

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГНУ «НИИ ЯФ»

Утверждаю
Зам. дир. по ИК ЯР ФГНУ НИИ ЯФ

_____ Ю.А.Цибульников

"__" _____ 2007 г.

Утверждаю
Зав. каф. 21 ФТФ

_____ В.И.Бойко

"__" _____ 2007 г.

**ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ
РЕАКТОРА ИРТ-Т**

Лабораторный практикум на ИРТ-Т

Методические указания
к лабораторным работам

Томск – 2007

УДК 621.039.56

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ РЕАКТОРА ИРТ-Т
Методические указания к лабораторной работе

Составили: гл. инженер Худолеев П.Н.
 доцент Смиренский О.В.
 доцент Тотьменинов М.Е.
 доцент Колпаков Г.Н.

Рецензент

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры 21 ФТФ « ___ » _____ 2007 г.

Зав. кафедрой 21 ФТФ
профессор

В.И.Бойко

Зарегистрировано в редакционно-издательском отделе ТПУ

№ _____ от _____

Одобрено методической комиссией ФТФ

Доцент, к.т.н. _____ В.Д.Каратаев

« » _____ 2007 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Задачи системы управления и защиты реактора	4
2. Принципы построения и функции системы СУЗ	6
2.1. Принципы построения системы СУЗ	6
2.2. Информационно-измерительные функции комплекса аппаратуры СУЗ .	7
2.3. Функции управления комплекса аппаратуры СУЗ	8
2.4. Функции защиты и блокировок	10
3. Структура системы управления и защиты	11
3.1. Состав комплекса аппаратуры СУЗ	11
3.2. Ионизационные камеры	15
3.2.1. Ионизационная камера КН 012	15
3.2.2. Ионизационная камера КНК-53М	16
3.3. Рабочие органы СУЗ и их приводы	18
3.4. Блок «Мираж МБ»	19
3.5. Выносной индикатор– задатчик мощности	20
4. Работа системы СУЗ	20
4.1. Реализация информационных функций	20
4.2. Реализация функций защиты и блокировок	25
4.3. Управление реактором	27
5. Техника безопасности	31
6. Требования к отчету	31
Литература	31
Контрольные вопросы	32
Приложение. Требования к системе управления и защиты	33
1. Управляющие системы нормальной эксплуатации	33
2. Защитные системы безопасности	35
3. Управляющие системы безопасности	37

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа «Изучение системы управления и защиты реактора ИРТ-Т» является частью лабораторного практикума на ИРТ-Т для студентов специальности 140305 физико-технического факультета ТПУ. Работа может проводиться и для студентов родственных специальностей физико-технического и теплоэнергетического факультетов.

Выполняя лабораторную работу, студенты знакомятся с современной системой управления и защиты действующего реактора.

Лабораторная работа проводится на исследовательском реакторе ИРТ-Т ФГНУ НИИ ЯФ.

Цель работы: Изучить систему управления и защиты реактора ИРТ-Т: её структуру, составные части, принципы работы, основное оборудование.

1. ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

ИРТ-Т – бассейновый исследовательский реактор с легководным замедлителем, с использованием бериллия в отражателе, во внутренней тепловой сборке (ВТС) и в ловушке нейтронов в активной зоне (рис.1). В качестве топлива используется диоксид урана с обогащением 90% по урану-235. Тепловыделяющие элементы тонкостенные, дисперсионного типа с алюминиевой матрицей. Такой набор материалов позволил создать реактор сравнительно небольшого объема с значительной удельной мощностью, небольшой температурой в активной зоне и достаточно высокими потоками тепловых и быстрых нейтронов.

Система управления и защиты (СУЗ) реактора предназначена для обеспечения безопасной работы реактора во всех режимах его работы. В соответствии с этим система СУЗ обеспечивает выполнение следующих функций:

1. Автоматический или ручной пуск реактора, т.е. вывод реактора из подкритического состояния и вывод на заданный уровень мощности с заданным периодом. Эта операция для исследовательского ИРТ-Т может повторяться довольно часто в связи с проведением различных экспериментов и может сопровождаться изменениями состава реактора, например, частичными перегрузками топлива и сменой облучаемых образцов.

Для экономии времени система управления должна выводить исследовательский реактор из подкритического состояния достаточно быстро, в то же время при строгом выполнении требований ядерной безопасности.

Быстрый пуск необходим, например, в случае, когда возможно попа-

дание в «йодную яму» после кратковременной остановки реактора, работавшего на значительной мощности.

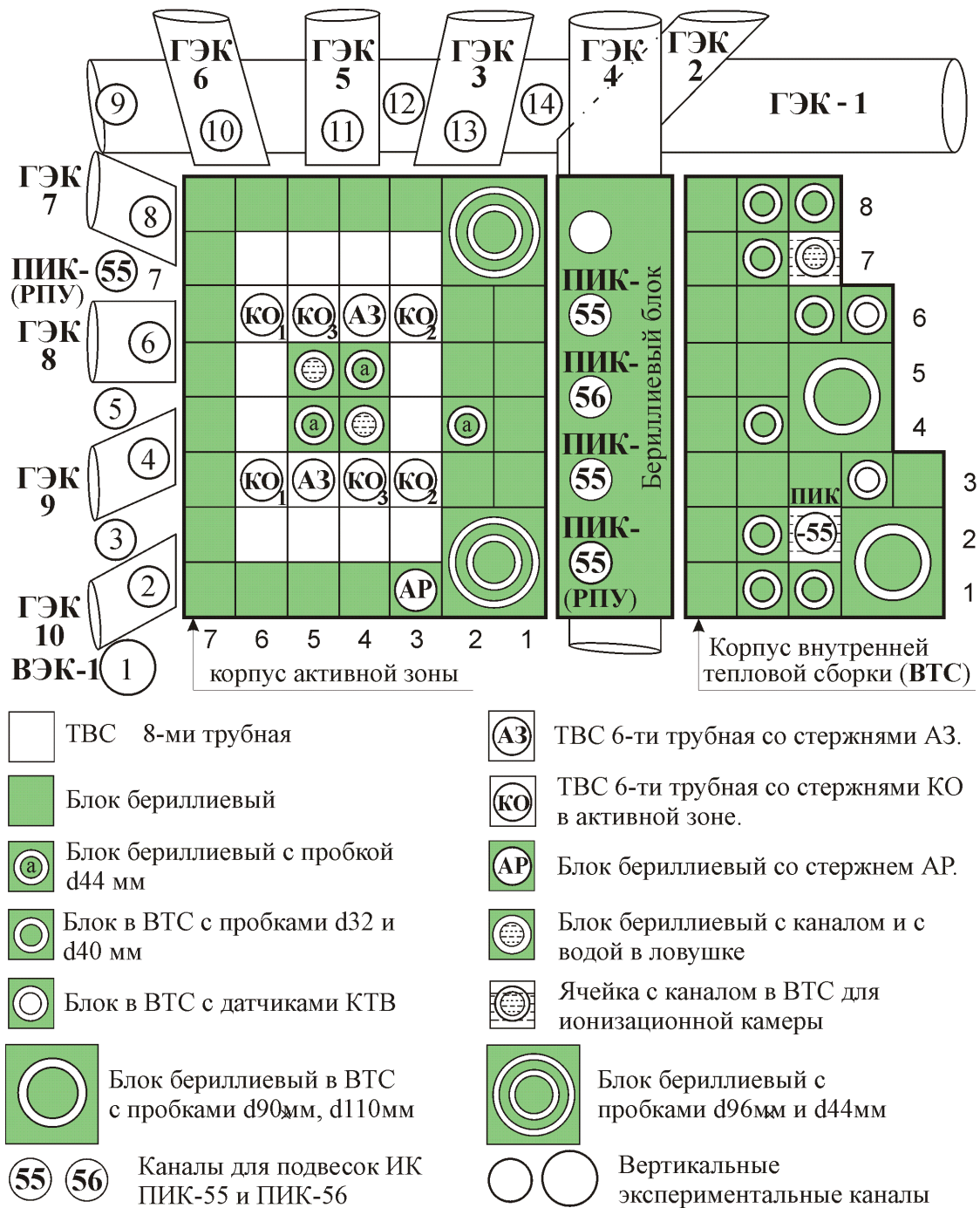


Рис.1. Картограмма активной зоны и экспериментальные устройства ИРТ-Т

2. Автоматическое поддержание заданного уровня мощности в диапазоне работы автоматического регулятора и автоматическое изменение мощности с заданным периодом при заданном изменении мощности.

При этом дополнительной работой в исследовательском реакторе

может оказаться необходимость тарировки тока ионизационных камер по тепловой мощности после существенной перестройки активной зоны.

3. Ручное дистанционное управление перемещением органов воздействия на реактивность.

4. Непрерывный контроль и регистрация уровня относительной физической мощности реактора.

5. Контроль скорости изменения физической мощности реактора.

6. Контроль технологических параметров, по которым формируются сигналы аварийной защиты.

7. Контроль положения рабочих органов СУЗ.

8. Контроль относительной физической мощности реактора и конечных положений органов воздействия на реактивность с резервного пульта.

9. Предупредительная и аварийная световая и звуковая сигнализация при отклонениях контролируемых параметров от заданных значений и при неисправностях в системе.

10. Автоматический или ручной дистанционный останов реактора при возникновении аварийных ситуаций в реакторе по сигналам детекторов контроля нейтронного потока (физической мощности) и по сигналам первичных или вторичных преобразователей системы контроля технологических параметров. Остановка может быть вызвана не только собственными неисправностями, но и неисправностями экспериментальных устройств.

11. Фиксация причин срабатывания защиты и последовательности событий, приведших к аварийной остановке.

12. Компенсация выгорания и зашлаковывания в промежутках между частичными перегрузками. Для этого используются компенсирующие стержни (КО).

Под контролем СУЗ также выполняются перестройки активной зоны: перегрузки, изменения компоновки активной зоны, манипуляции с облучаемыми образцами в центральных экспериментальных каналах.

