МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

Практикум

*Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2024

УДК 621.039.55(076.5)
ББК 31.46я7
С40

Авторы
А.Г. Наймушин, А.Е. Овсенёв, М.Н. Аникин, И.И. Лебедев,
Н.В. Смольников, П.Н. Худолеев

Системы и элементы исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т.
С40 **Практикум** : учебно-методическое пособие / А.Г. Наймушин, А.Е. Овсенёв, М.Н. Аникин и др. ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – 89 с.

В пособии содержится описание пяти работ, посвященных изучению конструкции активной зоны и бака ядерного реактора ИРТ-Т, технологических систем, приборов измерения технологических параметров, системы управления и защиты, а также методики градуировки стержней управления. Работы проводятся на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т.

Предназначено для студентов старших курсов, обучающихся по направлению 14.03.02 и 14.04.02 «Ядерные физика и технологии» (уровней бакалавриата и магистратуры соответственно), а также для студентов старших курсов смежных специальностей.

УДК 621.039.55(076.5)
ББК 31.46я7

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор НИУ МЭИ
Ю.С. Черепнин

Кандидат физико-математических наук
директор ООО «АпКварк»
К.В. Юшицин

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2024
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ..... 4

Работа 1
КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т 5

Работа 2
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т 18

Работа 3
ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т 30

Работа 4
КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т 41

Работа 5
ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ СУЗ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т 73

ПРЕДИСЛОВИЕ

Исследовательский реактор типовой томский (ИРТ-Т), введенный в эксплуатацию в 1967 г., создавался как учебно-исследовательский ядерный реактор. Являясь мощным источником нейтронного и гамма-излучения, он позволяет проводить научные исследования в таких направлениях, как нейтронно-активационный анализ, опытно-промышленное производство нейтронно-легированного кремния, производство радиофармацевтических препаратов. Главным достоинством реактора ИРТ-Т является гибкость, как в отношении компоновки активной зоны и отражателя, так и в отношении эксплуатационных режимов.

В данном лабораторной практикуме представлено 5 работ, охватывающих материал ряда учебных дисциплин, изучаемых на отделении ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий ТПУ. Работы посвящены изучению конструкции и правил эксплуатации исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т. Рассмотрены технологическое оборудование и система управления и защиты реактора, а также режимы работы и методы определения физической эффективности стержней управления. Цель практикума – формирование представлений о работе систем исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т, навыков управления ядерным реактором.

Обучение на работающем реакторе способствует повышению качества подготовки выпускаемых специалистов.

Работа 1
КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

1.1. Общее описание реактора ИРТ-Т

1.1.1. Тип и назначение реактора ИРТ-Т

Ядерный реактор ИРТ-Т – это реактор бассейнового типа, где в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней биологической защиты используется деминерализованная вода. Является единственным исследовательским ядерным реактором в Сибири и на Дальнем Востоке. На ИРТ-Т проводятся исследования в области ядерной физики, физики твердого тела, радиобиологии, нейтронно-активационного анализа, геолого-геохимических процессов, осуществляется производство нейтронно-легированного кремния и радиофармацевтических препаратов.

В 1977 году из-за прогрессирующей коррозии алюминиевой оболочки бака и коррозии алюминиевых теплообменников реактор был остановлен для реконструкции. В частности, был смонтирован новый бак – из стали 12Х18Н10Т.

В 2004–2005 гг. была проведена обширная модернизация, в процессе которой была установлена система управления и защиты (СУЗ) на базе модулей безопасности «Мираж-МБ» и модуля регистрации «Мираж-МР». Смонтированы современные контрольно-измерительные приборы (КИП).

Активная зона формируется из тепловыделяющихся сборок (ТВС) типа ИРТ-3М, имеет малые размеры и характеризуется большим коэффициентом размножения и малой длиной миграции нейтронов.

Использование в качестве отражателя бериллия, имеющего относительно большую длину миграции, позволяет обеспечить максимальную плотность потока тепловых нейтронов и высокий уровень нейтронного потока в экспериментальных каналах.

Основные технические характеристики реактора приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Основные характеристики ядерного реактора ИРТ-Т

Наименование характеристики	**Значение**
Мощность реактора, МВт	6
Число ТВС ИРТ-3М в активной зоне, шт.	20
8-трубных 6-трубных	11 9
Объем активной зоны, л	59,3
Масса урана-235 в загрузке со «свежими» ТВС, кг	5,47
Запас реактивности, % $\Delta k/k$	~ 11
Плотность потока тепловых нейтронов в центре активной зоны, $см^{-2} \cdot с^{-1}$	$2 \cdot 10^{14}$
Число рабочих органов системы управления и защиты (СУЗ), шт.	9
аварийной защиты (АЗ) компенсирующие органы (КО) автоматического регулирования (АР)	2 6 1

Окончание табл. 1.1

Наименование характеристики	Значение
Суммарная эффективность органов АЗ, КО и АР, % $\Delta k/k$	~14,5
Коэффициент неравномерности энерговыделения: по горизонтальному сечению активной зоны по высоте активной зоны	 1,78 1,26
Максимальная плотность энерговыделения, кВт/л	227
Максимальная плотность теплового потока, кВт/м^2	427
Перепад давления на активной зоне, кПа	35
Средняя скорость теплоносителя в зазорах ТВС, м/с	2,88
Расход теплоносителя через активную зону и отражатель, м^3/ч	700
Температура воды на входе в активную зону, °С	30–55
Максимальная расчетная температура поверхности твэла, °С	77
Температура начала поверхностного кипения, °С	123

1.1.2. Здание и оборудование реактора ИРТ-Т

На территории промышленной площадки реактора размещены:

- здание реактора с пристройкой;
- трехсекционная градирня;
- трансформаторная подстанция;
- три спецрезервуара для жидких радиоактивных отходов;
- артезианская скважина;
- здание подкачивающей насосной станции;
- здание мастерской;
- здание криогенной станции;
- склады для оборудования и материалов.

Здание реактора представляет собой комплекс технологических помещений и лабораторий.

В подвальных помещениях размещены насосы первого и второго контуров охлаждения реактора, теплообменники, фильтры водоочистки первого контура, фильтры воздухоочистки системы спецвентиляции, трубопроводы первого и второго контуров охлаждения, задерживающая емкость объемом 24 м^3.

На первом этаже – экспериментальный зал, лаборатории, система водоподготовки, щит низкого напряжения (ЩНН), насосы и фильтры системы спецвентиляции, насосы приточной системы вентиляции.

На втором этаже – щит силового управления (ЩСУ), лаборатории.

На третьем этаже – пультовая реактора, помещение дозиметрического контроля, лаборатории, площадка СУЗ реактора.

На четвертом этаже расположены система общеобменной вентиляции здания, хранилище свежего топлива.

1.2. Активная зона и отражатель реактора ИРТ-Т

1.2.1. Конструкция активной зоны реактора ИРТ-Т

Активная зона реактора размещается в заполненном деминерализованной водой бассейне (рис. 1.1).

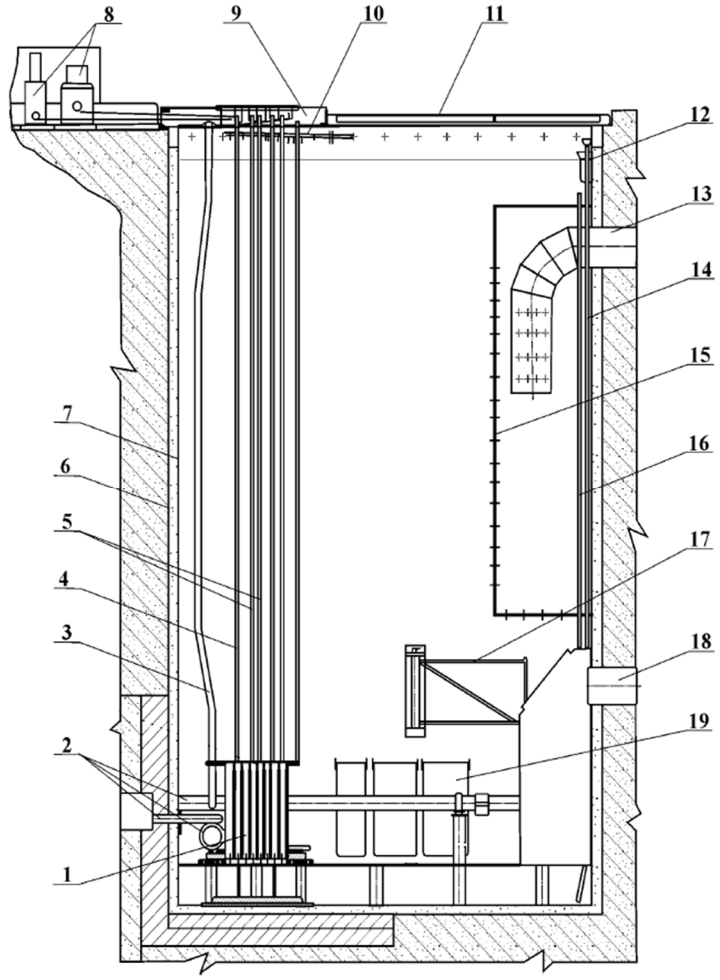

Рис. 1.1. Продольный разрез реактора ИРТ-Т:
1 – активная зона; 2 – горизонтальные экспериментальные каналы; 3 – вертикальные экспериментальные каналы; 4 – канал со стержнем СУЗ; 5 – центральные экспериментальные каналы; 6 – бак алюминиевый; 7 – бак из нержавеющей стали; 8 – приводы стержней СУЗ; 9 – площадка СУЗ; 10 – душирующее устройство; 11 – настил прозрачный; 12 – переливная воронка; 13 – напорный трубопровод; 14 – труба опорожнения;15 – распределительная емкость; 16 – труба для срыва сифона; 17 – устройство транспортировки ТВС; 18 – всасывающий трубопровод; 19 – временное хранилище ТВС

Активная зона расположена на глубине 6,5 м. Корпус активной зоны выполнен из сплава алюминия АД-1. Опорная решетка корпуса изготовлена из сплава САВ-1 в виде прямоугольной плиты размерами 940×721×85 мм. Верхний корпус активной зоны вместе с опорной дистанционирующей решеткой крепятся на фланце из нержавеющей стали толщиной 29 мм. Фланец приварен к листам встроенной задерживающей емкости и опирается дополнительно на 6 стоек, выполненных из труб диаметром 108×5 мм. Стойки снизу приварены к опорной плите из нержавеющей стали. К опорной плите сверху приварена нижняя решетка для каналов СУЗ толщиной 30 мм.

Между опорной дистанционирующей решеткой активной зоны и фланцем из нержавеющей стали установлена титановая прокладка. Опорная плита и нижняя решетка активной зоны защищают бетон под дном бака от радиационного разогрева. В местах контактов деталей из алюминиевых сплавов и нержавеющей стали установлены прокладки из титана для исключения коррозии алюминия.

В корпус активной зоны на опорную дистанционирующую решетку устанавливают ТВС, бериллиевые блоки отражателя, блоки-ловушки нейтронов, вытеснители. Теплоноситель проходит через активную зону сверху вниз, что исключает возможность перемещения элементов активной зоны и отражателя. В корпусе активной зоны имеется 56 ячеек для установки ТВС и бериллиевых блоков (рис. 1.2). Четыре центральные ячейки заняты бериллиевыми блоками, образуя ловушку нейтронов, которая предназначена для увеличения потока тепловых нейтронов в центре активной зоны за счет фотонейтронов, а также для выравнивания потока тепловых нейтронов для равномерного выгорания топлива.

Допустимый флюенс быстрых нейтронов (с $E > 0{,}821$ МэВ на поверхности опорной решетки) с точки зрения возможности хрупкого разрушения составляет $1{,}6 \cdot 10^{22}$ (н/см^2)/МВт. Максимальная плотность тока быстрых нейтронов на опорной решетке – $0{,}87 \cdot 10^{12}$ (н/см^2)/МВт. Таким образом, максимальная величина флюенса быстрых нейтронов на опорную решетку будет достигнута приблизительно через 50 лет.

В активной зоне используются ТВС типа ИРТ-3М – восьмитрубные (рис. 1.3) и шеститрубные (рис. 1.4). Основные характеристики приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Характеристики ТВС типа ИРТ-3М

Характеристика	**8-трубная**	**6-трубная**
Тип твэла	Трехслойный, дисперсионный	
Топливо	UO_2	
Средняя глубина выгорания в выгружаемой ТВС, %	Не менее 40	
Обогащение топлива (урана), %	90	
Высота активной зоны, см	60	
Содержание урана-235 в ТВС, г	300	265
Масса, кг	4,3	3,7

В данных ТВС используются коаксиальные трубчатые твэлы квадратного сечения с толщиной стенки 1,4 мм. Толщина оболочек из алюминиевого сплава САВ-1 – по 0,5 мм каждая. Сердечник твэла состоит из диоксида урана в алюминиевой матрице. Внутри восьмитрубной ТВС устанавливается вытеснитель с наружным диаметром 14 мм. Внутри шеститрубной ТВС устанавливается или канал со стержнем СУЗ, или экспериментальный канал с наружным диаметром 28 мм. В бериллиевых блоках ловушки нейтронов размещаются вертикальные экспериментальные каналы из алюминия марки АД-1.

В восемь ТВС в активной зоне и в один бериллиевый блок в отражателе входят вертикальные каналы из алюминия, в которых размещаются стрежни системы управления и защиты.

Характеристики топлива в твэлах ТВС, стержней СУЗ и других устройств в активной зоне, которые влияют на реактивность, исключают незапланированное изменение их состояния, приводящее к увеличению реактивности или повреждению твэлов.

