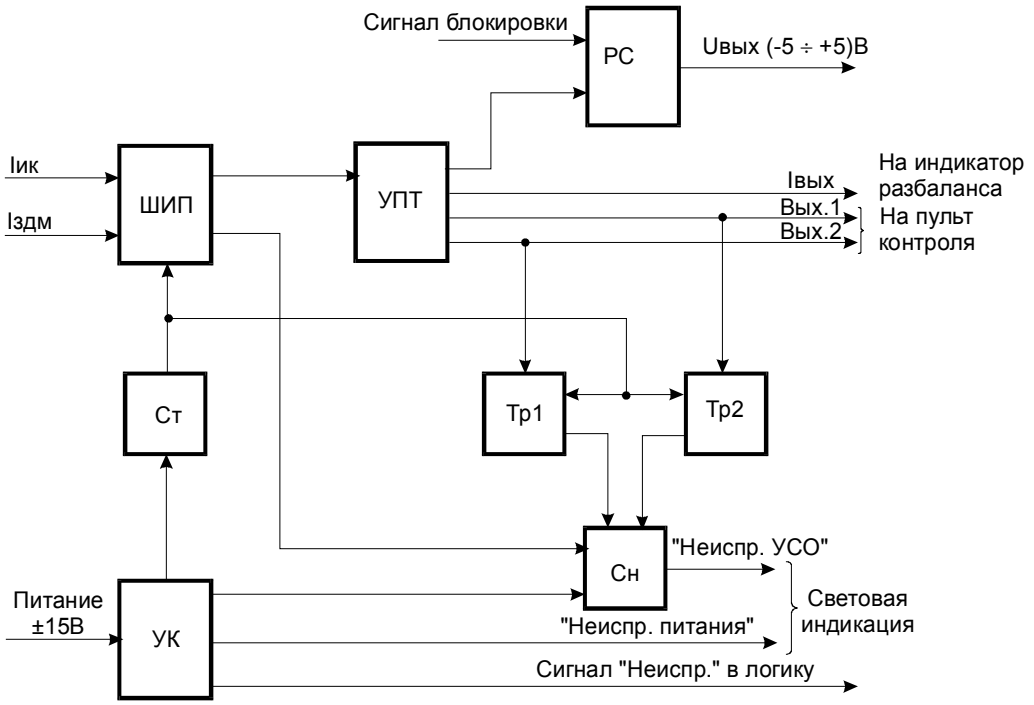

Рис. 4-29 Структурная схема УСО ЛАР

ШИП - широтно-импульсный преобразователь; УПТ - усилитель постоянного тока; Тр - триггер; Сн - схема формирования сигнала неисправности; Ст - стабилизатор; УК - узел контроля.

Постоянная составляющая на выходе ШИП равна:

$$U = \frac{1}{T} \cdot U_0(\tau_1 - \tau_2) = \frac{U_0(\tau_1 - \tau_2)}{\tau_1 + \tau_2},$$

где T = $\tau_1 + \tau_2$ - период импульсного напряжения на выходе ШИП;

U_0 - амплитуда положительных и отрицательных импульсов.

Схема прибора составлена так, что если измеряемая мощность соответствует заданной, то $I_{здм} = 2I_{ик}$ и постоянная составляющая на выходе ШИП равна 0. Если измеряемая мощность отклоняется от заданной на величину ΔI, то

$$U = U_0 \cdot \frac{I_{ЗДМ} - 2\left(I_{ИК} + \Delta I\right)}{I_{ЗДМ}} = -2 \cdot U_0 \cdot \frac{\Delta I}{I_{ЗДМ}}$$

Из данного соотношения следует, что постоянная составляющая на выходе ШИП прямо пропорциональна относительному отклонению тока датчиков и противоположна знаку отклонения.

Функция выделения постоянной составляющей в УСО осуществляется двухканальным усилителем постоянного тока (УПТ).

УПТ имеет 4 выхода:

- выход постоянной составляющей напряжения, изменяющегося в диапазоне от -5 В до +5 В, отключаемый по команде из логики ЛАР;
- токовый выход на индикатор разбаланса;
- два выхода на пульт контроля стойки ЛАР-ЛАЗ.

Последние два выхода соединены с триггерами (Тр1 и Тр2), осуществляющими контроль исправности трактов формирования выходного сигнала. В случае неисправности тракта, с триггера в схему формирования сигнала неисправности (Сн) выдаётся сигнал (в Сн срабатывает реле, контакты которого замыкают цепь выдачи сигнала неисправности из узла контроля УК).