2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ СУЗ

2.1. Принципы построения системы СУЗ

В соответствии со своим назначением СУЗ формирует команды защиты и блокировок, осуществляет контроль и представление оператору информации о параметрах объекта и их регистрацию, формирует сигналы автоматического управления и предоставляет оперативному персоналу возможности для ручного дистанционного управления объектом.

Система выполнена со структурным и функциональным резервированием, позволяющим обеспечить работу реактора в условиях единичных отказов как во внешнем электропитании, так и единичных отказов в собственной аппаратуре. В составе СУЗ предусмотрены блоки бесперебойно-

го питания, содержащие собственные аккумуляторные батареи, что позволяет обеспечить контроль за остановленным после срабатывания аварийной защиты реактором и при отсутствии внешнего электропитания.

Сигналы, разрешающие пуск реактора, формируются только при отсутствии сигналов об отказе аппаратуры и при наличии электропитания на обоих фидерах.

После пуска реактора на заданный уровень мощности и отказе любого из фидеров допускается продолжение работы реактора на заданном уровне мощности, при этом сохраняются все функции контроля, защиты и регистрации. Действия по увеличению мощности блокируются аппаратурой.

При работе реактора на заданном уровне мощности и отказе любого из функциональных блоков или любого из блоков вторичного электропитания допускается продолжение работы реактора на заданном уровне мощности, при этом сохраняются все функции контроля, защиты и регистрации. Действия по увеличению мощности блокируются аппаратурой.

После устранения неисправностей – восстановления внешнего электропитания, замены вышедшего из строя функционального блока или блока вторичного электропитания на исправный из состава ЗИП, все функции СУЗ восстанавливаются в полном объеме.

При полном отказе внешнего электропитания по обоим фидерам формируется сигнал остановки реактора, при этом за счет наличия аккумуляторов в блоках бесперебойного питания сохраняются функции контроля и регистрации в течение не менее 30 минут. Некоторое увеличение этого времени может быть достигнуто за счет гашения (при сохранении в памяти последовательности поступлении предупредительных и аварийных сигналов) индикаторов блоков сигнализации и указателей положения стержней.

Для продления времени контроля при отсутствии внешнего электропитания необходимо использовать систему аварийного питания, например, дизель-генератор.

Комплекс аппаратуры системы СУЗ выполняет следующие функции:

- информационно-измерительные функции и функции регистрации,
- функции защиты и блокировок,
- функции управления.

2.2. Информационно-измерительные функции комплекса аппаратуры СУЗ

В системе СУЗ реализуются следующие информационно-измерительные функции и функции регистрации:

1. Контроль по шести независимым каналам за изменениями относительной физической мощности реактора по плотности потока нейтронов в шести местах установки ионизационных камер и пред-

ставление этой информации на шести показывающих приборах (четыре – на пульте оператора, два – на резервном пульте).

2. Контроль скорости (периода) относительных изменений физической мощности по четырем независимым каналам и представление этой информации на четырех показывающих приборах на пульте оператора.
3. Контроль перепада давления воды на активной зоне, температуры воды на входе в активную зону, перепада температуры воды на активной зоне, уровня воды в бассейне реактора, давления на напоре насоса аварийного охлаждения, мощности дозы гамма излучения на трубопроводе 1-го контура, активности газов в воздухе под крышкой бассейна реактора по трём независимым каналам для каждого параметра и представление этой информации на показывающих приборах на пульте оператора (кроме уровня воды в бассейне реактора).
4. Контроль температуры воды на входе в активную зону по одному каналу, уровня воды в бассейне реактора по двум каналам, мощности дозы гамма излучения по четырём каналам и представление этой информации на резервном пульте.
5. Контроль и представление информации о положении шести органов воздействия на реактивность, в том числе о крайних положениях органов **А31** и **А32** — на индикаторы пульта оператора, о крайних и промежуточных положениях органов **АР**, **КО1**, **КО2**, **КО3** — на индикаторы и указатели положения на пульт оператора, а также представление информации о крайних положениях всех органов — на резервном пульте.
6. Контроль и представление информации о работе как отдельных блоков, так и комплекса аппаратуры в целом.
7. Представление информации (световой и звуковой) о первопричинах возникновения предупредительных и аварийных сигналов с фиксацией последовательности их появления.
8. Регистрация и отображение контролируемых параметров и сигналов в рабочих станциях отображения и информационной поддержки (РСО и РСИП).

2.3. Функции управления комплекса аппаратуры СУЗ

Особенностью реактора как объекта управления является то, что в различных его состояниях основной контролируемый параметр реактора — мощность (или плотность нейтронного потока) меняется в очень широких пределах. Реактор может находиться в следующих состояниях:

1. Остановленный реактор. Реактор находится в подкритическом состоянии. Минимальный уровень мощности составляет 10^{-10} — 10^{-11} от номинального уровня. Если же в активной зоне и в отражателе имеется бериллий, то минимальный уровень нейтронного потока в остановленном реакторе может быть на несколько порядков выше ($\sim 10^{-2}$ н/см²с).

2. Пуск реактора, вывод из подкритического состояния. Критическое состояние при пуске достигается при мощности 10^{-10} — 10^{-8} от номинальной.

3. Регулируемый разгон.

4. Работа на энергетических уровнях мощности.

5. Останов реактора.

В реакторе ИРТ-Т благодаря использованию в качестве датчиков нейтронного потока камер деления контроль величины нейтронного потока возможен и в остановленном реакторе.

В остановленном реакторе все стержни управления находятся в погруженном состоянии. Пуск реактора начинается с извлечения стержней аварийной защиты (**АЗ**). Взвод стержней **АЗ** возможен только путем ручного дистанционного управления. При этом обеспечивается блокировка извлечения стержней **АР**, **КО1**, **КО2**, **КО3** до взвода стержней **АЗ**.

В системе предусмотрена возможность ввода - вывода стержней **КО** и **АР** путем ручного дистанционного управления, то есть возможность ручного пуска реактора.

В состав СУЗ входит система автоматического пуска и регулирования уровня относительной физической мощности, обеспечивающая автоматический пуск реактора и перевод его с одного уровня мощности на другой воздействием на привод стержня **АР** с автоматическим подключением рабочих органов **КО1**, **КО2** и **КО3**.

Дискретность задания уровня физической мощности не менее 1 % от заданной мощности $N_{\text{зад}}$;

Автоматический пуск и регулирование обеспечивается оптимальным регулятором, состоящим из информационно-измерительного блока “Мираж МБ” (см. ниже), работающего с токовой ионизационной камерой, сервоусилителя и привода стержня **АР**.

Рабочий период увеличения мощности составляет 50 с при автоматическом управлении и не менее 50 с при ручном управлении.

Диапазон перемещения стержня **АР** в режиме автоматического регулирования – от 80% до 20% погружения в активную зону.

Диапазон работы канала регулирования, работающего с токовой ионизационной камерой, не превышает семи порядков изменения мощности (т.е. от $10^{-7} N_{\text{ном}}$ до $N_{\text{ном}}$) из-за фонового тока ионизационной камеры, вызванного гамма излучением. Поэтому управление приведенной выше скоростью разгона (периодом) при малых значениях потоков осуществля-

ется за счет схемы, вырабатывающей отрицательное (уменьшающее реактивность) напряжение при наличии по крайней мере двух отрицательных сигналов с выходов блоков “Мираж МБ”, находящихся в трактах защиты, по сигналам «УБЗ» — управление от блока защиты.

2.4. Функции защиты и блокировок

Аппаратура СУЗ обеспечивает формирование команд аварийной защиты и предупредительной сигнализации с логикой «2 из 3» по параметрам, приведённым в табл.1 ($N_{зад}$ – заданная оператором мощность).

Таблица 1

Параметр	Условия срабатывания	
	аварийной защиты	предупредительной сигнализации
Относительная физическая мощность	$\geq 1,2 N_{зад}$	$\geq 1,1 N_{зад}$
Период изменения относительной физической мощности	≤ 10 с	≤ 20 с
Температура воды на входе в активную зону	$\geq 47^{\circ}\text{C}$	$\geq 45^{\circ}\text{C}$
Перепад температуры на активной зоне	$\geq 10^{\circ}\text{C}$	$\geq 9,5^{\circ}\text{C}$
Уровень воды в бассейне реактора	$\leq 7,0$ м	$\leq 7,2$ м
Перепад давления на активной зоне	≤ 27 кПа	≤ 30 кПа
Давление на напоре насоса аварийного охлаждения	≤ 118 кПа	≤ 135 кПа
Мощность дозы гамма-излучения на трубопроводе 1 контура	≥ 500 мкР/с	≥ 400 мкР/с
Активность газов под крышкой реактора	$\geq 5,6 \cdot 10^7$ Бк/м ³	$\geq 2,8 \cdot 10^7$ Бк/м ³

Команды аварийной защиты формируются также при нарушениях в системе электропитания, в том числе и при исчезновении входного электропитания и при возникновении неисправностей в собственной аппаратуре.

Кроме того, команды аварийной защиты формируются при нажатии любой из двух кнопок «АЗ» на пульте оператора, кнопки «АЗ» на резервном пульте, кнопки «АЗ» в реакторном зале.

Аварийная защита реализуется по командам аварийной защиты путем обесточивания электромагнитных муфт сцепления ЭМС в приводах стержней АЗ, что приводит к сбросу их в активную зону, и автоматического включения на погружение приводов стержней АР и КО. Защитное действие, созданное сигналом АЗ, производится из любого положения РО СУЗ

и доводится до полного ввода стержней **A31**, **A32**, **AP** и **КО** в активную зону.

В СУЗ предусмотрено опускание до своих крайних нижних положений регулирующего и компенсирующих стержней, если стержни аварийной защиты не находятся в верхнем положении.

В СУЗ предусмотрен ряд блокировок (запретов) некоторых действий при невыполнении определенных условий. Так, взвод аварийной защиты возможен лишь при нахождении всех органов **AP** и **КО** в нижних положениях.

Предусмотрена блокировка на извлечение органов воздействия на реактивность (блокировка увеличения реактивности) при возникновении недопустимых отклонений по контролируемым параметрам в соответствии с табл.1, при возникновении неисправностей в аппаратуре, отсутствии какого-либо функционального или логического блока на своем месте, снижении степени резервирования электропитания.