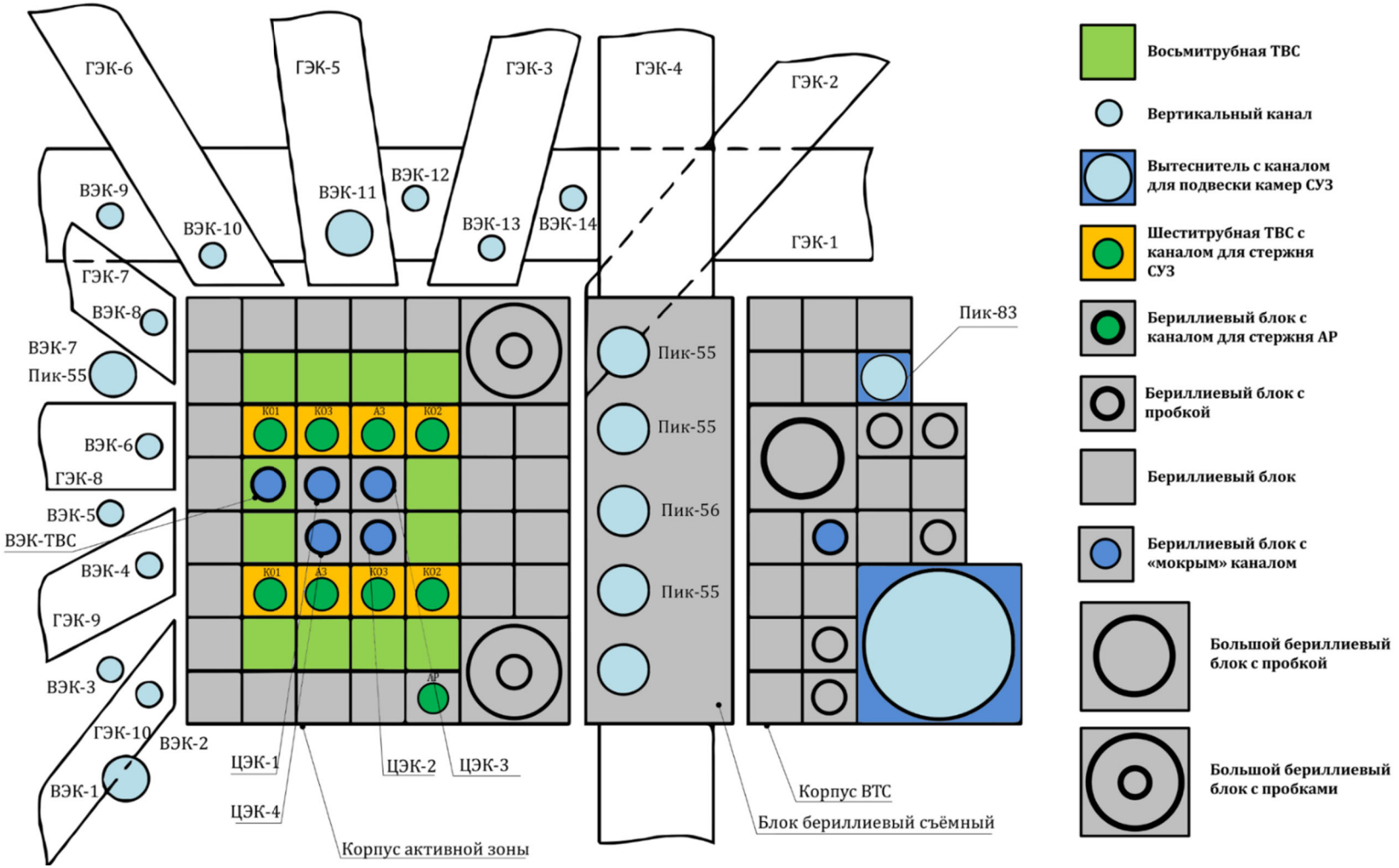

Рис. 1.2. Картограмма активной зоны и экспериментальных устройств реактора ИРТ-Т

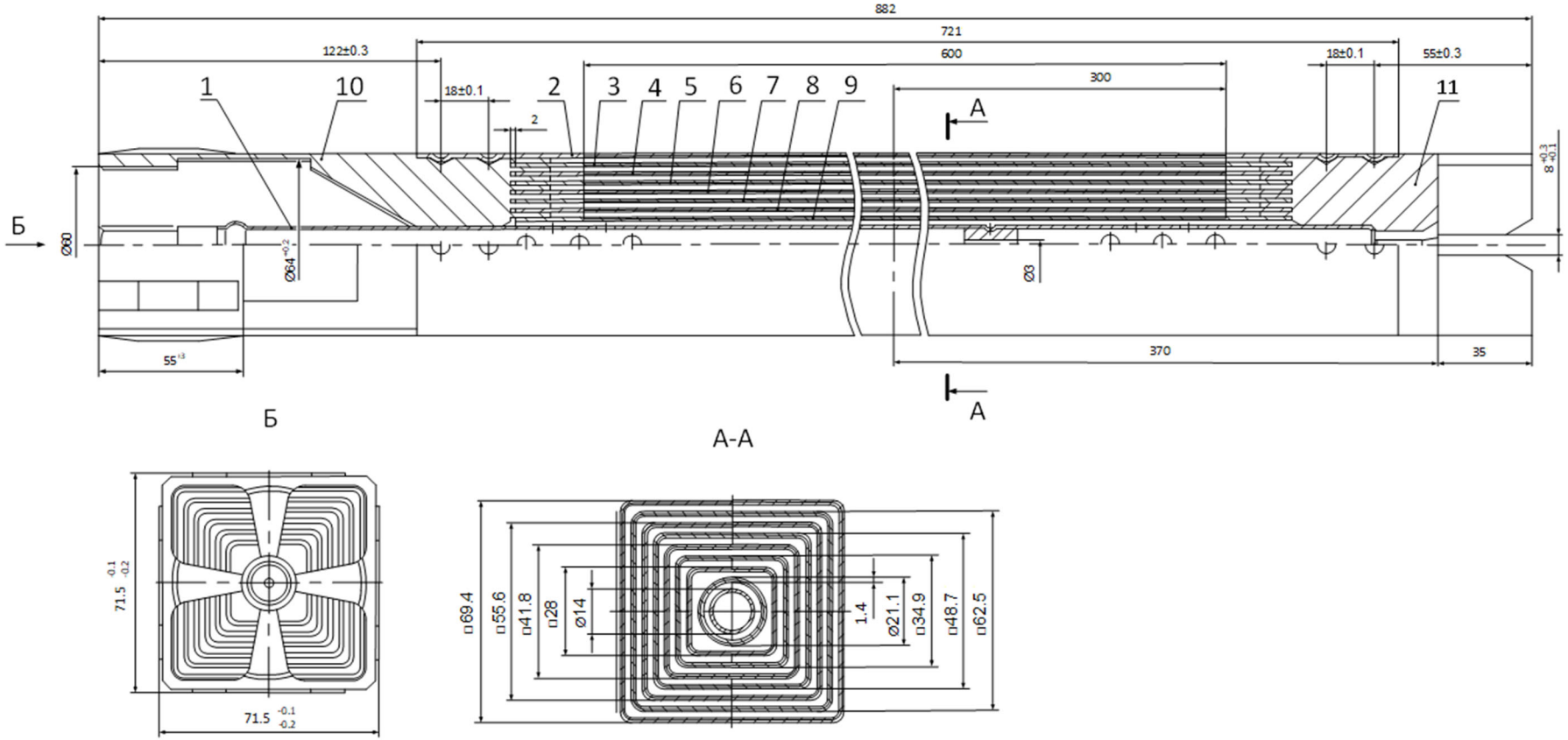

Рис. 1.3. Восьмитрубная ТВС типа ИРТ-3М: 1 – оболочка; 2–9 – твэлы; 10 – вытеснитель; 11 – хвостовик

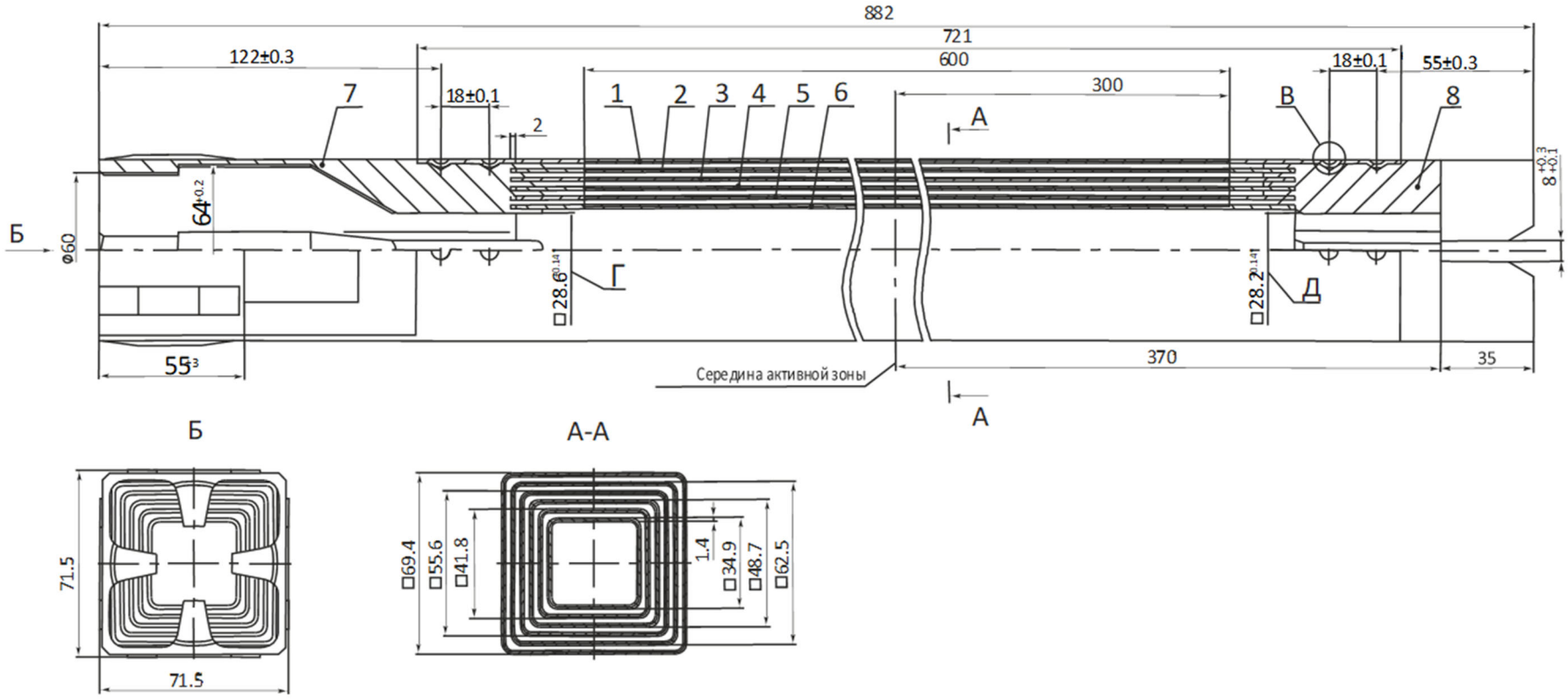

Рис. 1.4. Шеститрубная ТВС типа ИРТ-3М: 1–6 – твэлы; 7 – вытеснитель; 8 – хвостовик

Боковой бериллиевый отражатель расположен внутри корпуса активной зоны и имеет 30 бериллиевых блоков, из них 28 блоков квадратным сечением 69×69 мм и 2 блока – 138×138 мм. Для проведения экспериментов могут меняться как сплошные блоки, так и блоки с центральным отверстием, в которое устанавливается бериллиевая пробка или экспериментальный канал.

1.2.2. Нейтронно-физические характеристики реактора ИРТ-Т

Нейтронно-физические характеристики реактора определяются использованием ТВС типа ИРТ-3М, бериллиевыми блоками отражателя, а также набором материалов и конструкцией с малой длиной миграции нейтронов.

В активной зоне, в отражателе, в рабочих органах СУЗ, а также в других узлах реактора применяются материалы с достаточно хорошо изученными свойствами: сплавы алюминия, нержавеющая сталь, металлокерамика, металлический бериллий.

Загрузка активной зоны составляет определенное количество ТВС, чтобы запас реактивности не превышал определенной величины и в то же время обеспечивалась достаточная длительность кампании с учетом отравления ксеноном. Замена ТВС при перегрузках производится при достижении выгорания U^{235} в ТВС 50 %.

Минимальная критическая масса составляет 3,01 кг. Рабочая загрузка реактора – 20 ТВС, причем четыре ячейки в центре активной зоны занимают бериллиевые блоки с вертикальными экспериментальными каналами. Пример обычной рабочей загрузки приведен на рис. 1.5.