УК, кроме того, выдаёт сигнал неисправности в случае исчезновения питания +15 В и -15 В.

Стабилизатор (Ст) питает ШИП, УПТ и триггеры Тр1 и Тр2, для этого он выдаёт напряжения +9 В и -9 В.

4.8.11 Триггеры Тг ЛАР (зонные и суммирующие).

Триггер предназначен для суммирования входных сигналов как положительной, так и отрицательной полярности и выдачи сигналов в логику при превышении заданных пороговых уровней.

Триггер обеспечивает:

- приём и усиление сигналов постоянного тока в диапазоне от -5 В до +5 В по каждому из семи входов;
- выдачу потенциальных сигналов превышения пороговых уровней.
- регулирование ширины петли релейной характеристики пороговых устройств в пределах: от 0,05 В до 0,1 В для К1, К2; и от 0,4 В до 0,6 В - для Б1 (К1, К2, Б1 - пороговые устройства);

- световую индикацию при достижении входным сигналом значения уставки;
- формирование сигнала неисправности при исчезновении питания +15 В или -15 В.

Напряжения срабатывания (при параллельном соединении семи входов) и диапазоны их регулирования приведены в Табл. 4-3.

Питание прибора осуществляется напряжениями ±15 В и -24 В. Уровни выходных сигналов пороговых устройств К1, К2 находятся в пределах 13÷17 В (выходные элементы заперты); Б1 в пределах 0÷1,5 В (выходные элементы открыты).

Табл. 4-3 Напряжения срабатывания триггеров и диапазоны их регулирования

Обозначение порогового устройства	Напряжение срабатывания (В)	Диапазон регулирования (В)
К1	±0,2 (±1%)	
К2	±0,4 (±2%)	от 0,2 до 1
Б1	±2 (±10%)	от 0,5 до 5

Функциональная схема триггера представлена на Рис. 4-30.

Суммирующий усилитель У выполнен на трёх операционных усилителях А1... А3, включенных последовательно. Усилитель А1 используется в качестве сумматора постоянных напряжений, усилители А2, А3 образуют две ступени усиления суммарного сигнала с коэффициентами передачи, равными единице и пяти, соответственно. С выхода усилителя А2 сигнал выдаётся на двухканальный триггер Б1 и на индикатор разбаланса, с выхода усилителя А3 - на двухканальные триггеры К1 и К2 и на индикатор разбаланса. Выходные напряжения усилителей согласованы по знаку с входными напряжениями.

Для проверки срабатывания триггеров подачей на контрольный вход У напряжения положительной или отрицательной полярности осуществляется проверка срабатывания двухканальных триггеров.

Двухканальный триггер содержит два пороговых устройства и логику обработки выходных сигналов (ЛОС). Пороговые устройства выполнены на операционных усилителях.

Положительное напряжение уставки и контролируемое напряжение подаются на инвертирующий вход А1, в результате чего А1 работает в качестве сумматора и сигнал на входе будет в том случае, если контролируемое напряжение будет отрицательным и его величина превысит величину уставки.