В ручном дистанционном режиме управления предусмотрена блокировка одновременного извлечения двух и более органов регулирования и компенсации.

При работе реактора действия по увеличению мощности блокируются в случае возникновения определенных неисправностей (см. п.2.1).

3. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

3.1. Состав комплекса аппаратуры СУЗ

Система СУЗ состоит из двух частей: основная часть, включающая основной пульт управления, и резервный пульт управления с соответствующей аппаратурой (рис.2).

Четыре датчика нейтронного потока работают в комплекте с основным пультом управления, два датчика – с резервным пультом. Датчики остальных технологических параметров (температуры, давления, и т.д.) являются общими для аппаратуры основного и резервного пультов.

Рабочими органами СУЗ являются девять стержней управления.

В состав **основной части** комплекса аппаратуры входят следующие составляющие:

- ❖ четыре ионизационные камеры, в том числе три камеры деления КН-012, конструктивно включенные в три подвески ПИК-55, и одна токовая камера КНК-53, включенная в подвеску ПИК-56,
- ❖ две приборные стойки, каждая из которых включает два информационно-измерительных блока «Мираж МБ», аппаратные блоки, блоки питания, источник бесперебойного питания,
- ❖ пульт оператора,

- ❖ две рабочие станции отображения (PCO1 и PCO2), каждая из которых включает в себя процессорный блок, монитор, клавиатуру, источник бесперебойного питания, манипулятор «мышь», два преобразователя интерфейса ПИ-04.

В состав каждой приборной стойки входят два блока «Мираж МБ», блок аппаратный (содержит блоки реле, блоки логики, три сервоусилителя, блоки диодно-резисторные, блок аппаратный (содержит три блока специальной логики), блоки питания и контроля питания, источник бесперебойного питания.

Пульт оператора включает в себя следующие блоки:

- панель управления,
- панель индикации ПИ1,
- модуль регистрации «Мираж МР»,
- панель индикации ПИ2,
- панель индикации ПИ3,

На **панели управления** имеются:

- четыре выносных индикатора задатчика мощности (**ВИЗМ**),
- кнопка «**Проверка звука АС**» (аварийной сигнализации),
- кнопка «**Проверка звука ПС**» (предупредительной сигнализации),
- кнопка «**Проверка звука УС**», (уведомительной сигнализации),
- кнопка «**Снятие звука**»,
- кнопка «**Деблокировка сигнализации**»,
- тумблер «**Гашение индикации**»,
- тумблер «**Гашение сигнализации**»,
- тумблер «**Гашение УЩ**»,
- две кнопки «**Аварийная защита**» для срабатывания аварийной защиты.
- ключ «**РО АР Автомат/Ручной**» для выбора режима управления перемещением органов АР,
- тумблер «**РО КО1, КО2, КО3 Автомат/Ручной**» для выбора режима работы РО КО,
- четыре ключа с нефиксируемыми положениями (с самовозвратом) «**Перемещение органа**» для управления перемещением – извлечением или вводом органов АР, КО1, КО2, КО3,

- четыре тумблера — «Запрет извлечения АР», «Запрет извлечения КО1», ...«Запрет извлечения КО3» для принудительного разрыва цепей питания электродвигателей,
- тумблер принудительного разрыва цепей питания муфт сцепления приводов АЗ,
- кнопка «Деблокировка АЗ»,
- кнопка «Взвод РО АЗ».

Панель индикации ПИ1 включает в себя:

- четыре указателя положения цифровых (УПЦ) для представления информации о положениях (крайних и промежуточных) органов АР, КО1, КО2, КО3,
- блок индикации для представления информации о крайних положениях стержней АЗ1 и АЗ2,
- четыре узкопрофильных показывающих прибора сигналов мощности от блоков «Мираж МБ» основного комплекта,
- четыре узкопрофильных показывающих прибора сигналов скорости нарастания мощности от блоков «Мираж МБ» основного комплекта,
- три узкопрофильных показывающих прибора сигналов перепада давления на активной зоне от блоков «Мираж МБ» аварийной защиты,
- три узкопрофильных показывающих прибора сигналов давления на напоре насоса аварийного охлаждения от блоков «Мираж МБ» аварийной защиты.

Панель индикации ПИ2 включает в себя:

- четыре блока световых сигнализаторов предупредительной сигнализации,
- три блока световых сигнализаторов аварийной сигнализации,
- узкопрофильный показывающий прибор сигнала уровня воды в бассейне от одного из блоков «Мираж МБ» аварийной защиты,
- три узкопрофильных показывающих прибора сигналов температуры воды от блоков «Мираж МБ» аварийной защиты,
- три узкопрофильных показывающих прибора сигналов разности температуры воды на выходе и входе активной зоны от блоков «Мираж МБ» аварийной защиты,

- три узкопрофильных показывающих прибора сигналов мощности дозы гамма-излучения на трубопроводе 1-го контура от блоков «Мираж МБ» аварийной защиты,
- три узкопрофильных показывающих прибора сигналов активности газов в воздухе под крышкой бассейна реактора от блоков «Мираж МБ» аварийной защиты.

Панель индикации ПИЗ включает в себя:

- четыре **блока световых сигнализаторов** уведомительной сигнализации,
- два **блока звуковых** извещений,
- два **блока громкоговорителя.**

В состав **резервной части СУЗ** входят:

- ❖ две подвески ПИК-55 с ионизационными камерами деления,
- ❖ рабочая станция отображения (PCO3), включающая в себя процессорный блок, монитор, клавиатуру, манипулятор «мышь», источник бесперебойного питания, преобразователь интерфейса ПИ-04.
- ❖ стойка приборная, включающая в себя:
 - два блока «Мираж МБ»,
 - блок аппаратурный БА₃₋₁,
 - блок аппаратурный БА₃₋₂ , содержащий четыре узкопрофильных показывающих прибора сигналов мощности дозы гамма-излучения от блоков «Мираж МБ» резервного комплекта,
 - блоки питания и контроля питания, источник бесперебойного питания.
 - кнопка «Сброс АЗ»,

Блок аппаратурный БА₃₋₁ включает в себя:

- блок индикации,
- два узкопрофильных показывающих прибора, на которые выводятся сигналы мощности с блоков "Мираж МБ" резервного комплекта,
- узкопрофильный показывающий прибор сигнала температуры воды от одного из блоков «Мираж МБ» резервного комплекта,
- кнопку «Аварийная защита».

3.2. Ионизационные камеры

3.2.1. Ионизационная камера КН 012

Детекторами нейтронного потока во всех каналах контроля являются ионизационные камеры КН 012 (в подвеске ПИК-55) или КНК-53М (в подвеске ПИК-56). Ионизационные камеры установлены в сухих вертикальных каналах за отражателем реактора.

Первичными преобразователями широкодиапазонных каналов контроля физической мощности реактора являются пять импульсно-токовых ионизационных камер КН 012. Конструктивно камера входит в подвеску ПИК-55 ионизационной камеры. Корпус подвески представляет собой трубу из нержавеющей стали 12Х18Н10Т диаметром 50 мм. В качестве верхней биологической защиты в подвеске установлены две пробки из сплава АД-1. Камера обеспечивает преобразование величины плотности нейтронного потока и мощности дозы фонового гамма-излучения в выходные электрические сигналы, вводимые в блок безопасности «Мираж МБ». Ионизационная камера КН 012 содержит урановую ионизационную камеру деления (ИКД) и гамма-чувствительную ионизационную камеру (ИКГ) с электродами без покрытия. Камеры ИКД и ИКГ расположены в корпусе подвески на одном уровне по высоте.

Внутренняя полость герметичного корпуса подвески так же, как и внутренний объем ионизационных камер, заполнена смесью аргона, азота и гелия с абсолютным давлением 0,35 МПа (3,5 кгс/см²).

Внешняя линия связи от камер до модуля «Мираж МБ» выполнена двумя радиочастотными парносвитыми кабелями КМПДЭ и подключена к блоку аналоговой обработки сигналов БАО-05.

Конструкция подвески позволяет регулировать высотное положение центра чувствительного участка камеры относительно активной зоны реактора в пределах 500 мм.

В диапазоне величин плотности нейтронного потока (при остановленном реакторе) от $1 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^5$ н/см²с в цепях урановой ИКД под воздействием нейтронов и фонового гамма-излучения протекает импульсный электрический ток. ИКД работает в импульсном режиме.

В промежуточном диапазоне, при плотности нейтронного потока от 10^5 до 10^7 н/см²с в цепях урановой ИКД также протекает импульсный ток, пропорциональный плотности нейтронного потока и мощности гамма-излучения. Но при этом отдельные импульсы накладываются друг на друга, величина токов флуктуирует, ИКД работает в флуктуационном режиме.

В энергетическом диапазоне, при плотности потока от 10^7 н/см²с и выше, в цепях ИКД под воздействием нейтронов и гамма-излучения протекает электрический ток, пропорциональный плотности потока нейтронов и мощности гамма-излучения. ИКД работает в токовом режиме.

При мощности дозы гамма-излучения до 10^6 Р/час в цепях ИКГ также протекает электрический ток, пропорциональный мощности дозы гамма-излучения.

Основные характеристики ионизационных камер следующие:

- напряжение питания для каждой камеры – $+(200-500)$ В,
- максимальный выходной ток ИКД и ИКГ – $2,4 \cdot 10^{-3}$ А,
- максимальная скорость счета выходных импульсов ИКД (в блоке «Мираж МБ») – 10^5 имп/с,
- коэффициент преобразования плотности потока тепловых нейтронов ИКД токовый $K_{тн}=0,9 \cdot 10^{-13}$ А/(н/см²с),
- коэффициент преобразования плотности потока тепловых нейтронов ИКД импульсный $K_{итн}=0,2$ имп/(н/см²),
- коэффициент преобразования мощности дозы гамма-излучения ИКГ токовый $K_{тг}=10^{-11}$ А/(Р/ч).