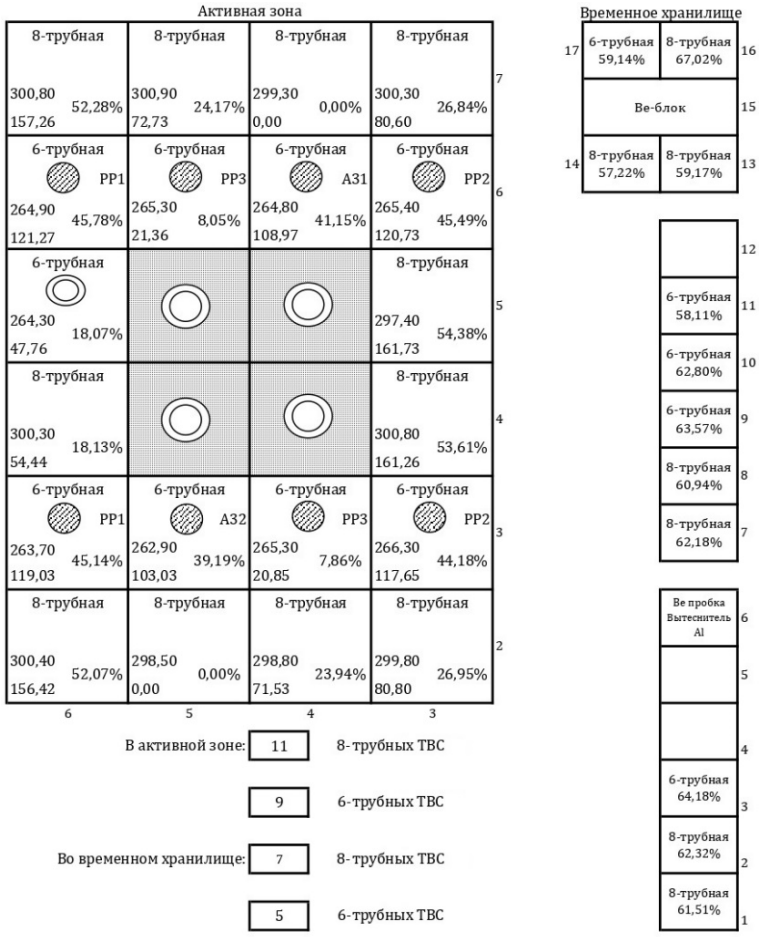

Рис. 1.5. Рабочая загрузка реактора ИРТ-Т

Активная зона реактора характеризуется достаточно высокой размножающей способностью нейтронов $\left(k_{\text{эфф}} \approx 1,07\right)$, что позволяет получать высокие нейтронно-физические характеристики в экспериментальных объемах. Некоторые нейтронно-физические характеристики активной зоны представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Физические параметры активной зоны для «свежей» загрузки при температуре 20 °С

Параметр	**Ячейка с 8-трубной ТВС**	**Ячейка с 6-трубной ТВС**
Содержание U^{235} в сборке, г	300	265
Удельная загрузка U^{235}, г/л	101,2	89,0
Объем ячейки, занятой водой, %	62,5	54,8*
Отношение ядерных концентраций водорода и U^{235}	161	160*
Коэффициент размножения бесконечной решетки k_∞	1,76	1,74
Макроскопическое сечение поглощения Σ_a, $см^{-1}$ для быстрых нейтронов для тепловых нейтронов	 0,004035 0,12059	 0,003643 0,10589
Произведение $\nu\Sigma_f$, $см^{-1}$ для быстрых нейтронов для тепловых нейтронов	 0,005184 0,22099	 0,004606 0,19178
Макроскопическое сечение перехода Σ^{1-2}, $см^{-1}$	0,02623	0,02332
Коэффициент диффузии D, см для быстрых нейтронов для тепловых нейтронов	 1,461 0,21241	 1,502 0,24457
Квадрат длины диффузии L, $см^2$	1,76	2,31
Возраст нейтронов τ, $см^2$	48,3	55,7

* – в центр ТВС установлен канал с вытеснителем.

Баланс реактивности рабочей загрузки из 20 ТВС при периодической замене в активной зоне одной наиболее выгоревшей ТВС на «свежую» (режим частичных перегрузок), % $\Delta k/k$:

- максимальный запас реактивности – 11;
- равновесное отравление изотопами Xe^{135} и Sm^{149} – 3,1;
- температурный коэффициент реактивности – 0,00785;
- выгорание – 1,0;
- оперативный запас – 1,0.

Запас реактивности на выгорание, равный 7 % $\Delta k/k$, позволяет производить перегрузки примерно через 50 суток при непрерывной работе реактора на мощности 6 МВт.

Потери реактивности из-за равновесного отравления ксеноном-135 и самарием-149 не превышают 3,1 % $\Delta k/k$. Время достижения максимального отравления в пике «йодной ямы» составляет ~ 8 часов.

Температурный коэффициент реактивности отрицательный и его величина в интервале рабочих температур от 20 до 50 °С равна $-0,81\cdot10^{-4}$ $град^{-1}$. Мощностный

коэффициент реактивности замерить экспериментально не удается из-за его малой величины. По теоретическим оценкам, он отрицательный.

Компенсация реактивности осуществляется системой стержней (рабочих органов СУЗ), размещаемых в шеститрубных ТВС. При рабочей загрузке из 20 ТВС эффективность стержней АЗ1 и АЗ2 составляет 1,8 и 1,7 % $\Delta k/k$, стержня КО1 ~ 2,63, КО2 ~ 3,54, КО3 ~ 4,34, АР ~ 0,33, суммарная эффективность всех стержней КО и АР ~ 10,84 %.

Подъем стержней РО КО1–КО3 из активной зоны возможен только «шагом». Величина вводимой реактивности за шаг не превышает 0,3 $\beta_{эф}$. Скорость перемещения стержней при извлечении из активной зоны реактора ИРТ-Т составляет:

- РО АЗ1 – 12,4 мм/с;
- РО АЗ2 – 12,2 мм/с;
- РО КО1 – 1,14 мм/с;
- РО КО2 – 1,14 мм/с;
- РО КО3 – 2,9 мм/с;
- РО АР в ручном управлении – 7 мм/с;
- РО АР в автоматическом управлении – 40 мм/с.

Время падения стержней РО АЗ в активную зону реактора ИРТ-Т – не более 0,8 с. При срабатывании аварийной защиты стержни РО КО и РО АР также погружаются в активную зону реактора ИРТ-Т с увеличенной скоростью за время не более 60 с.

Каждый стержень размещается в алюминиевом канале (трубе). Каналы для стержней РО АЗ и РО КО устанавливаются в шеститрубных ТВС. Нижние концы этих труб центрируются в специальной решетке. Канал для стержня РО АР (стержень без вытеснителя) устанавливается в сменном бериллиевом блоке отражателя. Трубы всех стержней СУЗ «мокрые».

Верхние концы всех каналов со стержнями СУЗ крепятся в специальных гнездах для кронштейнов площадки системы управления и защиты, расположенной над баком реактора ИРТ-Т под защитной плитой. Стержни с помощью тросов связаны с барабанами приводов, которые размещены по периферии биологической защиты на специальной площадке под защитным колпаком.

При снижении запаса реактивности до значения ниже 1 % $\Delta k/k$ принимается решение об изменении компоновки активной зоны путем извлечения ТВС, в которых выгорание топлива достигло больше 50 %. Далее производится перестановка ТВС в активной зоне – от периферии к центру. Затем производится установка «свежих» ТВС. После перегрузки новой ТВС из активной зоны производится выход реактора на мощность 12 кВт и по положению стержней определятся, на какое значение произошел прирост запаса реактивности.

Основное технологическое оборудование реактора – трубопроводы, насосы первого контура, теплообменники, задерживающая емкость, фильтры очистки воды первого контура, фильтры воздухоочистки системы спецвентиляции размещены в подвальных помещениях, имеющих перекрытия из тяжелого бетона толщиной до 600 мм.

Шахта-хранилище отработавших ТВС заглублена до отметки –1,72 м и имеет боковую защиту из тяжелого бетона. Сверху над ТВС находится слой воды толщиной 5500 мм, надежно защищающий персонал от гамма-излучения.

Между зеркалом воды и настилом бассейна находится герметизированное подпастильное пространство. Работа системы спецвентиляции обеспечивает разряжение воздуха, относительно, помещения физического зала, контролируемое на пульте управления. Таким образом предотвращается выход радиоактивного воздуха из подпастильного пространства.

1.3. Биологическая защита реактора ИРТ-Т

Биологическая защита предназначена для создания на рабочих местах и в помещениях реактора радиационной обстановки, соответствующей нормам радиационной безопасности.

Система биологической защиты реактора включает слой воды в баке реактора, бетонный массив защиты бака реактора, шиберы горизонтальных экспериментальных каналов, защитные боксы технологического оборудования реактора.

Над активной зоной находится слой воды высотой 6,5 м, который обеспечивает защиту персонала на верхней площадке от ионизирующего излучения. Снизу защитой от ионизирующего излучения служит слой воды толщиной 0,5 м и стальные плиты общей толщиной 60 мм.

Система радиальной защиты реактора на уровне активной зоны включает слой воды толщиной около 60 мм (со стороны ВТС – бериллиевая сборка толщиной около 590 мм), слой тяжелого бетона плотностью 6,5 и 5,2 т/м^3 – 1800 мм. Выше уровня активной зоны бетонный массив выполнен из обычного бетона плотностью 2,3 т/м^3.

Внизу в радиальной части имеется 10 отверстий для размещения горизонтальных экспериментальных каналов. Со стороны физического зала эти каналы перекрываются пятью защитными шиберами, обеспечивающими биологическую защиту от нейтронного и гамма-излучения. Каждый шибер смонтирован в ступенчатом цилиндрическом корпусе, залитом в железобетонном массиве. Внутри корпуса на общей оси установлены барабаны (секции шибера), собранные из стальных дисков, промежутки между которыми заполнены парафином с карбидом бора. В каждом барабане по всей длине располагается цилиндрическое отверстие, таким образом, чтобы в закрытом положении шибера отверстия всех барабанов были смещены относительно друг друга на 60°. При таком положении поток ионизированного излучения из канала не выходит. А в открытом состоянии шибера отверстия всех барабанов располагаются на одной прямой, образуя прямой канал и открывая выход пучку излучения из активной зоны.

1.4. Экспериментальные устройства реактора ИРТ-Т

Экспериментальные устройства реактора ИРТ-Т обеспечивают проведение широкого круга исследований. Реактор имеет 10 горизонтальных экспериментальных каналов (ГЭК) (рис. 1.6) для вывода пучков нейтронов: 8 радиальных (к центру активной зоны) каналов диаметром 100 мм из нержавеющей стали и два касательных диаметром 150 мм. Касательный канал ГЭК-1 имеет один выход. Он изготовлен из сплава алюминия САВ-1. Касательный канал ГЭК-4, изготовленный из нержавеющей стали, проходит через весь бак и имеет два выхода – в физический зал и радиационный павильон.

Торцы радиальных ГЭК примыкают к корпусу активной зоны с зазорами 3 мм. Максимальное значение плотности потока быстрых нейтронов ($E > 0{,}821$ МэВ) на торце ГЭК равно $1{,}8 \cdot 10^{12}$ (н/см^2)/МВт.

Со стороны физического зала ГЭКи перекрываются шиберами, обеспечивающими биологическую защиту от нейтронного и гамма-излучения. Управление шиберами производится с пультов, установленных в соответствующих секторах физического зала.

Горизонтальные каналы № 3, 5 оборудованы пневмотранспортными устройствами, позволяющими облучать образцы в пеналах. Пеналы подаются на позицию

облучения (в ГЭКи) из экспериментальных установок, находящихся в смежных с физическим залом лабораториях.

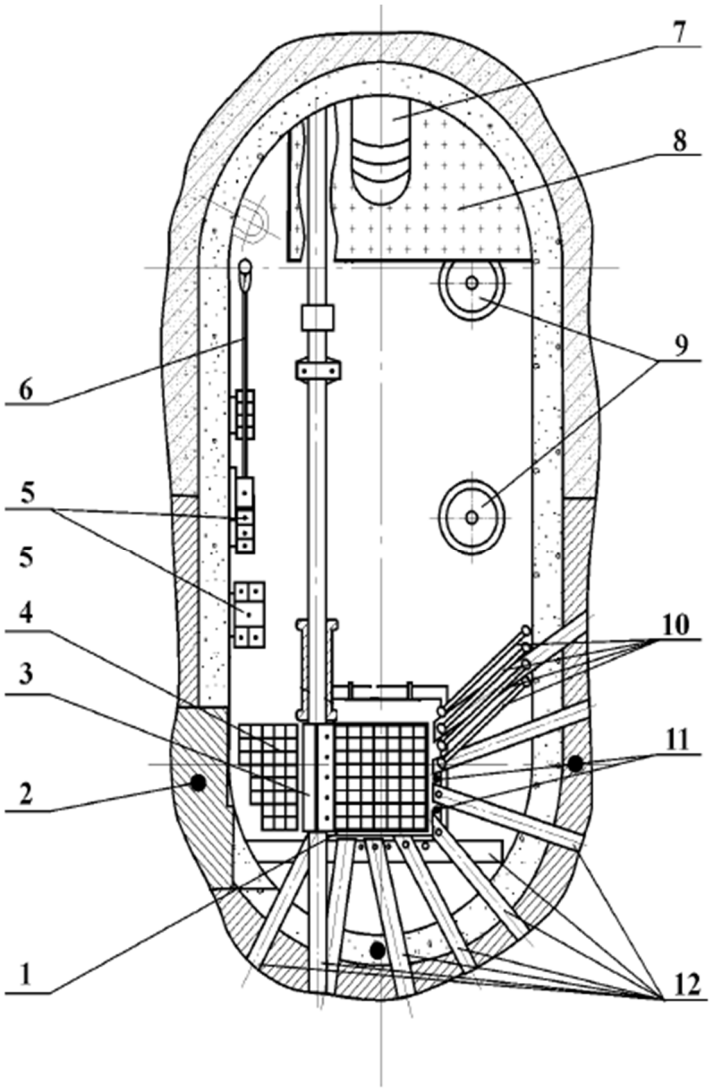

Рис. 1.6. Поперечный разрез реактора:
1 – корпус активной зоны; 2 – каналы для измерения температуры бетона; 3 – большой бериллиевый блок; 4 – внутренняя тепловая сборка; 5 – временное хранилище ТВС; 6 – устройство для транспортировки ТВС; 7 – трубопровод напорный; 8 – распределительная емкость; 9 – клапаны естественной циркуляции; 10 – вертикальные экспериментальные каналы с пневмотранспортным устройством; 11 – вертикальные экспериментальные каналы; 12 – горизонтальные экспериментальные каналы

В ГЭК-4 производится легирование кремния. Созданный для облучения кремниевых слитков автоматизированный комплекс обеспечивает равномерное облучение нейтронами образцов большого объема.