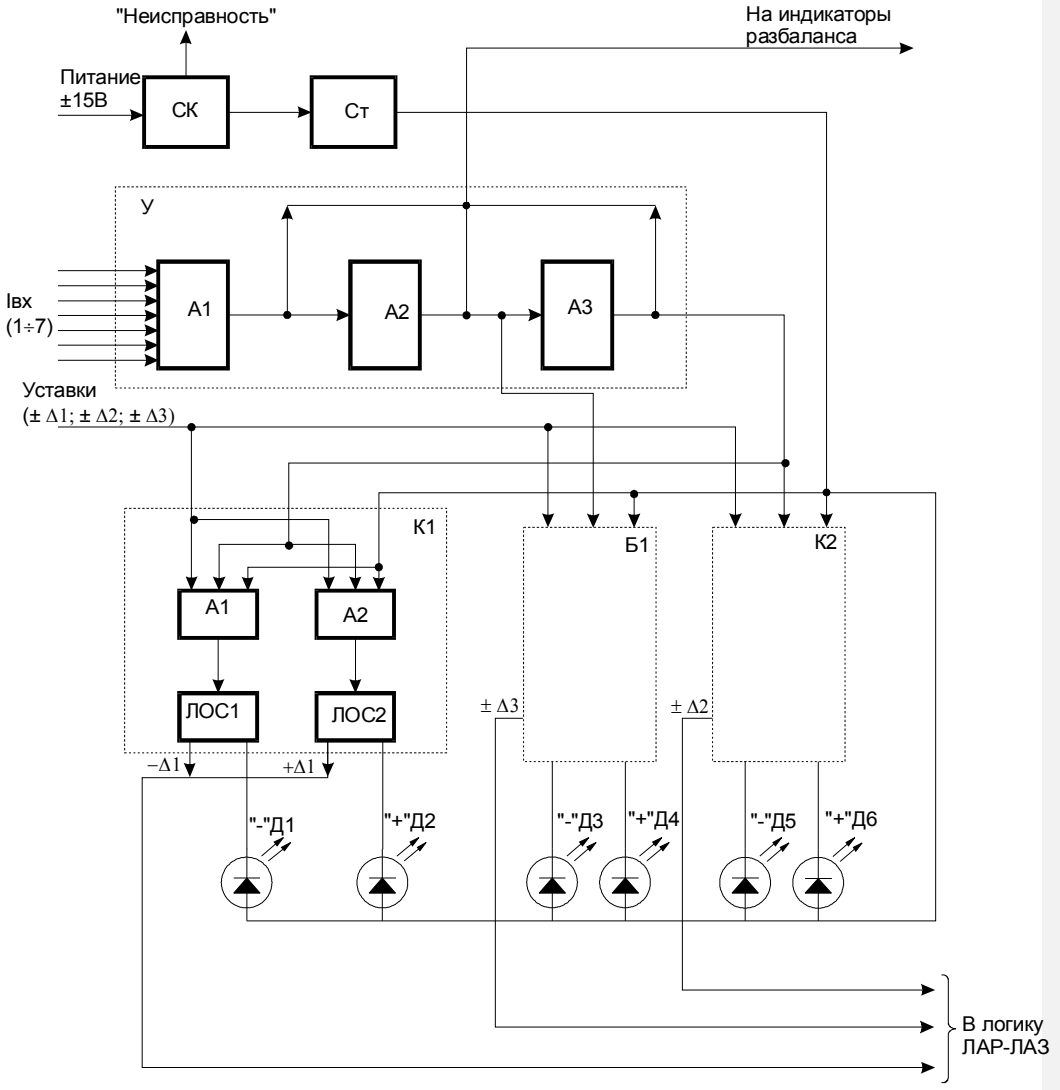

Рис. 4-30 Функциональная схема триггера Тг

У -усилитель суммирующий; А - операционный усилитель; К1, К2, Б1 - двухканальные триггеры; Ст - стабилизатор; СК - схема контроля питания; ЛОС - логика обработки выходных сигналов.

Усилитель А2 работает в режиме вычитателя, т.к. напряжение уставки подаётся на инвертирующий вход, а контролируемое напряжение - на неинвертирующий вход. Сигнал на выходе А2 будет в том случае, если величина положительного контролируемого напряжения превысит величину напряжения уставки. При превышении уставки выходной сигнал триггеров К1, К2 сформируется в виде "логического нуля", триггера Б1 - в виде "логической единицы". Значения уставки даны в таблице 1 и соответствуют разбалансам ±1%, ±2%, ±10%.

Срабатывание пороговых устройств отображается шестью светодиодами на лицевой панели Тг ("-К1", "-К2", "-Б1", "+К1", "+К2", "+Б2").

Уставки настраиваются с помощью переменных резисторов при проверках Тг на специальном стенде.

Стабилизатор Ст обеспечивает блоки У, К1, К2, Б1 напряжениями питания ±15 В, ±9 В.

Схема контроля питания обеспечивает параллельное включение двух независимых источников питания и вырабатывает сигнал неисправности в случае исчезновения сразу двух напряжений питания -15 В или +15 В.

Триггер Тг используется в качестве суммирующего триггера при раздельном включении входов, и в качестве триггера зоны - при параллельном включении всех семи входов.

Триггеры зоны и суммирующие триггеры (ТГ) построены по одинаковой схеме. Входные сигналы поступают на 7-входовый суммирующий усилитель (в триггерах зоны используется один вход). В суммирующем усилителе, имеющем две ступени усиления, происходит суммирование и усиление входных сигналов. Сигнал с выхода первой ступени усиления поступает на двухканальный триггер "±10%" и в тракт измерения на выносной индикатор. С выхода второй ступени сигнал подаётся на входы двухканальных триггеров "±2%" и "±1%", а также в тракт измерения. Выносные индикаторы подключены к одному из выходов измерения.