3.2.2. Ионизационная камера КНК-53М

Токовая ионизационная камера КНК-53М работает как первичный датчик нейтронного потока при работе реактора в энергетическом диапазоне. Конструктивно она входит в подвеску ПИК-56. В камере осуществляется компенсация гамма-фона. Чувствительность ее к тепловым нейтронам $1,7 \cdot 10^{-14}$ А/(н см⁻² с⁻¹). Камера подключена к блоку усилителя тока БУТ-02. Размеры камеры: длина — 512 мм, диаметр — 65 мм.

Поскольку нейтроны практически не ионизируют атомы вещества, для их регистрации используются вторичные ионизирующие (заряженные) частицы, образующиеся в камере в результате взаимодействия нейтронов со специально введенным в камеру веществом. В камере КНК-53М таким веществом является бор. Ионизирующими частицами являются альфа-частицы, возникающие в результате реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha) ^7\text{Li}$.

Для снижения чувствительности к гамма-излучению в камере применена компенсация влияния этого излучения током дополнительной ионизационной камеры, нечувствительной к нейтронам.

Электродная система камеры (рис. 3) образована набором небольших чередующихся объемов борной и компенсирующих частей. Каждый электрод представляет собой набор параллельных дисков диаметром 44,5 мм. Диски различаются только покрытиями. На рисунке утолщения на дисках обозначают борное покрытие. У высоковольтного (положительного) электрода борной части камеры покрытие нанесено с двух сторон диска, у

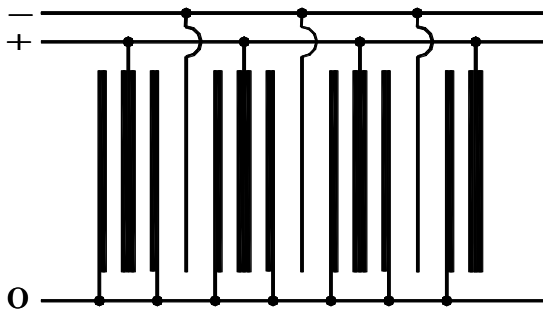


Рис. 3. Принципиальная схема электродной системы камеры КНК-53М

электрода (отрицательного) гамма-компенсирующей части камеры такого покрытия на дисках нет. У собирающего электрода покрытие на дисках нанесено с одной стороны. Каждая система дисков собирается на двух стойках. Расстояние между дисками 1,6 мм. Общее количество дисков в камере 148. Стойки каждого электрода крепятся через кварцевые изоляторы на двух фланцах. Для большей жесткости электродная система разделена на четыре секции опорными кольцами. Материал фланцев и корпуса – нержавеющая сталь. Давление смеси газов-наполнителей (аргон, азот и гелий) в ИК и корпусе – 0,35 МПа (3,5 кгс/см²).

Таким образом, камера фактически состоит из двух одинаковых по конструкции частей (ионизационных камер), содержащих каждая по 77 ячеек. В одной части диски покрыты слоем бора, во второй части такого покрытия нет. В результате первая часть регистрирует и нейтроны и гамма-фон, вторая – только гамма-фон. В электрической схеме (рис. 4) используется разность этих сигналов. В результате камера регистрирует практически только тепловые нейтроны, а чувствительность к гамма-излучению составляет всего около 10^{-11} А/(Р/ч). Линейный диапазон работы камеры – от 0 до 2,4 мА.

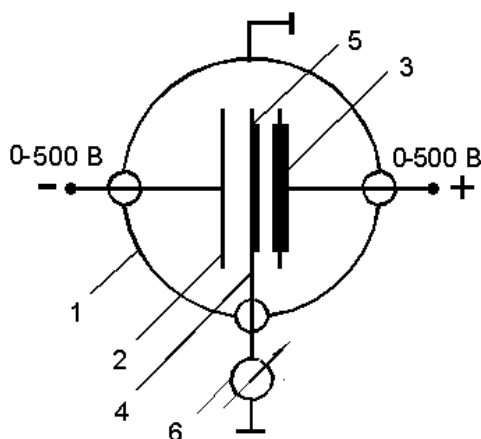


Рис. 4. Принципиальная схема включения камеры:

1 – корпус; 2 – высоковольтный электрод γ -компенсирующей части камеры; 3 – высоковольтный электрод борной части камеры; 4 – собирающий электрод; 5 – борное покрытие; 6 – измерительный прибор

3.3. Рабочие органы СУЗ и их приводы

В качестве рабочих органов СУЗ используются 9 поглощающих стержней: один стержень автоматического регулирования (АР), шесть компенсирующих стержней (КО) и два стержня аварийной защиты (АЗ).

Стержни КО и АЗ расположены в активной зоне внутри шеститрубных ТВС типа ИРТ-3М, стержень АР расположен в бериллиевом блоке рядом с активной зоной (рис.1). Стержни КО объединены в три группы (КО-1, КО-2, КО-3) по два стержня в группе. Каждая группа имеет свой привод.

В качестве поглотителя во всех стержнях используются таблетки карбида бора, которые заключены в герметичный чехол из нержавеющей стали диаметром 23×1 мм. Диаметр таблеток во всех стержнях одинаков и равен 21 мм. Длина поглощающей части стержня составляет 600 мм. У каждого стержня ниже поглотителя имеется алюминиевый вытеснитель.

Внутренний диаметр канала, в котором устанавливается стержень, равен 26 мм. Рабочий ход каждого стержня равен 60 см, у стержня АР он ограничен в пределах 47 см (линейная часть характеристики) концевыми выключателями.

Эффективность стержней СУЗ и время ввода в активную зону по сигналу аварийной защиты приведены в табл.2. Эти величины меняются от кампании к кампании.

Таблица 2

Стержни	Эффективность стержней, % $\Delta k/k$	Время ввода по сигналу АЗ, с
АР	0,246	46
КО-1	3,76	73
КО-2	4,88	64
КО-3	5,62	54
АЗ-1	1,80	0,7
АЗ-2	1,70	0,7

Общий вес стержней АР, КО-1, КО-2, КО-3 – 14,5 %. Время взвода каждого стержня АЗ составляет 25–60 с, скорость перемещения при взводе 12–25 мм/с. Взвод стержней АЗ производится поочередно, т.е. при одной нажатой кнопке.

Подъем групп стержней КО в ручном режиме может производиться только поочередно, причем только шагами. За один шаг группа КО поднимается на 3 – 4 мм. Введенная максимальная реактивность за один шаг – не более 0,1 $\beta_{эф}$ ($\beta_{эф} = 0,00785 \Delta k/k$). В автоматическом режиме скорость подъема, например, КО-3 – около 1 мм/с, а время подъема – около 10 мин.

При опускании стержней система шагового перемещения отключается и они движутся с постоянной скоростью 0,6–1 мм/с. При

нажатии кнопки **АЗ**, а также по сигналу аварийной защиты стержни **АР** и **КО** погружаются в активную зону с увеличенной скоростью (8 —13 мм/с).

Возможность заклинивания стержней управления исключается конструктивными мерами. Стержни защищены от внешних воздействий тем, что находятся внутри каналов, каналы “мокрые”. Тросики также находятся внутри каналов, а в верхней своей части – под настилом верхней площадки реактора. Соединения между составными частями стержня (верхний наконечник-утяжелитель, поглощающий элемент и вытеснитель) выполнены шарнирными.

Все стержни СУЗ подвешены на тросиках. Крепление тросиков стержней **КО** и **АР** к барабанам саморасцепляющееся. Тросик закрепляется на барабане таким образом, что при вращении барабана дальше крайнего нижнего положения **РО** он самопроизвольно отцепляется от барабана. Крепление тросиков стержней **АЗ** жесткое.

В приводах стержней **КО** и **АР** используются электродвигатели постоянно тока МИ-12Ф. Приводы всех стержней имеют конечные – верхние и нижние выключатели. Положение стержней **КО** контролируется указателями конечных и промежуточных положений. Указатели конечных положений всех стержней включаются и выключаются конечными выключателями соответствующего привода. Промежуточное положение каждого стержня **КО** контролируется с помощью встроенного в привод сельсин-датчика типа БД-04. Положение стержня **АР** также контролируется системой сельсин-датчик – сельсин-приемник. Кроме того, в приводе стержней **АР** имеется 8 промежуточных и концевых выключателей. Перемещения органов аварийной защиты осуществляются при помощи приводов СП-40. Привод СП-40 имеет в своём составе двигатель ДГ-500М, электромагнитную муфту, механический редуктор, барабан для намотки троса, тормоз, концевые выключатели. Извлечение органа производится приводом при подтянутой электромагнитной муфте путём подачи на обмотки электродвигателя соответствующего напряжения. При обесточивании и расцеплении электромагнитной муфты барабан вращается под действием веса стержня, который падает в активную зону до тех пор, пока сервопривод не затормозит вращение барабана путём механического сцепления с муфтой торможения. Положение стержней **АЗ** контролируется только указателями конечных положений.

3.4. Блок «Мираж МБ»

В реализации всех указанных выше функций системы СУЗ основную роль играет использование информационно-измерительных блоков «Мираж МБ». Блоки «Мираж МБ» являются базовыми блоками системы. Это компьютерная система из связанных микропроцессорных блоков обработки и периферийного оборудования, управляемая хранящимися внутри про-

граммами. МБ обеспечивает выполнение следующих операций:

- прием и обработку (в соответствии с заданными алгоритмами) сигналов от детекторов нейтронного потока, первичных и вторичных преобразователей технологических параметров и блоков детектирования радиационной обстановки,
- задание аварийных и предупредительных уставок для сигналов каналов контроля,
- формирование сигналов аварийной защиты, блокировок, сигнализации и регистрации,
- формирование сигналов автоматического управления физической мощностью,
- представление информации на встроенном дисплее,
- передачу измерительной и обработанной информации в рабочую станцию РСО.

МБ вырабатывает и выводит дискретные сигналы, используемые в качестве сигналов аварийной защиты, блокировок, сигнализации и управления, вырабатывает аналоговые сигналы, выводимые на внешние показывающие приборы для индикации основных контролируемых параметров.