Для облучения изделий в пределах активной зоны имеется четыре алюминиевых канала с наружным диаметром 44 мм, установленных в центральные бериллиевые блоки (ловушка нейтронов). Из них два канала сухие и изогнутые для исключения прямого простела излучения и один канал прямой и заполнен водой. Материал труб каналов – алюминий марки АД-1. Также для облучения различных образцов в ТВС под номером 5–6 расположен вертикальный экспериментальный канал.

Для облучения за пределами корпуса активной зоны, в водном отражателе, имеется 10 вертикальных каналов из сплава алюминия марки АД-1 с наружным диаметром 55 и 70,55 мм.

Общее количество ВЭК, которые могут быть установлены вне корпуса активной зоны, равно 14. Сухие ВЭК выполняются изогнутыми, что исключает прострел нейтронов и гамма-излучения и позволяет обходиться без защитных пробок на каналах и производить загрузку и разгрузку образцов в каналах при работе реактора на мощности.

Внутренняя тепловая сборка (ВТС) собрана из бериллиевых блоков и предназначена для формирования поля нейтронов с кадмиевым отношением 19 по золоту. Блоки ВТС установлены в 33 ячейках алюминиевого корпуса. Шаг ячеек – 71,5×71,5 мм. Тридцать один бериллиевый блок имеет размеры 67×67×660 мм, два блока – 138,5×138,5×660 мм. По конструкции данные блоки аналогичны бериллиевым блокам, установленным в отражатель активной зоны.

Вдоль грани активной зоны со стороны ГЭК-4 установлен большой бериллиевый блок (рис. 1.6) размером 190×550×648 мм. Блок охватывает экспериментальные каналы ГЭК-4 и ГЭК-2. Назначение блока – формирование поля тепловых нейтронов по сечению ГЭК-4 и в ВТС.

Список литературы

1. Отчет по обоснованию безопасности исследовательского реактор ИРТ-Т. – Томск : НИИ ЯФ при ТПУ, 1999. – 273 с.

2. Бать Г.А. Исследовательские ядерные реакторы : учебное пособие для вузов / Г.А. Бать, А.С. Коченов, Л.П. Кабанов. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 278 с.

3. Лабораторный практикум на реакторе ИРТ-Т. Часть I / В.А. Варлачев, Т.В. Бузоверова, О.Ф. Гусаров и др.. – Томск : Изд-во ТПУ, 2003. – 96 с.

4. Инструкция по эксплуатации исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2018. – 66 с.

5. Инструкция по эксплуатации технологических систем исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2018. – 18 с.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные характеристики ядерного реактора ИРТ-Т.
2. Какие материалы используются в топливе, замедлителе, теплоносителе, органах СУЗ?
3. Что такое ловушка нейтронов?
4. Опишите конструкцию и материалы ТВС, а также дайте характеристику этим материалам.
5. Пользуясь рис. 1.5, опишите процесс рабочей загрузки реактора ИРТ-Т.
6. Перечислите нейтронно-физические характеристики реактора ИРТ-Т.
7. Опишите оборудование, входящее в систему биологической защиты реактора ИРТ-Т.
8. Опишите экспериментальные устройства реактора.

Работа 2
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

2.1. Технологические системы охлаждения реактора ИРТ-Т

Технологические системы охлаждения реактора (рис. 2.1) обеспечивают отвод тепла, выделяемого в твэлах и других элементах реактора при штатных режимах работы на мощности, во время остановок, а также при нештатных (аварийных) ситуациях.

Технологические системы реактора ИРТ-Т включают в себя:

- первый контур охлаждения;
- второй контур охлаждения;
- контур охлаждения биологической защиты;
- систему сбора и возврата протечек;
- систему очистки теплоносителя первого контура;
- систему водоподготовки.

2.1.1. Первый контур охлаждения реактора ИРТ-Т

Первый контур охлаждения – главный циркуляционный контур реактора – включает в себя следующие основные элементы:

- бак реактора с активной зоной и внутренней задерживающей емкостью;
- всасывающий трубопровод;
- внешнюю задерживающую емкость;
- четыре главных циркуляционных насоса;
- насос аварийного охлаждения;
- пять теплообменников;
- коллекторы, подводящие и отводящие трубопроводы теплообменников и насосов;
- арматуру, расположенную на этих трубопроводах;
- напорный трубопровод;
- распределительный короб;
- клапаны естественной циркуляции;
- дренажные трубопроводы с запорной арматурой.

Бак реактора – это емкость из полированной нержавеющей стали марки 12Х18Н1ОТ, окруженная бетонной биологической защитой. Длина бака – 4,3 м, ширина – 1,8 м, глубина – 7,725 м, объем – 56 м^3. Толщина стенок бака – 5 мм, дна бака – 10 мм. Уровень теплоносителя в баке при работе насосов первого контура находится на отметке ~ 7,3 м. В баке реактора на глубине 6,5 м расположена активная зона, в которой установлено 20 тепловыделяющих сборок (ТВС) и 30 бериллиевых блоков-отражателей, рабочие органы регулирования мощности и защиты и экспериментальные каналы. Из активной зоны теплоноситель попадает во внутреннюю задерживающую емкость, которая образована горизонтальной перегородкой из нержавеющей стали толщиной 14 мм. Данная перегородка опирается на 15 стоек из труб диаметром 108 мм. Объемом внутренней задерживающей емкости – 4,2 м^3, она обеспечивает снижение активности воды по изотопу N^{16}.

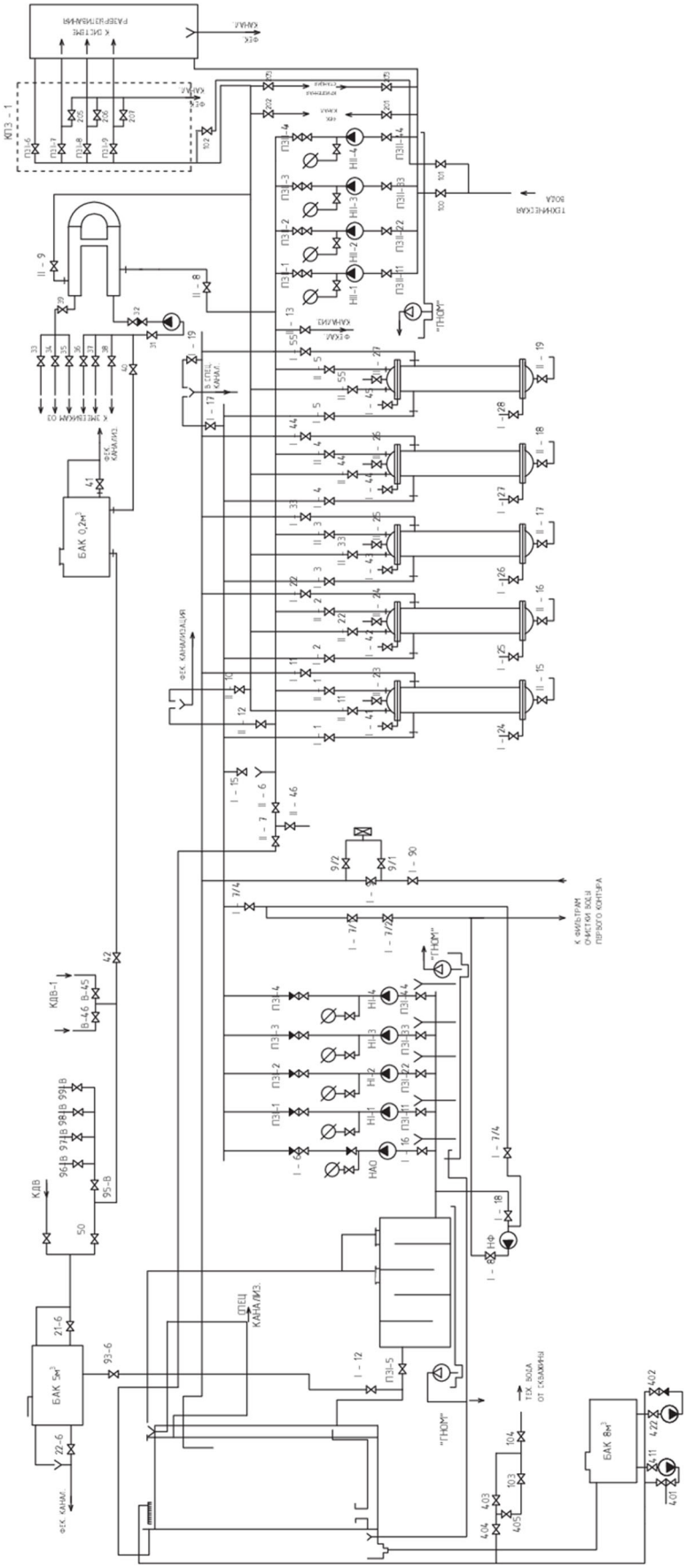

Рис. 2.1. Технологическая схема охлаждения реактора ИРТ-Т

Далее теплоноситель по всасывающему трубопроводу диаметром 400 мм через электрозадвижку ПЗ1-5 поступает во внешнюю задерживающую емкость. Она расположена в помещении № 152 в боксе на отметке –2,5 м и закрыта защитными плитами. Она предназначена для снижения активности теплоносителя по изотопам N^{16}, N^{17} и O^{19} перед входом в насосную первого контура. Объем задерживающей емкости – 24 м^3, время прохода теплоносителя через нее (при расходе 900 м^3/ч) – 90 с. В емкости установлены четыре перегородки, выравнивающие скорость воды по сечению. Для удаления «гремучего» газа, скапливающегося в верхней части задерживающей емкости, в пространство под настилом бака реактора выведены две трубки.

Из внешней задерживающей емкости вода по трубопроводам диаметром 400 мм поступает в помещение насосной первого контура (к. 149).

Всасывающий трубопровод состоит из двух частей. Первая соединяет внутреннюю задерживающую емкость с внешней, верхняя точка которой на 0,65 м выше верхнего торца активной зоны перед выходом из бака, что исключает возможность оголения активной зоны при разгерметизации всасывающего трубопровода; вторая – внешнюю задерживающую емкость с всасывающим коллектором и насосами.

Всасывающий трубопровод проходит через помещения радиационного павильона (к. 154), горячей камеры (к. 153), задерживающей емкости (к. 152) и входит в насосную первого контура (к. 149).

К всасывающему коллектору, расположенному в насосной, подключены параллельно четыре насоса типа Х280/29 (рис. 2.2) – НІ-1, НІ-2, НІ-3, НІ-4. Производительность насоса ~ 280 м^3/час при напоре 0,13…0,14 МПа. На напорных трубопроводах установлены электрозадвижки ПЗІ-1, ПЗІ-2, ПЗІ-3, ПЗІ-4 с дистанционным управлением и обратными клапанами. На всасывающих трубопроводах циркуляционных насосов установлены электроприводные задвижки ПЗІ-11, ПЗІ-22, ПЗІ-33, ПЗІ-44 с дистанционным управлением.

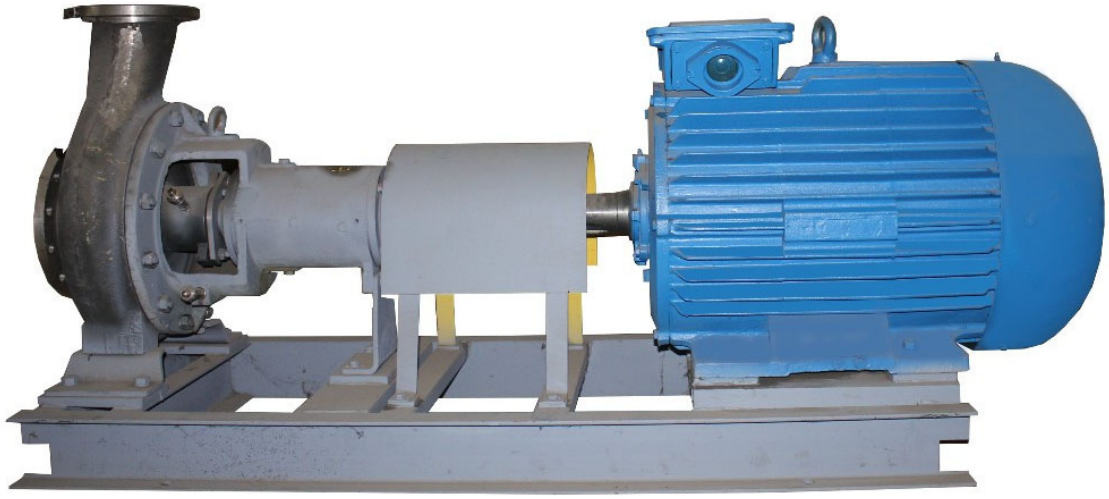

Рис. 2.2. Насос Х280/29

Из четырех насосов два находятся в работе, два являются резервными. После насосов теплоноситель через коллектор поступает в пять теплообменников – Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, Т-5 типа ИРТ-1000 – с поверхностью теплообмена 200 м^2 каждый, предназначенные для передачи тепла от первого контура ко второму контуру (расположены в к. 148). Теплообменники подключены последовательно через коллектор.