Имеется также дополнительный выход суммирующего усилителя, используемый для получения суммарного разбаланса всех 12 зон ЛАР.

В каждом суммирующем триггере одной стойки суммируются сигналы шести усилителей УСО с данной стойки и сигнал суммы разбалансов шести УСО, сформированный в общем блоке БТ другой стойки.

Для надёжной работы схемы ЛАР предусмотрено по два триггера в каждой стойке.

Двухканальные триггеры содержат по два пороговых элемента, имеющих равные по уровню, но противоположные по знаку пороги срабатывания. Имеется возможность изменять величину порога срабатывания.

В триггере ТГ предусмотрена схема контроля, позволяющая проверить функционирование усилителя двухканальных триггеров с помощью переключателя и двух кнопок на лицевой панели ТГ. Кроме того, схема контроля выдаёт сигнал неисправности в логику при исчезновении питающих напряжений.

С выходов триггеров зон в логику ЛАР подаются сигналы: "±1%", "±2%", "±10%", по которым формируются команды, соответственно, на перемещение стержней ЛАР, на перемещение стержней ЛАЗ (в режиме ПК) и на блокировку зоны ЛАР по неисправности.

С выходов суммирующих триггеров в логику выдаются сигналы "±2%" и "±10%", по которым формируются команды, соответственно, на автоподстройку задатчиков мощности ЛАР (срабатывание при ±2%, отпускание ТГ при ±1,4%) и на отключение ЛАР.

Выносные индикаторы триггеров зон объединены в 12-канальный индикатор отклонений ЛАР, выполненный на основе миллиамперметра М1742 и установленный в секции 4А ПО. Выносные индикаторы суммирующих триггеров объединены в четырёхканальный индикатор включения ЛАР на основе миллиамперметра М1740, установленный в секции 4А ПО. Шкалы индикатора отклонений и индикатора включения ЛАР отградуированы в пределах (-5 ÷ +5)%.

4.8.12 Пульт контроля

Пульт контроля входит в комплект каждой стойки аппаратуры ЛАР-ЛАЗ и предназначен для задания контрольных сигналов в блоки и контроля выходных сигналов блоков измерительной части.

Контрольные сигналы вырабатываются шестью имитаторами тока датчиков, каждый из которых содержит 4 генератора тока (по проектному числу датчиков в зоне). Диапазон регулирования тока составляет ±(0÷60) мкА, Диапазон относительного изменения тока - ±15% от заданного значения.

Регулировка тока осуществляется лимбом "Уровень" с пределами 0÷1,2 (расположен на передней панели ПК). В положении лимба "1,0" выходной ток составляет 50 мкА (положение лимба "Отклонение" - "0"). Регулировка отклонения тока осуществляется лимбом "Отклонение", расположенным на передней панели пульта, в диапазоне (-15% ÷ +15%). Контрольный сигнал подаётся одновременно в четыре канала зоны.

Измерение выходных сигналов блоков КрТ, УСО, УЗМ, ТГ осуществляется с помощью двух миллиамперметров и цифрового вольтметра, размещённых в ПК и подключаемых к измеряемой цепи двумя переключателями - переключателем выбора зоны и переключателем выбора блока и канала зоны (на стойках СТЭП и непосредственно на ПК).

Для подключения выхода блока для измерения необходимо на переключателе "зона" выбрать нужную зону, затем переключателем "блоки" выбрать необходимый блок. Положение "1" соответствует подключению для измерения выхода А1 УСО или Тг, положение "2" переключателя - соответственно выхода А2 УСО или Тг.

Для измерения сигналов рассогласования на выходах двух УЗМ зоны служат два миллиамперметра типа М1730А с диапазонами (-1 ÷+1) мА.

Для подключения миллиамперметров достаточно нажать одну из кнопок выбора зоны. При одновременном нажатии нескольких кнопок переключателей "зоны" и "блоки" измеряемую цепь подключает кнопка с меньшим порядковым номером.

Тумблер "Внешнее управление" позволяет подключить управление имитаторами токов с другой стойки или от любого другого источника сигналов.

Подключение имитаторов тока производится внутри каждой стойки соединением разъёмов "Контроль-1"÷"Контроль-6" с разъёмами "Выход-1"÷"Выход-6" кабелями контрольных сигналов из комплекта аппаратуры.