Регистрирующие функции выполняет блок «Мираж МР» — модуль регистрации.

3.5. Выносной индикатор-задатчик мощности

Выносной индикатор-задатчик мощности (ВИЗМ), установленный на основном пульте, предназначен для предоставления оператору возможности установки задания на мощность реактора в долях от номинальной и индикации рассогласования измеренной и установленной мощностей.

Для установки задания на мощность используются четыре программных переключателя, каждый из которых позволяет задать одну цифру от 0 до 9. Три цифры задают мантиссу, одна - порядок. Для индикации отношения измеренной и установленной мощностей используется линейная шкала из 160 светодиодов.

4. РАБОТА СИСТЕМЫ СУЗ

4.1. Реализация информационных функций

Аппаратура СУЗ обеспечивает контроль, регистрацию и выдачу на показывающие приборы информации о параметрах в соответствии с таблицей 1, контроль положения органов регулирования, аварийную, преду-

предительную и уведомительную сигнализацию с фиксацией последовательности возникновения сигналов;

В основном комплекте СУЗ осуществляется представление следующей информации оператору о контролируемых параметрах.

Во-первых, указанная информация выводится на показывающие приборы, расположенные на пульте оператора, т.е. аналоговые выходные сигналы о параметрах по табл.1 с четырёх блоков «Мираж МБ» основного комплекта поступают на соответствующие показывающие приборы.

Во-вторых, в основном комплекте СУЗ предусмотрены регистрация контролируемых параметров на двух РСО основного комплекта и вывод информации на мониторы.

Кроме этого, сигнал относительной физической мощности с каждого из основных блоков поступает в соответствующий выносной индикатор-задатчик мощности, на котором имеется индикатор «ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ».

В резервном комплекте СУЗ (на резервном пульте управления) контроль физической мощности, уровня воды в бассейне реактора, температуры воды на входе в активную зону, мощности дозы гамма-излучения на площадке реактора, в помещении хранилища свежего топлива, в помещении насосной 1-го контура, в помещении РПУ, а также конечных положений органов АЗ, КО, АР ведется с помощью блоков «Мираж МБ»,— эта информация выводится на показывающие приборы и индикаторы, находящиеся на приборной стойке резервного пульта.

Информация о контролируемых параметрах с блоков «Мираж МБ» резервного пульта передается для отображения и регистрации в РСО резервного пульта.

На панель сигнализации пульта оператора выведены индикаторы о нахождении рабочих органов АЗ1 и АЗ2 на верхнем или нижнем концевых выключателях и индикатор «Готовность РО АЗ к взводу»— сигнал о возможности взвода рабочих органов АЗ.

На пульте оператора находятся также четыре цифровых указателя положения (УПЦ) органов АР, КО1, КО2, КО3. На их лицевых панелях находятся четырехразрядные семисегментные индикаторы, на которые выводятся цифровые значения промежуточных положений органов регулирования и компенсации, и одиночные индикаторы конечных положений, а также индикаторы направления перемещения органов. Сигнал на УПЦ поступает с сельсина, расположенного в приводе соответствующего органа. Кроме того, в каждом УПЦ есть светодиодный столбик, на который выводится информация о промежуточных положениях органа воздействия на реактивность.

На пульте оператора расположены блоки световой и звуковой сигнализации, на которые поступают аварийные, предупредительные и уведомительные сигналы. Аппаратура сигнализации имеет в своем составе:

- три блока световых сигнализаторов (БСС) для индикации аварийных сигналов (высвечиваются красным цветом),
- четыре блока световых сигнализаторов для индикации предупредительных сигналов (высвечиваются желтым цветом),
- четыре блока световых сигнализаторов для индикации уведомляющих сигналов (высвечиваются зеленым цветом),
- два блока звуковых извещений (БЗИ), вырабатывающих разнотональные сигналы (аварийный частотой примерно 800 Гц, предупредительный частотой примерно 500 Гц, и уведомительный частотой примерно 200 Гц) на блоки громкоговорителей.

Блоки световых сигнализаторов помимо индикации аварийных и/или предупредительных сигналов обеспечивают еще фиксацию последовательности их появления (с глубиной фиксации до 9), позволяющую зафиксировать предысторию срабатывания аварийной защиты.

На БСС **аварийной** сигнализации выводятся следующие сигналы:

- «АЗ» - срабатывание аварийной защиты,
- «АЗМ» - превышение аварийной уставки по мощности по двум из трех блоков «Мираж МБ»,
- «АЗС» - превышение аварийной уставки по скорости по двум из трех блоков «Мираж МБ»,
- «АЗТ» - превышение аварийной уставки по температуре воды по двум из трех каналов контроля,
- «АЗПД» - уменьшение ниже аварийной уставки перепада давления на активной зоне по двум из трех каналов контроля,
- «АЗПТ» - превышение аварийной уставки по разности температуры воды на выходе и входе активной зоны по двум из трех каналов контроля,
- «АЗД1» - превышение аварийной уставки по мощности дозы гамма-излучения на трубопроводе 1-го контура по двум из трех каналов контроля,
- «АЗАГ» - превышение аварийной уставки по активности газов в воздухе из-под крышки бассейна реактора по двум из трех каналов контроля,
- «АЗУБ» - уменьшение ниже аварийной уставки уровня воды в бассейне по двум из трех каналов контроля,

- «АЗАО» - уменьшение ниже аварийной уставки давления на напоре насоса аварийного охлаждения по двум из трех каналов контроля.
- «АПНАО» - отказ питания насоса аварийного охлаждения по любой из двух цепей контроля,
- «АПС» - отказ питания стойки – отказ двух включенных параллельно блоков питания аппаратуры стойки СП1 и/или СП2,
- «АРП» - отказ по резервированию питания – одновременное отсутствие электропитания на одном из фидеров и отказ блоков бесперебойного питания в обеих стойках,
- «АОП» - отказ по питанию СУЗ - сигнал об одновременном отсутствии электропитания на обоих фидерах;
- «КАЗПО» - сигнал о выдача команды аварийной защиты оператором от любой из двух кнопок «АЗ», находящихся на пульте оператора,
- «КАЗРП» - сигнал «АЗ», поступивший от кнопки «АЗ» с резервного пульта,
- «КАЗРЗ» - сигнал «АЗ», поступивший от кнопки «АЗ» реакторного зала.

Выходным электрическим сигналом блоков сигнализации является сигнал «Звук АС», подаваемый на два блока БЗИ, которые, в свою очередь генерируют на громкоговорители аварийные звуковые сигналы.

На блоки БСС **предупредительной** сигнализации поступают следующие сигналы:

- «ПЗ» - срабатывание блокировки,
- «ПМ» - превышение предупредительной уставки по мощности по двум из трех блоков «Мираж МБ»,
- «ПС» - превышение предупредительной уставки по скорости по двум из трех блоков «Мираж МБ»,
- «ПТ» - превышение предупредительной уставки по температуре воды по двум из трех каналов контроля,
- «ППД» - уменьшение ниже предупредительной уставки перепада давления на активной зоне по двум из трех каналов контроля,
- «ППТ» - превышение предупредительной уставки по разности температуры воды на выходе и входе активной зоны по двум из трех каналов контроля,
- «ПД1» - превышение предупредительной уставки по мощности дозы гамма-излучения на трубопроводе 1-го контура по двум из трех каналов контроля,

- «ПАГ» - превышение предупредительной уставки по активности газов в воздухе под крышкой бассейна реактора по двум из трех каналов контроля,
- «ПУБ» - уменьшение ниже предупредительной уставки уровня воды в бассейне по двум из трех каналов контроля,
- «ПАО» - уменьшение ниже предупредительной уставки давления на напоре насоса аварийного охлаждения по двум из трех каналов контроля,
- «БАМ» - аварийный сигнал хотя бы одного из блоков «Мираж МБ» (сигналы «Блокировка А»),
- «ОАР» - отказ автоматического регулятора,
- «УБД» (*Уставка больше допустимой*) - ошибочное задание оператором на каком-либо задатчике мощности уставки, превышающей допустимое значение,
- «РОМ» - режим ограничения мощности,
- «ОВБ» - сигнал об отсутствии надлежащего электрического подсоединения какого-либо из вставных блоков в стойках и пульте оператора, в том числе и цифровых указателей положения,
- «ОФ» - отсутствие электропитания по одному из фидеров,
- «ОИБП» - отсутствие электропитания на выходе одного из источников бесперебойного питания в приборных стойках СП1 и СП2,
- «ОПС» - сигнал об отказе любого из четырех блоков питания стоек СП1 и СП2,
- «ОРП» - обобщенный сигнал об отказе аппаратуры резервного пульта, в том числе и его электропитания,
- «ОСВ» - остановка двигателей спецвентиляции,
- «ПК» - уменьшение ниже предупредительной уставки давления или расхода 1-го контура,
- «НСМ» - неплановое снижение мощности (мощность меньше 0,95 заданной) по двум из трех каналов контроля.

Примечание: цель формирования сигнала «БАМ» – своевременно предупредить о нарушениях в цепях аварийной защиты какого-либо канала «Мираж МБ» и тем самым предотвратить накопление такого рода отказов в системе.

На блоки БСС **уведомительной** сигнализации поступают следующие сигналы:

- «БПМ» - предупредительный сигнал хотя бы одного из блоков основных (сигналы «Блокировка П»),
- «У2К» - уменьшение ниже предупредительной уставки давления или расхода 2-го контура,

- «ОВГ» - остановка вентилятора градирни,
- «ОДНВ» - остановка двигателя насоса или вентилятора,
- «О110» - нет питания 110 В от аккумуляторов,
- «ВУВБ» - верхний уровень воды в бассейне,
- «ВП1» - вода в прямке 1-го контура,
- «ВП2» - вода в прямке 2-го контура,
- «ВПЗЕ» - вода в прямке задерживающей емкости,
- «ВПТО» - вода в прямках теплообменников,
- «У1КЗ» - уменьшение расхода или уменьшение давления контура А (1) охлаждения защиты,
- «У2КЗ» - уменьшение расхода контура Б (2) охлаждения защиты,
- «УРФ» - уменьшение расхода через фильтры.