На входных трубопроводах теплообменников установлены задвижки I-1, I-2, I-3, I-4, I-5. После теплообменников теплоноситель по трубопроводам через задвижки I-11, I-22, I-33, I-44, I-55 поступает в коллектор, являющийся начальным участком напорного трубопровода.

Благодаря тому, что во втором контуре поддерживается более высокое давление (0,38…0,41 МПа), чем в первом (0,13…0,14 МПа), в случае разгерметизации теплообменных трубок исключается протечка воды из первого контура во второй.

По напорному трубопроводу внутренним диаметром 350 мм теплоноситель поступает внутрь короба, расположенного в бассейне реактора. Через перфорированные стенки и дно короба теплоноситель с малой скоростью поступает в нижнюю часть бака реактора, равномерно распределяясь по ее объему.

Напорный трубопровод из насосной проходит через помещение задерживающей емкости (к. 152) и биологическую защиту реактора и входит в бак реактора на отметке + 6,5 м, т. е. на 5,2 м выше верхнего торца активной зоны.

Для обеспечения охлаждения активной зоны в случае аварийного отключения электропитания насосов первого контура (с одновременным остановом реактора стержнями аварийной защиты) предусмотрен насос аварийного охлаждения (НАО) и два клапана естественной циркуляции.

Насос аварийного охлаждения (НАО) типа ЭЦН 3/1 обеспечивает охлаждение зоны в течение 2,5 мин после отключения первого контура. Производительность насоса 50 $м^3$/час при напоре 0,22 МПа. Двигатель постоянного тока насоса питается от двух независимых источников:

- от выпрямителя 3В (4В) типа ЗУК-155/230 при нормальном режиме работы;
- от аккумуляторной батареи при работе в аварийном режиме (при исчезновении переменного напряжения).

Насос включен в систему охлаждения параллельно циркуляционным насосам. Подводящие к нему трубопроводы состоят из труб диаметром 100 мм. На трубопроводы установлены задвижки 1–6 и 1–16 с ручным управлением.

Клапаны естественной циркуляции установлены в отверстиях горизонтальной перегородки бака реактора. При работе насосов циркуляции НI-1-НI-4 и НАО клапаны закрыты, так как давление во внутренней задерживающей емкости ниже, чем давление в баке реактора, кроме этого клапаны в нижнем положении удерживают электромагниты. Через 2,5 минуты после остановки циркуляционных насосов происходит остановка НАО, при этом в результате отключения электромагнитов, под действием пружин открываются клапаны. Из-за разности температуры теплоносителя около активной зоны и верхней области бака реактора изменяется направление движения теплоносителя в активной зоне – поднимается вверх, тем самым дальнейшее расхолаживание реактора происходит за счет естественной циркуляции.

Для слива воды из бака реактора ИРТ-Т и внутренней задерживающей емкости имеется дренажная труба Ø 56×3, работающая по принципу сифона. Один конец трубы расположен у дна бака реактора, второй доходит до верхнего слоя воды. В сифонную трубу врезан дренажный трубопровод, ведущий в баки спецканализации. В верхней части трубы имеется штуцер, который всегда открыт, чтобы исключить случайное опорожнение бака реактора ИРТ-Т. Для слива воды необходимо перекрыть верхний конец сифонной трубы специальной закручивающейся пробкой и открыть на сливной трубе вентиль 1–20 с ручным управлением, который всегда, кроме случаев ремонта со сливом воды из бака реактора ИРТ-Т, должен быть надежно закрыт и опечатан.

Для исключения перелива воды из бассейна в каналы спецвентиляции надреакторного пространства в баке имеется переливное устройство с выводом трубопровода в систему спецканализации.

Опорожнение внешней задерживающей емкости, трубопроводов, коллектора насосов осуществляется через дренажные вентили I-23/1 и I-23/2 переносным насосом, который установлен в каньоне насосной первого контура. Вода сливается в бак, предназначенный для слива теплоносителя, или в спецканализацию. Слив теплоносителя первого контура из теплообменников производится с помощью сжатого воздуха через вентили I-24, I-25, I-26, I-27, I-28 в спецканализацию по подсоединенным резиновым шлангам. Сжатый воздух от магистрали по резиновому шлангу подается к вентилям теплообменников I-41, I-42, I-43, I-44, I-45.

2.1.2. Второй контур охлаждения реактора ИРТ-Т

Второй контур включает в себя следующие основные элементы:

- всасывающий трубопровод;
- четыре насоса;
- напорный трубопровод;
- пять теплообменников;
- коллекторы, подводящие и отводящие трубопроводы теплообменников и насосов;
- арматуру, расположенную на трубопроводах;
- теплообменник охлаждения защиты;
- градирню;
- магистральные трубопроводы Ø 400 мм, Ø 600 мм;
- камеру переключения задвижек КПЗ-1;
- дренажные трубопроводы с арматурой.

Второй контур охлаждения реактора обеспечивает охлаждение теплоносителя первого контура реактора, первого контура охлаждения системы биологической защиты и отвод тепла от воды второго контура в атмосферу. Вода из трубопровода Ø 400 мм через задвижки ПЗП-11, ПЗП-22, ПЗП-33, ПЗП-44 поступает на четыре параллельно включенных насоса типа Д320/50 (рис. 2.3) НП-1, НП-2, НП-3, НП-4.

Рис. 2.3. Насос Д320/50

Производительность одного насоса – 320 м^3/час при давлении 0,38–0,41 МПа. На напорных трубопроводах установлены обратные клапаны и задвижки ПЗII-1, ПЗII-2, ПЗII-3, ПЗII-4 с ручным управлением. Всасывающие трубопроводы также с ручным управлением. Насосы с задвижками и обратными клапанами расположены в помещении трубопровода второго контура (помещение 009). После насосов вода по трубопроводу Ø 350 мм поступает в теплообменники Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, Т-5, включенные параллельно. Задвижки теплообменников входные II-1, II-2 II-3, II-4, II-5 выходные II-11, II-22, II-33, II-44, II-55 с ручным управлением. Сброс воды из трубопроводов, теплообменников и коллекторов осуществляется через вентили II-13, II-15, II-16, II-17, II-18, II-19 в канализацию.

По напорному трубопроводу Ø 350 мм вода из теплообменников поступает в напорный магистральный трубопровод Ø 400 мм, проложенный в земле на территории промплощадки, и в коллектор камеры переключения задвижек № 1 (КПЗ-1). Далее теплоноситель может протекать в двух режимах:

1. Из коллектора через открытую ПЗ-ГО теплоноситель поступает в бассейн градирни, где происходит ее охлаждение. Такая схема протекания теплоносителя уместна при низкой температуре наружного воздуха. В случае, когда температура теплоносителя не обеспечивает достаточный теплосъем, происходит закрытие ПЗ-ГО и реализуется вторая схема.
2. При закрытии ПЗ-ГО вода из коллектора через три параллельных трубопровода поступает по «гусакам» в распределительную сеть трубопроводов градирни, на которых установлены разбрызгивающие сопла (форсунки). Под действием центробежных сил струя воды распадается на капли. Во время падения они охлаждаются встречным потоком воздуха и далее падают в бассейн градирни. Если и в этом случае температурный режим не удовлетворяет требованиям эксплуатации, производится включение двигателей вентиляторов градирни.

Далее охлажденная вода из бассейна градирни по всасывающему магистральному трубопроводу Ø 600 мм поступает во всасывающий коллектор насосов второго контура.

Градирня брызгального типа имеет три одинаковые секции. Площадь одной секции 64 м^2. В каждой из них расположен вентилятор типа ВГ2-50 производительностью 500 тыс. м^3/ч. Максимальный расход воды через одну секцию – 350 м^3/ч.

Заполнение технической водой бассейна градирни производится по трубопроводу Ø 70 мм от артезианской скважины, расположенной на территории промышленной площадки реактора ИРТ-Т, через задвижку 100, врезанную во всасывающий трубопровод второго контура перед насосами. Также подпитка бассейна градирни производится через задвижку 102, врезанную в напорный трубопровод второго контура после теплообменников. Задвижки установлены в помещении 009.

В случае выхода из строя скважины подпитка бассейна производится из водопровода, идущего от п. Спутник через задвижку 104.

Аварийное заполнение бака реактора ИРТ-Т в случае угрозы оголения активной зоны осуществляется технической водой по трубопроводу от хозяйственного питьевого водопровода или напорного коллектора насосов второго контура в зависимости от того, в какой системе имеется вода. Забор воды насосами второго контура производится из бассейна градирни. На трубопроводе подачи воды в бак реактора ИРТ-Т установлены две последовательно соединенных задвижки II-6 и II-7 с вентилем 46 между ними для контроля протечек. Все вышеперечисленные задвижки с ручным управлением.

2.1.3. Контур охлаждения биологической защиты реактора ИРТ-Т

Контур охлаждения включает в себя следующие основные элементы:

- насос;
- теплообменник;
- трубопровод, установленный в системе биологической защиты;
- подпиточный бачок;
- трубопроводы и арматуру.

Данный контур предназначен для отвода тепла, исходящего от биологической защиты реактора ИРТ-Т за счет воздействия ионизирующего излучения. Трубопровод системы заполнен деминерализованной водой. Он изготовлен из нержавеющих труб Ø 38×3 и Ø 32×3 и расположен в бетоне дна и стенок бака, а также вокруг шиберов. Теплоноситель подается по трубопроводу Ø 50 мм к насосу охлаждения защиты типа Х20/31, расположенному в помещении насосной второго контура. Производительность насоса 20 м^3/час при напоре 0,32 МПа. На всасывающем трубопроводе насоса установлен вентиль 31, а на напорном – обратный клапан и вентиль 32 с ручным управлением. Насос подает деминерализованную воду в водо-водяной теплообменник Т-6 с поверхностью теплообмена 1,5 м^2, где охлаждается технической водой второго контура. Теплообменник закреплен на стене в помещении химводоподготовки (к. 147). На входе и выходе его установлены вентили 30 и 39.

Далее охлажденная вода по трубе Ø 57×3 подается к змеевикам охлаждения защиты. На входе в змеевики установлены вентили 33, 34, 35, на выходе – 36, 37, 38. Нижеуказанные вентили размещены в помещении задерживающей емкости (к. 152). Заполнение и подпитка контура охлаждения защиты обессоленной водой производится из подпиточного бачка объемом 0,2 м^3, расположенного в помещении водоподготовки (к. 147) на отметке +3,1 м. На трубопроводе подпитки установлены вентиль 40 и обратный клапан.

2.1.4. Системы сбора и возврата протечек реактора ИРТ-Т

Система сбора и возврата протечек теплоносителя в бак реактора при аварии (система локализаций аварии – СЛА) предназначена для сбора вытекающего из горизонтальных экспериментальных каналов теплоносителя в случае разгерметизации донышек каналов и возврата его в бак реактора через душирующее устройство.

Система СЛА обеспечивает:

- локализацию протечек в пределах физического зала реактора и тем самым сохраняет остальные помещения реактора и территорию промплощадки от радиоактивного загрязнения;
- охлаждение ТВС и предотвращение расплавления их от остаточного тепловыделения в случае оголения активной зоны.

Для сбора протечек теплоносителя в физическом зале установлен поддон, примыкающий к биологической защите реактора, объемом 48 м^3. Поддон состоит из трех частей, соединенных между собой трубопроводом размером 80×280 мм. В первую собирается теплоноситель из ГЭК-1, 2; во вторую – из ГЭК-3–5; в третью – из ГЭК-6–10.

Поддон системы СЛА связан трубопроводом Ду 100 мм с приёмным баком объемом 8 м^3, который установлен на отметке –1,7 м в к. 145. Пропускная способность данного трубопровода – 50 м^3/час. Для перекачивания теплоносителя из бака 8 м^3 обратно в бак реактора установлены два насоса типа ЭЦН-3/1 производительностью

26 м^3/час. На входе насоса установлен вентиль Ду 80, на выходе – вентиль и обратный клапан Ду 50. При срабатывании системы, в работе находится один насос, а второй резервный.

При включении системы теплоноситель по трубопроводу Ду 50 мм подается в верхнюю часть бака реактора через душирующее устройство, закрепленное на верхней площадке, и разбрызгивается над активной зоной.

Напорный трубопровод Ду 50 мм с душирующим устройством через два вентиля (№ 403, 404) соединен трубой Ду 50 с трубопроводом технической воды для аварийного охлаждения активной зоны и заполнения бака реактора.

Насосы системы СЛА обеспечивают расход теплоносителя до 20 м^3/час в течение первого часа после разгерметизации ГЭКа, затем до 5…8 м^3/час в течение первых суток и до 2…3 м^3/час в течение последующих суток. Общее время душирования активной зоны должно быть не менее 3 суток. Возможно отключение системы и через меньшее время при условии заполнения бака реактора водой на метр или выше активной зоны.

Система СЛА должна находиться постоянно в режиме готовности к работе. Проверка включения насосов системы СЛА может производиться в трех режимах:

1. Включение насосов системы СЛА с местного поста управления. На местном посту управления первого насоса СЛА-1 повернуть ключ в положение «Вкл» на 5…10 с. В случае включения насоса, на местном посту управления насосом СЛА-1 установить ключ в нулевое положение, тем самым отключить первый насос. Повторить те же действия для насоса СЛА-2.