К информации указательного типа отнесены сигналы, выводимые на светодиодные индикаторы, расположенные как на пульте оператора, так и непосредственно на блоках. На блоке контроля питания в каждой стойке и на резервном пульте оператора имеются светодиодные индикаторы, сигнализирующие о наличии питания на каждом из двух фидеров.

О формировании аварийного или предупредительного сигнала блоками «Мираж МБ» сигнализируют индикаторы на их передних панелях.

4.2. Реализация функций защиты и блокировок

В состав каналов аварийной защиты входят следующие элементы:

- три модуля безопасности «Мираж МБ», каждый из которых работает с ионизационной камерой деления и содержит информационно-измерительный блок МБ и выносной индикатор-датчик мощности ВИЗМ (эти же блоки "Мираж МБ" также принимают и обрабатывают сигналы о технологических параметрах, т.е. выполняют и информационные функции),
- два блока логики, а также блоки реле и блоки логики из аппаратных блоков,
- сервоусилители,
- два привода стержней аварийной защиты **A31** и **A32**.

Блоки, образующие тракты аварийной защиты, обеспечивают и выполнение следующих функций:

- доведение начавшегося защитного действия до конца,
- индивидуальный сброс органов защиты **A31** и **A32** (например, при определении эффективности органов методом сброса).

Выполнение функции защиты обеспечивается путем обесточивания электромагнитных муфт сцепления в приводах органов защиты **A31** и **A32**

и последующего сброса этих органов под действием силы тяжести. Блоки, ответственные за срабатывание защиты, резервированы, так что отказ любого из них не влечёт за собой нарушения выполнения функции защиты.

Срабатывание аварийной защиты осуществляется по следующим сигналам (см. п. 4.1): *АЗМС* (т.е. *АЗМ+АЗС*), *АЗППТ* (т.е. *АЗТ+АЗПТ*), *АЗПД*, *АЗДП*(т.е. *АЗД1+АЗАГ*), *АЗУБ*, *АЗАО*, *АПНАО*, *АПС*, *АРП*, *АОП*, *КАЗПО*, *КАЗРП*, *КАЗРЗ*.

Включение ЭМС приводов органов **АЗ1** и **АЗ2** возможно лишь при выполнении следующих условий:

- отсутствии перечисленных выше аварийных сигналов,
- нахождении органов **АР** и **КО** в крайних нижних положениях,
- отсутствии сигналов блокировки взвода **АЗ**,
- включении ключа «**РО АР Автомат/Ручной**» в положение «**Ручной**»,
- нажатии кнопки «**Деблокировка АЗ**», расположенной на пульте оператора.

При этом будет сформирован сигнал «Готовность **РО АЗ** к взводу». Этот сигнал снимается после прихода обоих органов **АЗ1** и **АЗ2** в крайние верхние положения.

Сигналы блокировки взвода **АЗ** вырабатываются блоками логики при появлении следующих иницирующих сигналов:

- «*Блокировка А*» - сигнал на выходе любого блока «Мираж МБ» основного комплекта,
- «*Блокировка П*» - сигнал на выходах двух или более блоков «Мираж МБ» основного комплекта,
- «*ОВБ*» - сигнал об отсутствии надлежащего электрического подсоединения какого-либо из вставных блоков в стойках и пульте оператора,
- «*ОФ*» - отсутствие электропитания по одному из фидеров,
- «*ОДИБП*» - отсутствие электропитания на выходе обоих источников бесперебойного питания в приборных стойках,
- «*ОПС*» - сигнал об отказе любого из четырех блоков питания приборных стоек,
- «*ОРП*» - обобщенный сигнал об отказе аппаратуры резервного пульта, в том числе и его электропитания.

При поступлении сигнала *АЗ* блоки логики и блоки реле разрывают цепи питания муфт и со стороны общего провода («минуса») и со стороны «плюса» и происходит сброс органов **АЗ**.

При взводе органов **АЗ** после окончания взвода формируется сигнал, разрешающий извлечение рабочих органов **АР**, **КО1**, **КО2**, **КО3**. При сходе хотя бы одного из органов **АЗ** со своего крайнего верхнего положения формируется сигнал на опускание органов **АР**, **КО1**, **КО2**, **КО3**.

Если в процессе сброса органов **АЗ** аварийный сигнал пропал, то сброс органов аварийной защиты произойдет до конца, так как последующий взвод органов аварийной защиты возможен только после прихода всех **РО** на нижние концевые выключатели и нажатия кнопки «**Деблокировка АЗ**». Таким образом, начавшееся защитное действие осуществляется до конца.

В формировании блокировок извлечения органов **АР** и **КО** используются те же входные сигналы, что и для блокировки извлечения органов **АЗ**.

В системе предусмотрена блокировка одновременного извлечения более, чем одного из органов **АР, КО1, КО2, КО3**.

4.3. Управление реактором

Для осуществления управления реактором в СУЗ предусмотрено шесть приводов органов воздействия на реактивность, в том числе два привода органов **АЗ1** и **АЗ2**, один привод органа **АР** и три привода органов **КО1, КО2, КО3**.

Перемещение органов **АР** и **КО1, КО2, КО3** возможно как в режиме автоматического управления, так и в режиме ручного дистанционного управления.

Для обеспечения автоматического пуска и регулирования физической мощности реактора предназначен тракт регулирования, состоящий из работающего с токовой (борной) ионизационной камерой блока «Мираж МБ», выносного индикатора-задатчика мощности ВИЗМ, сервоусилителя и привода органов **АР** и **КО**.

В исходном, заглушенном состоянии реактора все шесть органов воздействия на реактивность полностью введены в активную зону и находятся в крайних нижних положениях, о чем свидетельствуют светодиодные индикаторы на пульте управления.

После включения аппаратуры, проведения соответствующих проверок и при условии отсутствия сигналов, требующих срабатывания аварийной защиты или блокирующих взвод защиты, оператором должна быть кратковременно (на 1–2 с) нажата и отпущена кнопка «**Деблокировка АЗ**». При этом замыкаются цепи питания обмоток электромагнитных муфт сцепления в приводах органов **АЗ1** и **АЗ2**, что приводит к «подтягиванию» муфт. После этого становится возможным извлечение органов **АЗ1, АЗ2**. О замыкании этих цепей свидетельствуют загоревшиеся светодиодные индикаторы на лицевых панелях четырех блоков логики, установленных в логических каналах трактов аварийной защиты, и загоревшийся на пульте оператора светодиодный индикатор «**Готовность РО АЗ к взводу**».

Взвод аварийной защиты осуществляется при нажатии кнопки «**Взвод РО АЗ**», на пульте оператора, при этом перемещение органа происходит только при нажатом состоянии кнопки «**Взвод РО АЗ**». Извлечение органов **АЗ1** и **АЗ2** осуществляется поочередно, что реализовано схемным образом. При уходе органа **АЗ1** со своего нижнего положения на пульте оператора гаснет красный индикатор «**НК АЗ1**», а при приходе органа в крайнее верхнее положение загорается зеленый индикатор «**ВК АЗ1**». При уходе органа **АЗ2** со своего нижнего положения гаснет красный индикатор «**НК АЗ2**», а при приходе органа в крайнее верхнее положение загорается зеленый индикатор «**ВК АЗ2**», одновременно гаснет индикатор «**Готовность РО АЗ к взводу**».

При приходе обоих органов **АЗ1** и **АЗ2** в крайние верхние положения формируется сигнал разрешения извлечения **РО АР** и **КО**.

На протяжении всего периода извлечения органов **АЗ1** и **АЗ2** действует как режим осуществления аварийной защиты, так и режим осуществления блокировок извлечения, подробно описанные в п. 4.2.

По окончании взвода **РО АЗ** становится возможным пуск и управление мощностью реактора.

Для выбора режима управления перемещением органов воздействия на реактивность (**АР**, **КО1**, **КО2**, **КО3**) на пульте оператора предусмотрены два переключателя – «**РО АР Автомат/Ручной**» и «**РО КО1 ... КО3 Автомат/Ручной**».

При нахождении переключателя «**РО АР Автомат/Ручной**» в положении «**Автомат**» пуск и управление мощностью реактора осуществляется автоматическим регулятором.

Регулятор осуществляет пуск или переход с одного стационарного уровня мощности на другой с заданным периодом 50 с.

Уставки на заданный уровень мощности лежат в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-3} А (по нейтронной составляющей тока ионизационной камеры).

Диапазон перемещения органа **АР** в режиме автоматического регулирования – от погружения в зону на 20% до погружения на 80%.

Диапазон работы блока “**Мираж МБ**”, работающего с токовой ионизационной камерой, ограничен пятью порядками изменения мощности, поскольку борная токовая ионизационная камера не работает при относительно малых потоках нейтронов из-за значительного гамма-фона, особенно в реакторе, уже поработавшем на мощности. Поэтому для расширения диапазона автоматического пуска до восьми — девяти десятичных порядков в сервоусилитель привода органа **АР** помимо сигнала управления, формируемого блоком “**Мираж МБ**”, стоящем в тракте автоматического регулирования, введены дополнительно сигналы управления, формируемые блоками “**Мираж МБ**”, стоящими в трактах контроля и аварийной за-

щиты. Эти блоки, подключенные к камерам деления, контролируют и малые нейтронные потоки.

Для предотвращения возможности ошибочного вывода реактора на мощность при отключенном охлаждении в системе предусмотрена корректировка уставки, поступающей с ВИЗМ, с учетом контролируемой величины перепада давления на активной зоне. Для этого помимо уставки, поступающей с ВИЗМ, каждый из блоков “Мираж МБ” вырабатывает уставки по мощности в тракте автоматического управления по сигналам “Перепад давления на активной зоне”.

В СУЗ предусмотрена возможность автоматической совместной работы органа **АР** с органами **КО1, КО2, КО3**. Для этого переключатель «**РО КО1 ... КО3 Автомат/Ручной**» должен быть поставлен в среднее положение.

Возможность одновременного перемещения органов **АР, КО1 ... КО3** в сторону увеличения реактивности заблокирована.