2. Дистанционное включение насосов системы СЛА. На местном посту управления СЛА-1 и СЛА-2 в к. 145 установить ключ в положение «Дист.». На пульте оператора 6 (ПО6) повернуть ключ из нулевого положения влево на 5…10 с для включения насоса СЛА-1. После проверки первого насоса вернуть ключ в нулевое положение. Для включения насоса СЛА-2 повернуть ключ из нулевого положения вправо на 5…10 с. После проверки включения второго насоса вернуть ключ в нулевое положение.

3. Проверка автоматического включения насосов СЛА. На местном посту управления СЛА-1 и СЛА-2 в к. 145 установить ключ в положение «Авт». На щите оператора 6 (ЩО6) расположены приборы СПР-04 – «Уровень СЛА», имитирующий наличие воды в баке объемом 8 м^3, и «СЛА 60 куб.», имитирующий снижение уровня теплоносителя в баке реактора ниже 6 м. Необходимо одновременно нажать кнопки проверки на этих приборах на 5…10 с. В случае включения насоса СЛА-1 перевести ключ на местном посту управления СЛА-1 в нулевое положение и повторить схему автоматического включения насоса для СЛА-2.

Кроме проверок срабатывания насосов или каких-либо ремонтных работ, на местном посту управления СЛА-1 и СЛА-2 ключ всегда должен находиться в положении «Авт».

2.1.5. Система вентиляции реактора ИРТ-Т

Система вентиляции здания реактора состоит из нескольких систем вытяжной и приточной вентиляции. При этом в каждом помещении создается необходимая кратность воздухообмена. В помещениях, где ожидается наименьшее радиоактивное загрязнение, создается повышенное давление по сравнению с помещениями с большим загрязнением, что способствует локализации загрязнений.

Вытяжная вентиляция здания подразделяется на общеобменную и спецвентиляцию.

2.1.5.1. Система общеобменной вентиляции реактора ИРТ-Т

Приточная вентиляция обеспечивает подачу подогретого до +18 °С воздуха в холодное время года и состоит из шести систем – П1–П6. Система П1 подает подогретый в калориферах воздух в здание реактора. Необходимы подогрев воздуха обеспечивается при температуре окружающего воздуха до – 40 °С. В системе П1 работает два вентилятора, один из них резервный. Все оборудование системы П1 расположено в помещении приточной вентиляции (к. 139).

Системы П2–П5 подают воздух в лабораторную пристройку здания реактора. Система П6 – в помещение аккумуляторной.

Общеобменная вентиляция осуществляет вытяжку воздуха из помещений реактора (В3) и из лабораторий пристройки (В7–В15).

2.1.5.2. Система спецвентиляции реактора ИРТ-Т

Системы специальной вытяжной вентиляции В1 и В6 предназначены для удаления воздуха из мест, где возможно появление радиоактивных газов и аэрозолей, для очистки загрязненного воздуха и выброса его через вентиляционную трубу высотой 42 м и диаметром 1200 мм.

Удаление воздуха системой спецвентиляции В1 (вентиляторы В1-1 и В1-2) производится из следующих мест:

- из поднастильного пространства (между настилом и поверхностью воды в бассейне реактора);
- поднастильного пространства шахты-хранилища отработанных ТВС;
- шиберов ГЭК;
- хранилища «сухих» сборок;
- «горячей камеры»;
- помещения радиационного павильона.

При работе системы В1 в них создается разрежение, которое обеспечивает одностороннее движение воздуха из физического зала в эти объемы и предотвращает распространение радиоактивного воздуха в физический зал. Кроме того, система В1 (вентиляторы В1-3 и В1-4) удаляет воздух из следующих помещений:

- помещения задерживающей емкости и фильтров очистки теплоносителя первого контура;
- помещения насосной первого контура охлаждения реактора ИРТ-Т;
- помещения теплообменников;
- коридора ремзоны.

Общее количество удаляемого системой В1 воздуха составляет 5500 $м^3$/ч. Газообразные продукты эксплуатации ядерного реактора из пространства над бассейном пропускаются через фильтры ФП-300 (рис. 2.4), состоящие из активированного угля, предназначенные для поглощения радиоактивного йода-131 в случае разгерметизации твэла. Остальной воздух системы В1 очищается от радиоактивных аэрозолей в фильтрах тонкой очистки ФЯС А-13 (рис. 2.5). В системе имеются резервные вентиляторы и фильтры.

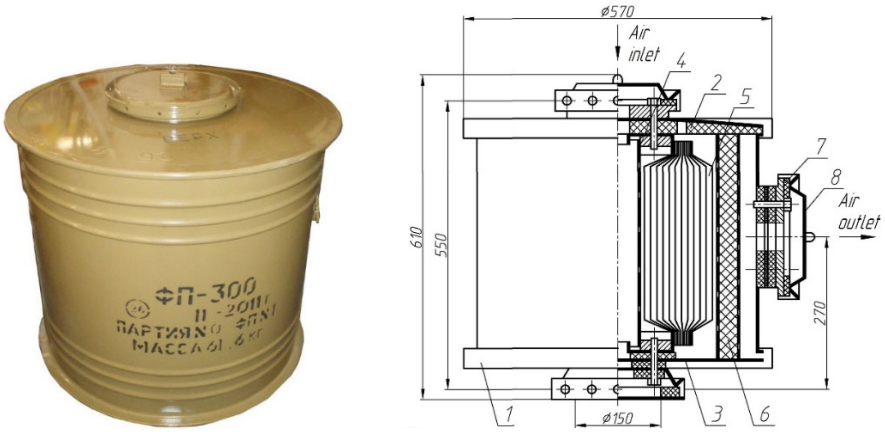

Рис. 2.4. Фильтр ФП-300:
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – дно; 4 – прокладка; 5 – противоаэрозольный фильтр; 6 – катализатор; 7 – ниппельное кольцо; 8 – заглушка

Рис. 2.5. Фильтр ФЯС А-13

Вентилятор В2-1 осуществляет удаление воздуха из вытяжного шкафа химлаборатории (к. 325).

Система общеобменной вентиляции В3 осуществляет удаление воздуха:

- из физического зала;
- лабораторий здания реактора ИРТ-Т.

Система вентиляции В4 (вентиляторы В4-1 и В4-2) удаляет воздух:

- из помещения насосной второго контура охлаждения;
- узла водоподготовки.

Система В6 осуществляет отсос воздуха из ГЭК-4, охлаждая слитки кремния в процессе их облучения. Воздух из ГЭК-4 пропускается через фильтры и выбрасывается в вентиляционную трубу реактора. Радиоактивность выбрасываемого в трубу воздуха непрерывно контролируется и фиксируется на дозиметрическом оборудовании.

2.1.6. Система спецканализации реактора ИРТ-Т

Система спецканализации предназначена для сбора радиоактивной воды в спецрезервуары, находящиеся на территории промплощади реактора. Данная система обеспечивает:

- слив воды из бака реактора при его опорожнении или переливе;
- сбор деминерализованной воды из шахты-хранилища ОТВС при переливе;

- сбор утечек из насосной первого контура, помещения теплообменников и внешней задерживающей емкости;
- сбор воды и растворов после мытья горячей камеры, радиационного павильона, ванны дезактивации, раковины на верхней площадке, спецшкафа лаборатории радионуклидов и из бака лаборатории ядерного легирования кремния.

Слив всех жидкостей производится в три спецрезервуара. Два резервуара имеют объем по 100 м^3 каждый, объем третьего резервуара – 325 м^3. Спецрезервуары изготовлены из бетона, расположены ниже уровня поверхности земли на территории промплощадки и облицованы внутри нержавеющей сталью. Материал всех труб системы – нержавеющая сталь.

Спецканализация работает в режиме накопления радиоактивных стоков. Ежегодное пополнение спецрезервуаров составляет 15…20 м^3 стоков. Каждый год можно регенерировать до 20 м^3 стоков. Очищенные спецстоки проверяются на соответствие нормам качества подпиточной воды и идут на подпитку первого контура охлаждения ИРТ-Т.

2.1.7. Системы водоподготовки и водоочистки реактора ИРТ-Т

2.1.7.1. Система водоподготовки реактора ИРТ-Т

Система водоподготовки предназначена для получения деминерализованной воды, используемой для первичного заполнения бака реактора ИРТ-Т и трубопроводов первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, подпитки шахты хранилища ОТВС, а также для нужд лабораторий.

В качестве основной загрузки в фильтрах системы водоподготовки используется ионообменная смола, основное назначение которой заключается в уменьшении содержания примесей в воде и нормализации pH в заданных пределах. Очистка воды от продуктов коррозии (в основном это окислы железа) ионообменными смолами малоэффективна, поэтому в системе очистки используется еще и механический фильтр, состоящий из термоксида, на котором эффективно убираются окислы железа и другие механические примеси.

Система водоподготовки состоит из восьми фильтров и работает следующим образом: сначала водопроводная вода проходит через механический фильтр, затем поочередно поступает в фильтры с катионитной и анионитной смолой (всего 6 фильтров) и далее в фильтр смешанного действия, состоящий из катионитной и анионитной смолы одновременно. После прохождения через систему водоподготовки деминерализованная вода с электропроводностью ~ 1…2 мкСм/см поступает сначала в бак объемом 1 м^3, который находится в помещении насосов второго контура, а затем насосом деминерализованной воды (НДВ) подается в подпиточный бак объемом 5 м^3 системы подпитки первого контура. Производительность узла водоподготовки составляет 0,4 м^3/ч.

В случае ухудшения очищающих свойств ионообменных смол производится операция по их регенерации путем пропускания через них кислоты и щелочи. Через катионитную смолу прогоняют кислоту, через анионитную смолу – щелочь.

Подпитка первого контура охлаждения производится путем открытия вентиля 93-6, расположенного на баке объемом 5 м^3. Деминерализованная вода по трубопроводу через задвижку I-12 поступает в трубопровод первого контура. Труба от бака объемом 5 м^3 врезается в трубопровод первого контура. Данное соединение расположено перед задвижкой ПЗI-5 в помещении задерживающей емкости.

2.1.7.2. Система водоочистки реактора ИРТ-Т

Система водоочистки предназначена для удаления продуктов радиолиза, а также продуктов эрозии из теплоносителя первого контура, получаемых в процессе работы реактора ИРТ-Т.

Система водоочистки включает в себя 8 фильтров, из которых 2 являются механическими и 6 фильтров смешанного действия. Отбор теплоносителя первого контура со значением электропроводимости ~ 3…4 мкСм/см осуществляется насосами на выходе внешней задерживающей емкости. Далее теплоноситель очищается в системе водоочистки до значения электропроводимости ~ 1…2 мкСм/см и затем возвращается в первый контур через врезанное соединение в трубопроводе, расположенное после теплообменников. Производительность узла водоочистки составляет 0,13…0,16 $м^3$/ч.

Список литературы

1. Лабораторный практикум на реакторе ИРТ-Т. Часть I / В.А. Варлачев, Т.В. Бузоверова, О.Ф. Гусаров и др. – Томск : Изд-во ТПУ, 2003. – 96 с.

2. Инструкция по эксплуатации технологических систем исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2018. – 18 с.

3. ГОСТ 14202–69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. – Москва : Издательство стандартов, 1969. – 17 с.

4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» (НП-089-15). – Москва : НТЦ ЯРБ, 2015. – 71 с.

5. Техническое описание и руководство по эксплуатации системы сбора и возврата протечек исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2018. – 14 с.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите составляющие технологической системы охлаждения реактора ИРТ-Т.
2. Что входит в состав первого контура охлаждения реактора ИРТ-Т?
3. Опишите работу первого контура охлаждения реактора ИРТ-Т.
4. Каково назначение задерживающей емкости?
5. Что входит в состав второго контура охлаждения реактора ИРТ-Т?
6. Какие режимы работы у второго контура охлаждения реактора ИРТ-Т?
7. Что входит в систему охлаждения бетона биологической защиты реактора ИРТ-Т?
8. Опишите принцип работы системы сбора и возврата протечек реактора ИРТ-Т.
9. Перечислите режимы проверки включения насосов системы СЛА реактора ИРТ-Т.
10. Перечислите системы вентиляции реактора ИРТ-Т.
11. Какая система вентиляции обеспечивает приток воздуха и в каких помещения, а какая обеспечивает удаление воздуха и в каких помещениях?
12. Чем вызвана необходимость системы спецканализации на реакторе ИРТ-Т?
13. В чем разница между системой водоподготовки и системой водоочистки реактора ИРТ-Т?

Работа 3
ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

3.1. Описание системы контроля технологических параметров реактора ИРТ-Т

Система контроля технологических параметров обеспечивает непрерывный контроль параметров работы всех технологических систем реактора ИРТ-Т и выдачу сигналов в аналоговом или контактном виде при отклонении от нормальных режимов эксплуатации. Сигналы от датчиков или преобразователей системы контроля технологических параметров заведены в систему SCADA реактора ИРТ-Т. Сигналы от преобразователей, измеряющих уровень в баке реактора ИРТ-Т, давление на напоре насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, перепад давления на активной зоне реактора ИРТ-Т, температуру на входе в активную зону и перепад температур на активной зоне, заведены в предупредительную и аварийную сигнализацию системы управления и защиты реактора ИРТ-Т.

От системы контроля технологических параметров поступает сигнал в блок блокировок на открытие клапанов естественной циркуляции, а также может выдать сигналы блокировки включения электродвигателей насосов первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т и насоса фильтров очистки теплоносителя первого контура охлаждения реактора ИРТ-Т.