Алгоритм автоматической работы **РО КО1 ... КО3** следующий:

После достижения **РО АР** 20%-ного погружения в активную зону при отсутствии сигнала **ВК КО3** на перемещение вверх подключается **РО КО3**. При наличии сигнала **ВК КО3** в режим перемещения вверх подключаются поочередно **РО КО1** и **РО КО2** на фиксированной промежутки времени каждый. **РО КО1** и **РО КО2** включаются на перемещение вне очереди при наличии сигналов **ВК КО2** и **ВК КО1** соответственно.

Окончание движения **РО КО** – при возврате **РО АР** в середину рабочей характеристики (сигнал **АР60**).

После достижения **РО АР** 80%-ного погружения в активную зону при отсутствии хотя бы одного из сигналов **НК КО1, НК КО2** в режим перемещения вниз подключаются поочередно **РО КО1** и **РО КО2** на фиксированной промежутки времени каждый. **РО КО1** и **РО КО2** включаются на перемещение вне очереди при наличии сигналов **НК КО2** и **НК КО1** соответственно. При наличии обоих сигналов **НК КО1, НК КО2** на перемещение вниз подключается **РО КО3**.

Окончание движения **РО КО** – при возврате **РО АР** в середину рабочей характеристики (сигнал **АР40**).

Независимо от положения переключателя “**РО КО1 ... КО3 Автомат/Ручной**” возможно ручное, дистанционное управление перемещением органов **КО1 ... КО3**.

Для управления перемещением органов **КО1 ... КО3** на пульте оператора предусмотрено три ключа управления с нефиксируемыми положениями.

Если переключатель “**РО АР Автомат/Ручной**” находится в положении “**Ручной**”, то оператору предоставляется возможность ручного дистанционного управления перемещением органа **АР**.

Независимо от выбранного режима управления перемещением органов воздействия на реактивность в СУЗ действует как режим осуществления аварийной защиты, так и режим осуществления блокировок извлечения органов (увеличения реактивности) по недопустимому изменению контролируемых параметров или неисправностям в аппаратуре СУЗ.

Автоматический пуск реактора из заглушенного состояния обеспечивается автоматическим регулятором с использованием цепей автоматической компенсации. Пример временной диаграммы пуска приведён на рис.5.

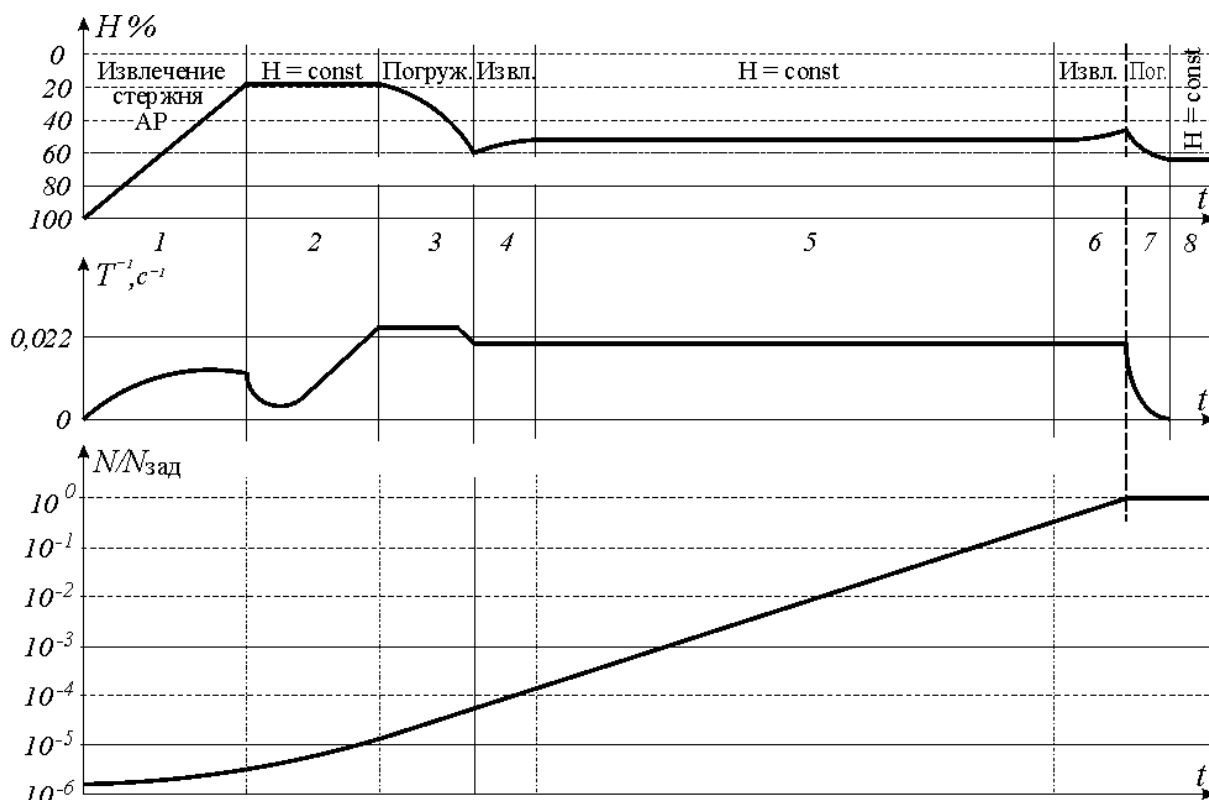


Рис.5. Временная диаграмма изменения глубины погружения H стержня АР, периода разгона T и относительной мощности при пуске реактора

Процесс пуска состоит из следующих участков:

1. Извлечение **РО АР** до верхней границы линейного участка его характеристики.
2. Извлечение **РО КО** при неподвижном **РО АР**, пока приведённая скорость увеличения мощности не достигнет заданного значения.

3. Увеличение мощности с заданной скоростью, в пределах зоны нечувствительности по скорости тракта регулирования, при продолжающемся извлечении **РО КО**, перемещение последнего на данном участке является возмущающим воздействием.

4. Увеличение мощности с заданной скоростью при неподвижных **КО**.

5. Увеличение мощности с заданной скоростью при неподвижных **АР** и **КО**.

6. Увеличение мощности с заданной скоростью в энергетическом диапазоне, постоянство скорости обеспечивается автоматическим перемещением **РО АР**, компенсирующим действие мощностного эффекта реактивности.

7. Стабилизация заданного уровня мощности.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении работы, изучении системы СУЗ, при посещении технологических помещений должны выполняться все требования “Инструкции по эксплуатации реактора ИРТ-Т” и “Инструкции по радиационной безопасности на ядерном реакторе ИРТ-Т”. Посещение всех технологических помещений производится только с преподавателем.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Изучение системы СУЗ проводится с использованием настоящих методических указаний, технической документации и непосредственно на реакторе. Общие требования к системе управления и защиты исследовательских реакторов [5] приведены в Приложении.

В отчете должны быть описаны функции, принципы работы системы, схемы и описания основных ее частей, основные количественные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учебн. пособие для вузов.– М.: Энергоатомиздат, 1986.– 280 с.
2. Емельянов И.Я. и др. Научно-технические основы управления ядерными реакторами: Учебн. пособие для вузов.–М.: Энергоиздат, 1981.–360 с.
3. Емельянов И.Я. и др. Управление и безопасность энергетических реакторов. – М.: Атомиздат, 1975.-280 с.

4. Инструкция по эксплуатации исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т. Томск, ФГНУ НИИ ЯФ, 2005.– 57 с.
5. Правила ядерной безопасности исследовательских реакторов (НП-009-04). – М., 2004 – 23 с.

Приложение

ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ (Выписка из Правил ядерной безопасности исследовательских реакторов НП-009-04)

1. Управляющие системы нормальной эксплуатации

1.1. В составе управляющих систем нормальной эксплуатации должна быть предусмотрена часть СУЗ, обеспечивающая контроль плотности потока нейтронов (мощности) и управление мощностью реактора. Указанная часть СУЗ должна включать:

1) РО АР и (или) РО РР, используемые для увеличения уровня мощности реактора до заданного, поддержания мощности на заданном уровне, а также для планового останова ИР;

2) РО КР, используемые для компенсации запаса реактивности реактора и планового останова реактора;

3) систему контроля положения и управления исполнительными механизмами РО РР, РО АР, РО КР;

4) систему контроля положения и управления исполнительными механизмами загрузочных и экспериментальных устройств (при необходимости);

5) не менее двух независимых между собой каналов контроля плотности потока нейтронов с показывающими приборами, при этом по меньшей мере в составе одного канала контроля плотности потока нейтронов должна быть предусмотрена возможность записи изменения плотности потока нейтронов реактора во времени;

6) не менее двух независимых между собой каналов контроля скорости (периода) увеличения плотности потока нейтронов реактора с показывающими приборами;

7) каналы контроля параметров технологических систем реактора, важных для безопасности.

1.2. Диапазон контроля плотности потока нейтронов управляющей системой нормальной эксплуатации должен перекрывать весь определенный проектом ИР диапазон изменения мощности реактора.

В случае разбиения диапазона контроля плотности потока нейтронов на несколько поддиапазонов должно быть предусмотрено перекрытие поддиапазонов не менее чем в пределах одной декады. Переключение поддиапазонов должно быть автоматическим.

1.3. Управление реактором и основными системами ИР должно производиться с пункта управления ИР, имеющего двухстороннюю громкоговорящую связь с реакторным помещением и при необходимости с другими помещениями ИР. Пункт управления ИР должен быть оборудован телефонной связью.

1.4. Если указанные в пункте 1.1 каналы контроля не обеспечивают контроль плотности потока нейтронов при загрузке ядерного топлива, то реактор должен быть оборудован дополнительной (пусковой) системой контроля. Эта система может быть съемной, устанавливаемой на период загрузки ядерного топлива, и должна включать в себя не менее двух каналов контроля плотности потока нейтронов реактора с показывающими приборами и записывающим устройством.