Система контроля технологических параметров измеряет:

- расход теплоносителя в контурах охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т и контуру охлаждения биологической защиты;
- давление теплоносителя в контурах охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т и контуре охлаждения биологической защиты;
- температуру теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т, контурах охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т и в контуре охлаждения биологической защиты;
- уровень теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т, в подпиточном баке контура охлаждения биологической защиты, подпиточном баке первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, в бассейне градирни, в баках системы спецканализации.

3.2. Измерение расхода теплоносителя реактора ИРТ-Т

Для измерения расхода теплоносителя первого и второго контуров охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, первого и второго контуров охлаждения биологической защиты реактора ИРТ-Т и расхода теплоносителя через ионообменные и механические фильтры установлены расходомерные узлы, в состав которых входят:

- диафрагма камерная ДК-6 (рис. 3.1);
- преобразователь Метран 150-ДД (давление дифференциальное) (рис. 3.2);
- милливольтметр универсальный ИРТ-1730У/М (рис. 3.3).

Диафрагма камерная создает местное сужение потока. Статическое давление потока после диафрагмы становится меньше, чем до нее. Разность этих давлений тем больше, чем больше расход протекающего вещества. Преобразователь Метран 150-ДД преобразует перепад давления в токовый сигнал 4–20 мА. Токовый сигнал передается на

измеритель-регулятор технологический (ИРТ-1730У/М), на котором отображается цифровое значение расхода в м^3/час. Данные приборы установлены на ПО1 (пульт оператора) и ЩО6 (щит оператора) в пультовой реактора ИРТ-Т.

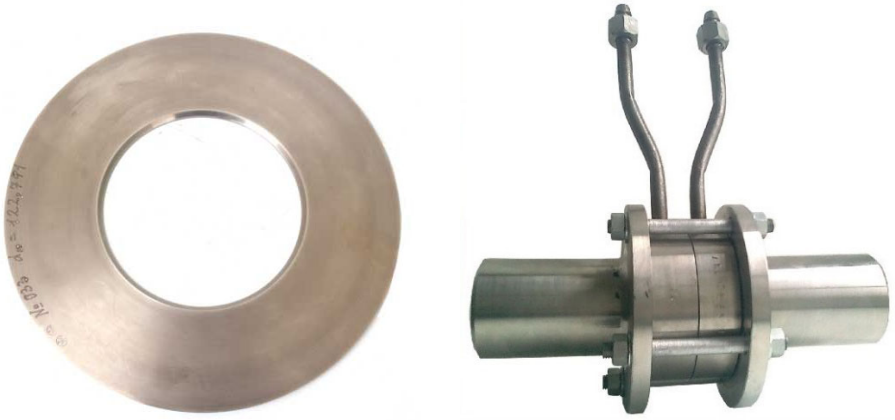

Рис. 3.1. Диафрагма камерная ДК-6

Рис. 3.2. Преобразователь Метран 150-ДД (давление дифференциальное)

Рис. 3.3. Милливольтметр универсальный ИРТ-1730У/

Значения расхода при нормальной эксплуатации реактора ИРТ-Т:

- первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т – 700 м^3/час;
- второго контура реактора ИРТ-Т – 850 м^3/час;
- насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т – 59 м^3/час;

- первого контура охлаждения биологической защиты реактора ИРТ-Т – 2,80 м^3/час;
- второго контура охлаждения биологической защиты реактора ИРТ-Т – 5 м^3/час;
- системы водоочистки реактора ИРТ-Т – 0,15 м^3/час.

Милливольтметр ИРТ-1730У/М выдает уведомительный сигнал при снижении расхода на 10 % и предупредительный сигнал при снижении расхода на 20 %, а система SCADA, расположенная в пультовой реактора ИРТ-Т, уведомляет об этом оперативный персонал.

3.3. Измерение давления теплоносителя реактора ИРТ-Т

Измерение давление теплоносителя в первом и втором контурах охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, в первом контуре охлаждения биологической защиты реактора ИРТ-Т осуществляется преобразователями избыточного давления «Метран 150-ДИ» (рис. 3.4) в комплекте с милливольтметрами универсальными ИРТ-1730У/М.

Рис. 3.4. Преобразователь «Метран 150-ДИ» (давление избыточное)

Величина избыточного давления теплоносителя измеряется датчиком «Метран 150-ДИ» в пределах от 0 до 0,6 МПа и преобразуется в токовый сигнал 4…20 мА. Токовый сигнал передается на измеритель-регулятор технологический ИРТ-1730У/М, на котором отображается цифровое значение давления в МПа. Данные приборы установлены на ПО1 в пультовой реактора ИРТ-Т.

Значения давления при нормальной эксплуатации реактора ИРТ-Т:

- первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т – 0,13…0,14 МПа;
- второго контура реактора ИРТ-Т – 0,38…0,41 МПа;
- насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т – 222…233 кПа;
- перепад давления теплоносителя на активной зоне реактора ИРТ-Т – 30…37 кПа.

Милливольтметр ИРТ-1730У/М выдает уведомительный сигнал при снижении давления теплоносителя в первом и втором контурах охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т на 20 кПа от номинального, а при снижении давления по этим же параметрам, указанным выше, на величину равную 40 кПа выдает предупредительный сигнал, а система SCADA уведомляет об этом оперативный персонал.

Измерение давления теплоносителя на напоре насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т осуществляется тремя преобразователями избыточного давления «Метран 150-ДИ» в комплекте с модулями безопасности «Мираж-МБ».

Величина избыточного давления измеряется датчиком «Метран 150-ДИ» в пределах от 0 до 0,6 МПа и преобразуется в токовый сигнал 0…5 мА. Токовый сигнал передается в блок усилителей гальваноразвязанных (БУГ-02), который является составной частью модуля безопасности (МБ) «Мираж-МБ» (рис. 3.5).

Рис. 3.5. Модуль безопасности «Мираж-МБ»

Модуль безопасности «Мираж-МБ» связан с рабочей станцией отображения (РСО), на которой отображается цифровое значение давления в кПа, и с узкопрофильным прибором (УПП-01), на котором отображается аналоговое значение давления в кПа. УПП-01 расположен на ПО4 в пультовой реактора ИРТ-Т. РСО также расположены в пультовой реактора ИРТ-Т. При снижении давления теплоносителя на напоре насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т до 157 кПа от номинального, выдается предупредительный сигнал, а при снижении давления до 140 кПа выдается аварийный сигнал в систему управления и защиты реактора ИРТ-Т, после чего срабатывает аварийная защита и все стержни опускаются в активную зону реактора ИРТ-Т.

Перепад давления теплоносителя на активной зоне реактора ИРТ-Т измеряется датчиком перепада давления «Метран 150-ДД» в комплекте с модулем безопасности «Мираж-МБ». Отбор давления осуществляется от верха активной зоны реактора

ИРТ-Т (плюсовая камера) и из-под активной зоны реактора ИРТ-Т (минусовая камера). Датчик «Метран 150-ДД» преобразует величину перепада давления в токовый сигнал 0…5 мА. Токовый сигнал подается в блок усилителей гальваноразвязанных (БУГ-02), который является составной частью модуля безопасности «Мираж-МБ». Сигнал от «Мираж-МБ» передается на рабочую станцию отображения (РСО), на которой отображается цифровое значение давления в кПа, и на узкопрофильный прибор (УПП-01), расположенный на ПО4 реактора ИРТ-Т, который отображает аналоговое значение давления в кПа. При снижении перепада давления теплоносителя на активной зоне реактора ИРТ-Т до 30 кПа выдается предупредительный сигнал, а при снижении до 27 кПа – аварийный сигнал в систему управления и защиты реактора ИРТ-Т, после чего срабатывает аварийная защита и все стержни опускаются в активную зону реактора ИРТ-Т.

3.4. Измерение температуры теплоносителя реактора ИРТ-Т

Измерение температуры теплоносителя и температуры бетона биологической защиты реактора ИРТ-Т осуществляется по трем схемам:

- чувствительный элемент платиновый технический (ЧЭПТ-2) (рис. 3.6) → блок преобразования температурного сигнала (БПТС-02) модуля безопасности «Мираж-МБ» → модуль безопасности «Мираж-МБ»;
- чувствительный элемент платиновый технический (ЧЭПТ-2) → преобразователь нормирующий микропроцессорный 2000НМ (рис. 3.7) → милливольтметр универсальный ИРТ-1730У/М;
- термометр сопротивления с унифицированным выходом (ТСПУ-2222) (рис. 3.8) → милливольтметр универсальный ИРТ-1730У/М.

Рис. 3.6. Чувствительный элемент платиновый технический (ЧЭПТ-2)

Рис. 3.7. Преобразователь нормирующий микропроцессорный 2000НМ

Рис. 3.8. Термометр сопротивления с унифицированным выходом (ТСПУ-2222)

По первой и второй схемам измеряемая температура преобразуется в токовый сигнал от 0 до 5 мА, по третьей схеме измерения выходной токовый сигнал составляет 4…20 мА.

Интервал измерения температуры теплоносителя по всем каналам составляет от 0 до 100 °С. Интервал измерения температуры бетона биологической защиты реактора ИРТ-Т – от 0 до 150 °С.

Измерение температуры теплоносителя на входе в активную зону реактора ИРТ-Т и на выходе из активной зоны реактора ИРТ-Т производится с помощью трех датчиков ЧЭПТ-2. Далее сигнал поступает в блок преобразования температурного сигнала (БПТС-02) модуля безопасности «Мираж-МБ», затем выводится на рабочую станцию отображения (РСО), на которой отображается цифровое значение температуры в °С, и на узкопрофильные приборы (УПП-01), расположенные на ПО3, где отображается аналоговый сигнал. При увеличении температуры теплоносителя на входе в активную зону до 55 °С выдается предупредительный сигнал, а при достижении этого же параметра до 60 °С – аварийный сигнал в систему управления и защиты реактора ИРТ-Т, после чего срабатывает аварийная защита и все стержни опускаются в активную зону реактора ИРТ-Т. Сигналы формируются по мажоритарной логике «2 из 3».

Измерение перепада температуры теплоносителя на активной зоне реактора ИРТ-Т производится путем вычисления разницы температуры теплоносителя на входе в активную зону реактора ИРТ-Т и на выходе из активной зоны реактора ИРТ-Т датчиками ЧЭПТ-2. Далее сигнал идет в блок преобразования температурного сигнала (БПТС-02) модуля безопасности «Мираж-МБ», затем передается на рабочую станцию отображения (РСО), на которой отображается цифровое значение температуры в °С, и на узкопрофильные приборы (УПП-01), расположенные на ПО3, где отображается аналоговый сигнал. Интервал измерения перепада температуры теплоносителя на активной зоне реактора ИРТ-Т составляет от 0 до 10 °С. При увеличении перепада температуры теплоносителя на активной зоне до 9,5 °С в систему управления и защиты реактора ИРТ-Т поступает предупредительный сигнал, а при увеличении до 10 °С – аварийный сигнал, после чего срабатывает аварийная защита и все стержни опускаются в активную зону реактора ИРТ-Т. Сигналы формируются по мажоритарной логике «2 из 3».

По единичным каналам производится измерение температуры:

- активной зоны реактора ИРТ-Т;
- бетона биологической защиты реактора ИРТ-Т;

- теплоносителя после внутренней задерживающей емкости реактора ИРТ-Т;
- теплоносителя на входе в теплообменник и выходе из теплообменников первого и второго контуров охлаждения реактора ИРТ-Т;
- теплоносителя в двух контурах охлаждения бетона биологической защиты реактора ИРТ-Т.

Измерение температуры активной зоны реактора ИРТ-Т (1 датчик) и температуры в контуре охлаждения биологической защиты реактора ИРТ-Т (3 датчика) производится с помощью ЧЭПТ-2. Выдаваемый датчиками сигнал поступает в преобразователь нормирующий микропроцессорный 2000НМ и преобразуется в токовый сигнал от 0 до 5 мА, который поступает на милливольтметр универсальный ИРТ-1730У/М, где отображается значение температуры в °С.

Измерение температуры в остальных точках производится с помощью ТСПУ-2222. Измеряемая температура преобразуется в токовый сигнал от 4 до 20 мА, который идет на милливольтметр универсальный ИРТ-1730У/М, где отображается значение температуры в °С. ИРТ-1730У/М, где отображаются значения восемнадцати температурных параметров, установлены в пультовой реактора ИРТ-Т на ПО1 и ЩО6.

Расположение датчиков измерения температуры:

- термометры платиновые технические ЧЭПТ-2 (9 штук) установлены в баке реактора ИРТ-Т;
- термометры платиновые технические ЧЭПТ-2 (3 штуки) установлены в массиве бетона стенки бака реактора ИРТ-Т;
- термометры сопротивления ТСПУ-2222 (12 штук) установлены на технологических трубопроводах;
- термометры сопротивления ТСПУ-2222 (5 штук) установлены на теплообменниках по второму контуру охлаждения;
- термометр сопротивления ТСПУ-2222 (1 штука) установлен в шахте-хранилище ОТВС.

3.5. Измерение уровня теплоносителя реактора ИРТ-Т

Измерение уровня теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т производится датчиком «Метран 150-ДД» в комплекте с модулем безопасности «Мираж-МБ». Датчик разницы давлений «Метран 150-ДД» установлен на балконе второго этажа физического зала реактора ИРТ-Т. Минусовая импульсная линия от измерительной камеры датчика установлена в уравнительный сосуд, который расположен на стенке биологической защиты реактора ИРТ-Т на уровне 6,0 м, а плюсовая импульсная линия установлена в бак реактора ИРТ-Т, также на уровне 6,0 м. Тем самым создается разность давления между столбом воды от уровня 6 м в баке ректора и уровнем воды в уравнительном сосуде.