1.5. Эффективность РО РР, РО АР, РО КР должна быть достаточной для обеспечения не менее 1% подкритичности ($K_{эфф} \leq 0,99$) реактора после взвода РО АЗ.

1.6. РО РР, РО АР, РО КР должны иметь указатели промежуточного положения и указатели конечных положений.

1.7. Управляющие системы нормальной эксплуатации должны исключать:

1) ввод положительной реактивности путем перемещения РО РР, РО АР, РО КР или экспериментальных устройств, если РО АЗ не взведены;

2) ввод положительной реактивности со скоростью выше $0,07 \beta_{эфф} / с$;

3) ввод положительной реактивности средствами воздействия на реактивность в случае появления предупредительных сигналов по плотности потока нейтронов или скорости (периоду) увеличения плотности потока нейтронов или по каналам контроля параметров технологических систем, важных для безопасности ИР;

4) ввод положительной реактивности средствами воздействия на реактивность в случае отсутствия электроснабжения в цепях указателей промежуточного положения органа, используемого для увеличения реактивности, или в цепях аварийной или предупредительной сигнализации.

1.8. Управляющие системы нормальной эксплуатации должны обеспечивать:

1) шаговый ввод положительной реактивности (шаговое перемещение) с величиной шага не более $0,3 \beta_{эфф}$ для любых используемых в управляющих системах нормальной эксплуатации средств воздействия на реактивность эффективностью более $0,7 \beta_{эфф}$, включая РО КР, РО РР, РО АР;

2) введение РО КР, РО РР, РО АР и другими средствами воздействия на реактивность отрицательной реактивности с максимально возможной скоростью по сигналу АЗ;

3) возможность разрыва цепи питания двигателей исполнительных механизмов РО РР, РО АР, РО КР эффективностью более $0,7 \beta_{эфф}$ с пункта управления ИР, при этом разрыв цепи питания двигателей не должен влиять на возможность приведения реактора в подкритическое состояние по сигналу АЗ;

4) по сигналу АЗ автоматическое прекращение ввода положительной реактивности грузочными и экспериментальными устройствами, а в необходимых случаях — автоматическое уменьшение реактивности, обусловленной грузочными или экспериментальными устройствами;

5) проверку работоспособности всех видов световой и звуковой сигнализации.

1.9. Управляющая система нормальной эксплуатации должна формировать как минимум следующие сигналы на пункт управления:

1) предупредительные (световые и звуковые) - при приближении параметров реактора к уставкам срабатывания АЗ и нарушении условий нормальной эксплуатации;

2) указательные — информирующие о наличии напряжения в цепях электроснабжения СУЗ и о состоянии систем, важных для безопасности ИР.

1.10. В проекте ИР должен быть установлен и обоснован диапазон мощности реактора, в пределах которого регулирование осуществляется автоматическим регулятором, приведены характеристики системы автоматического регулирования мощности и оценка погрешности поддержания требуемого уровня мощности и должно быть доказано отсутствие автоколебаний мощности.

Возможность работы ИР без системы автоматического регулирования мощности должна быть обоснована в проекте ИР.

1.11. При включении нескольких каналов контроля плотности потока нейтронов на вход системы автоматического регулирования должно быть исключено изменение мощности реактора системой автоматического регулирования при отключении или отказе одного из каналов контроля плотности потока нейтронов.

2. Защитные системы безопасности

2.1. Аварийная защита и другие системы останова

2.1.1. В составе СУЗ должна быть предусмотрена АЗ ИР.

2.1.2. АЗ должна иметь не менее двух независимых РО АЗ (групп РО АЗ).

2.1.3. Эффективность РО АЗ без учета одного наиболее эффективного РО АЗ (группы РО АЗ) и их быстроедействие должны обеспечивать:

1) скорость снижения мощности реактора, достаточную для предотвращения повреждения тепловыделяющих элементов сверх эксплуатационных пределов;

2) приведение реактора в подкритическое состояние и поддержание его в этом состоянии в течение времени, достаточного для введения (срабатывания) других более медленных РО СУЗ.

2.1.4. РО АЗ должны иметь указатели конечных положений.

2.1.5. АЗ должна быть спроектирована таким образом, чтобы начавшееся защитное действие было выполнено полностью с учетом требований пункта 2.1.3 и обеспечивался контроль выполнения функции безопасности (останов по аварийному сигналу или по сигналу об отказе в канале защиты).

2.1.6. При появлении аварийного сигнала РО АЗ должны приводиться в действие из любых промежуточных положений и на любом участке своего движения должны обеспечивать ввод отрицательной реактивности, при этом отрицательная реактивность должна вводиться и другими РО СУЗ.

2.1.7. АЗ должна выполнять функцию безопасности независимо от состояния источников электроснабжения СУЗ.

2.1.8. Кроме аварийного останова ИР, РО АЗ при необходимости могут использоваться для планового останова ИР.

2.1.9. Кроме АЗ, в составе защитных систем безопасности в проекте ИР могут быть предусмотрены и другие системы останова, приводимые в действие автоматически или дистанционно.

2.1.10. Системы останова должны обеспечивать поддержание реактора в подкритическом состоянии с учетом возможного высвобождения реактивности, в том числе за счет температурного и мощностного эффектов реактивности.

2.2. Система аварийного расхолаживания активной зоны

2.2.1. Для реактора с принудительной системой охлаждения активной зоны проектом ИР должна быть предусмотрена система безопасности, обеспечивающая аварийное расхолаживание активной зоны в случае отказа принудительной системы охлаждения, который может явиться исходным событием проектной аварии.

2.2.2. В проекте ИР должны быть обоснованы перечень параметров и признаки состояния реактора, по которым автоматически вводится в действие система аварийного расхолаживания активной зоны, уставки и условия включения системы в работу для всех исходных событий проектных аварий.

2.2.3. Включение, выключение и работа системы аварийного расхолаживания активной зоны не должны выводить реактор из подкритического состояния.

2.2.4. Возможность управления процессом аварийного расхолаживания активной зоны должна быть обеспечена как из основного, так и из резервного пункта управления ИР.

2.2.5.

3. Управляющие системы безопасности

3.1. В проекте ИР должны быть предусмотрены управляющие системы безопасности, осуществляющие управление защитными системами безопасности, включая системы останова, в процессе выполнения ими заданных функций.

3.2. В составе управляющей системы безопасности должно быть не менее четырех независимых между собой каналов защиты, контролирующих плотность потока нейтронов, включая два канала защиты по плотно-

сти потока нейтронов и два канала защиты по скорости (периоду) увеличения плотности потока нейтронов.

3.3. При выборе чувствительности и расположения детекторов потока нейтронов управляющей системы безопасности необходимо обеспечить возможность срабатывания АЗ в процессе вывода реактора в критическое состояние и при любом значении мощности в диапазоне, определенном проектом ИР.

3.4. В случае разбиения диапазона контроля плотности потока нейтронов каналами защиты на несколько поддиапазонов должно быть предусмотрено перекрытие поддиапазонов не менее чем в пределах одной декады. Переключение поддиапазонов должно быть автоматическим и не препятствовать формированию сигнала АЗ.

3.5. В случае конструктивного, электрического или функционального совмещения (объединения) измерительных частей каналов защиты управляющей системы безопасности с измерительными частями каналов контроля управляющей системы нормальной эксплуатации в проекте ИР должно быть показано, что такое совмещение не влияет на способность АЗ выполнять функции безопасности.

3.6. Скорость ввода положительной реактивности при взводе РО АЗ не должна превышать $0,07 \beta_{эфф} / с$.

3.7. При взводе РО АЗ эффективностью более $0,07 \beta_{эфф}$ должен быть обеспечен шаговый ввод положительной реактивности (шаговое перемещение) с величиной шага не более $0,3 \beta_{эфф}$.

3.8. Управляющая система безопасности должна исключать взвод РО АЗ в случае, если:

- 1) РО АР, РО РР, РО КР не находятся на нижних концевиках;
- 2) имеются аварийные или предупредительные сигналы по параметрам технологических систем, важным для безопасности ИР.

3.9. АЗ как минимум должна срабатывать в следующих случаях:

- 1) достижения уставки АЗ по любому из каналов защиты по плотности потока нейтронов или скорости (периоду) увеличения плотности потока нейтронов;
- 2) отказа любого из каналов защиты по плотности потока нейтронов или скорости (периоду) увеличения плотности потока нейтронов;
- 3) достижения уставок АЗ по параметрам технологических систем, важных для безопасности;
- 4) появления сигналов от экспериментальных устройств, требующих останова ИР;
- 5) при иницировании персоналом срабатывания АЗ соответствующими кнопками;
- 6) отказа электроснабжения СУЗ, в том числе блоков питания детекторов потока нейтронов каналов контроля или защиты.

3.10. Если количество каналов АЗ по плотности потока нейтронов или по скорости увеличения плотности потока нейтронов более двух, то допускается срабатывание АЗ при условии одновременного наличия сигналов от любых двух каналов защиты по плотности потока нейтронов или двух каналов защиты по скорости (периоду) увеличения плотности потока нейтронов.

3.11. Управляющая система безопасности должна формировать на пункт управления ИР аварийные световые и звуковые сигналы, информирующие оператора о неработоспособном состоянии каналов защиты и о срабатывании АЗ.

3.12. Выбранные уставки и условия срабатывания АЗ должны предотвращать нарушения пределов безопасной эксплуатации, при этом аварийная уставка по скорости (периоду) увеличения плотности потока нейтронов должна быть не менее 10 с, предупредительная — не менее 20 с.

3.13. Должна быть предусмотрена диагностика каналов защиты с выводом информации об отказах на пункт управления ИР.

3.14. Защитная функция по каждому параметру технологических систем, по которому необходимо осуществлять АЗ или переходить на аварийное расхолаживание активной зоны, во всем диапазоне изменения параметров реактора должна реализовываться как минимум по двум независимым между собой каналам.

3.15. В проекте ИР должна быть предусмотрена возможность останова ИР, приведения в действие защитных систем безопасности и осуществления необходимого контроля параметров реактора из помещения резервного пункта управления в случае невозможности осуществления таких действий из помещения основного пункта управления ИР.