Датчик «Метран 150-ДД» преобразует разность давления в токовый сигнал от 0 до 5 мА. Токовый сигнал измеряется в блоке усилителей гальваноразвязанных (БУГ-02) модуля безопасности «Мираж-МБ», затем передается на рабочую станцию отображения (РСО), на которой отображается цифровое значение уровня в метрах, и на узкопрофильные приборы УПП-01, расположенные на ПО3, где отображается аналоговый сигнал. Диапазон измерения уровня теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т – от 6 до 7,6 м, номинальный уровень считается равным 7,35 м. При снижении уровня от номинального до 7,2 м выдается предупредительный сигнал, а до 7,0 м – аварийный в систему управления и защиты реактора ИРТ-Т, после чего срабатывает аварийная защита и все стержни опускаются в активную зону реактора ИРТ-Т. Кроме этого,

при снижении уровня до 7,0 м подается сигнал на отключение электродвигателей насосов первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, а через 140 с – на отключение электродвигателя насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т. Схема, обеспечивающая отключение вышеуказанных электродвигателей, собрана в блоке блокировок в РЩ3 (распределительный щит).

Так как в системе управления и защиты реактора ИРТ-Т сигналы формируются по мажоритарной логике «2 из 3», а измерение истинного уровня теплоносителя осуществляется по одному каналу, сверху бака реактора ИРТ-Т размещены 4 контактных датчика С-57 (рис. 3.9) в комплекте с сигнализатором предельных сопротивлений (СПРС2И-04В) (рис. 3.10), предназначенные для сигнализации крайнего верхнего положения уровня теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т. Сигнал о снижении уровня теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т по двум из четырех датчиков в контактной форме поступает в блок дискретных сигналов (БДС) модуля безопасности «Мираж-МБ» и заведена в систему управления и защиты реактора ИРТ-Т. Остальные два датчика не заведены в СУЗ. Сигнализаторы предельных сопротивлений (СПРС2И-04В), показывающие наличие или отсутствие теплоносителя в баке реактора, расположены на ЩО6 пультовой реактора ИРТ-Т.

Рис. 3.9. Контактный датчик С-57

Рис. 3.10. Сигнализатор предельных сопротивлений (СПРС2И-04В)

Измерение уровня деминерализованной воды в подпиточном баке объемом 5 м^3 осуществляется преобразователем «Зонд 10-ГД» (рис. 3.11), который установлен непосредственно на подпиточном баке. Диапазон измерения составляет от 0 до 1,6 м. Токовый сигнала от 4 до 20 мА от преобразователя Зонд 10-ГД идет на милливольтметр универсальный ИРТ-1730У/М, установленный на ЩО6, на котором отображается значение уровня в метрах.

Рис. 3.11. Преобразователь «Зонд 10-ГД»

Также преобразователем «Зонд 10-ГД» измеряется давление теплоносителя второго контура после теплообменников. Данное давление называют давлением теплоносителя в градирни. ИРТ-1730У/М, показывающий значение давления в МПа, установлен на ПО1.

Для определения протечек в приямках всасывающих коллекторов трубопроводов первого и второго контуров охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, задерживающей емкости, каньонов теплообменников, бака спецканализации на 325 м^3, в помещении хранилища свежего топлива, а также в баке СЛА установлены контактные датчики С-57 в комплекте с сигнализаторами предельных сопротивлений (СПРС2И-04В), показывающие наличие или отсутствие протечек в различных приямках. СПРС2И-04В расположены на ЩО6 в пультовой реактора ИРТ-Т.

Измерение уровня отработанного топлива в баках спецканализации, в бассейне градирни, в подпиточном баке контура охлаждения биологической защиты, в баке СЛА, а также в шахте-хранилище производится датчиками ПМП-062 (рис. 3.12) в комплекте с милливольтметрами ИРТ-1730У/М. Данные ИРТ-1730У/М, где отображается значение уровня, установлены на ЩО6 пультовой реактора ИРТ-Т.

Рис. 3.12. Преобразователь магнитный поплавковый ПМП-062

3.6. Клапаны естественной циркуляции реактора ИРТ-Т

Клапаны естественной циркуляции (2 шт.) предназначены для осуществления естественной циркуляции теплоносителя. Благодаря клапанам активная зона реактора ИРТ-Т охлаждается в случае остановки насосов первого контура и насоса аварийного охлаждения. Электромагниты клапанов естественной циркуляции расположены на настиле бака реактора ИРТ-Т, а сами клапаны – на внутренней задерживающей емкости. Клапаны естественной циркуляции закрываются при подаче на удерживающие катушки электромагнитов постоянного напряжения 110 В и после включения любого из электродвигателей насосов первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т или электродвигателя насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т. Усилие, развиваемое удерживающей катушкой электромагнита клапана, достаточно для удержания его в закрытом состоянии. При обесточивании любого из основных насосов первого контура и после работы НАО, равной 140 с, от аккумуляторных батарей ранее указанных электродвигателей катушка клапана обесточивается, клапан открывается под действием пружины и начинается естественная циркуляция теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т. Тем самым происходит охлаждение активной зоны реактора ИРТ-Т.

3.7. Блок блокировок реактора ИРТ-Т

Блок блокировок расположен в РЩ3 и предназначен для отключения электродвигателей насосов первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т и насоса фильтров, когда:

- на электромагниты клапанов естественной циркуляции не подано постоянное напряжения 110 В;
- положение задвижки ПЗ1-5 – «закрыто»;
- уровень теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т снизился до аварийной уставки.

То есть если перед пуском было нарушено хотя бы одно из вышеперечисленных условий, насосы первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, насос аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т и насосы фильтров **не запустятся.**

В случае нарушения одного из вышеперечисленных условий в процессе эксплуатации блок блокировок произведет отключение всех вышеперечисленных насосов, кроме НАО.

Список литературы

1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации системы контроля (КИП) реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2022. – 15 с.

Контрольные вопросы и задания

1. Как осуществляется измерение расхода теплоносителя первого и второго контура охлаждения реактора ИРТ-Т?
2. Опишите принцип работы диафрагмы камерной ДК-6.
3. Опишите принцип работы преобразователя «Метран 150-ДД».
4. Опишите принцип работы милливольтметра универсального ИРТ-1730У/М.
5. Каким образом осуществляется измерение давления теплоносителя первого и второго контура охлаждения реактора ИРТ-Т?
6. Опишите принцип работы преобразователя «Метран 150-ДИ».

7. Как осуществляется измерение температуры теплоносителя реактора ИРТ-Т?

8. Какой принцип работы чувствительного элемента ЧЭПТ-2 и термометра сопротивления ТСПУ-2222?

9. Опишите принцип работы преобразователя 2000НМ.

10. Как осуществляется измерение уровня теплоносителя в баке реактора ИРТ-Т?

11. Опишите принцип работы контактного датчика С-57.

12. Опишите принцип работы сигнализатора предельных сопротивлений (СПРС2И-04В).

13. Сравните принцип работы преобразователя «Зонд10-ГД» и преобразователя «Метран 150-ДИ».

14. Опишите принцип работы уровнемера ПМП-062.

15. Опишите принцип работы клапанов естественной циркуляции реактора ИРТ-Т.

16. Как работает блок блокировок реактора ИРТ-Т?

17. Как осуществляется включение в работу системы контроля технологических параметров реактора ИРТ-Т?

18. Опишите принцип работы манометра.

19. Что такое сигнал с унифицированным выходом?

20. В чем отличие между датчиками с термосопротивлением (термопара) и с терморезистором?

Работа 4
КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

4.1. Назначение комплекса

Комплекс предназначен для обеспечения безопасной работы реактора во всех режимах его работы. В соответствии с назначением, комплекс обеспечивает:

- автоматический и 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 контроля технологических параметров реактора;
- ручной дистанционный останов реактора из помещения резервного пункта управления (РП) и помещения реакторного зала;
- автоматический пуск реактора на заданный уровень мощности с заданным периодом;
- автоматическое поддержание заданного уровня мощности в диапазоне работы автоматического регулятора и автоматическое изменение мощности с заданным периодом;
- ручное дистанционное управление перемещением органов воздействия на реактивность;
- непрерывный контроль и регистрацию уровня относительной физической мощности реактора;
- контроль скорости (периода) изменения относительной физической мощности реактора;
- контроль технологических параметров, по которым формируются сигналы аварийной защиты;
- контроль положения рабочих органов СУЗ;
- контроль относительной физической мощности реактора и конечных положений органов воздействия на реактивность с резервного пульта;
- аварийную и предупредительную световую и звуковую сигнализацию при недопустимых отклонениях контролируемых параметров от установленных значений и неисправностях в комплексе;
- фиксацию причин срабатывания и последовательности событий, приведших к аварийной остановке.

4.2. Основные технические характеристики комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т

4.2.1. Информационные функции комплекса

Комплекс выполняет следующие функции:

- контроль по шести независимым каналам за изменениями относительной физической мощности реактора исходя из плотности потока нейтронов в местах установки ионизационных камер и представление этой информации на шести показывающих приборах (четыре – на пульте оператора, два – на резервном пульте);
- контроль скорости (периода) относительных изменений физической мощности по четырем независимым каналам и представление этой информации на четырех показывающих приборах на пульте оператора;

- 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 первого контура, активности газов в воздухе из-под крышки 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);
- 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 (резервный пульт, помещение трубопровода первого контура, верхняя площадка реактора ИРТ-Т, хранилище свежего топлива) каналам и представление этой информации на резервном пульте;
- контроль и представление информации о положении шести органов воздействия на реактивность, в том числе о конечных положениях органов АЗ1 и АЗ2 на индикаторах пульта оператора и резервного пульта, о конечных и промежуточных положениях органов АР и КО1–КО3 на индикаторах и указателях положения на пульте оператора, а также представление информации о конечных положениях всех органов на резервном пульте;
- контроль и представление информации о работе как отдельных блоков, так и комплекса аппаратуры в целом;
- представление информации (световой и звуковой) о причинах возникновения предупредительных и аварийных сигналов с фиксацией последовательности их появления;
- регистрацию и отображение контролируемых параметров и сигналов в рабочих станциях отображения и информационной поддержки.

4.2.2. Функции защиты и блокировок комплекса

Функция аварийной защиты реализуется по командам аварийной защиты путем обесточивания электромагнитных муфт сцепления в приводах органов АЗ, приводящего к сбросу органов в активную зону, и автоматического АР и КО.

Аппаратура комплекса обеспечивает формирование команд аварийной защиты по мажоритарной логике «2 из 3» для принудительного погружения приводов органов по параметрам, приведённым в табл. 4.1.

Также обеспечивается формирование команд аварийной защиты при нарушениях в системе электропитания, в том числе и при исчезновении входного электропитания, и при возникновении неисправностей в аппаратуре СУЗ.

Формирование команд аварийной защиты по решению оператора осуществляется при нажатии любой из двух кнопок «АЗ» на пульте оператора, кнопки «АЗ» на резервном пульте или в реакторном зале.

Защитное действие, инициированное сигналом «АЗ», производится из любого положения рабочих органов СУЗ до полного ввода органов АЗ1, АЗ2, АР и КО в активную зону.

Таблица 4.1

Предупредительные и аварийные технологические параметры, которые заложены в комплексе аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т

Параметр	Условия срабатывания	
	Предупредительной защиты (блокировки)	Аварийной защиты
Относительная физическая мощность	$\geq 1{,}1\ N_{зад}$*	$\geq 1{,}2\ N_{зад}$*
Период изменения относительной физической мощности	≤ 20 с	≤ 10 с
Температура воды на входе в активную зону	≥ 55 °С	≥ 60 °С
Перепад температуры на активной зоне	$\geq 9{,}5$ °С	≥ 10 °С
Уровень воды в бассейне реактора	$\leq 7{,}2$ м	$\leq 7{,}0$ м
Перепад давления на активной зоне реактора	≤ 30 кПа	≤ 27 кПа
Давление на напоре насоса аварийного охлаждения	≤ 133 кПа	≤ 118 кПа
Мощность дозы гамма-излучения на трубопроводе первого контура	≥ 400 мкР/с	≥ 500 мкР/с
Активность газов из-под крышки реактора	$\geq 4 \cdot 10^{11}$ Бк/м^3	$\geq 5 \cdot 10^{11}$ Бк/м^3

Примечание: *$N_{зад}$ – заданная оператором мощность.

Подтягивание муфт «РО АЗ» осуществляется нажатием кнопки «Деблокировка АЗ» на ПО4 при одновременном выполнении следующих условий:

- сигнал-первопричина АЗ отсутствует;
- сигналы блокировки отсутствуют;
- все рабочие органы находятся в нижних конечных положениях.

Выдача сигналов на срабатывание аварийной защиты по мощности обеспечена в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-3} А (по нейтронной составляющей тока ионизационной камеры) в зависимости от выбранной уставки. Комплекс обеспечивает срабатывание аварийной защиты вне зависимости от текущей уставки при превышении заранее заданного максимального уровня мощности (по нейтронной составляющей тока ионизационной камеры).

Выдача сигналов на срабатывание аварийной защиты по приведенной скорости увеличения нейтронного потока (величина уставки – 10 с) обеспечивается в диапазоне от $1 \cdot 10^{-13}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ А (по нейтронной составляющей тока ионизационной камеры).

В комплексе предусмотрено срабатывание блокировок на извлечение органов воздействия на реактивность (блокировок увеличения реактивности) при возникновении недопустимых отклонений от контролируемых параметров, указанных в табл. 4.1, при возникновении неисправностей в аппаратуре, отсутствии какого-либо функционального или логического блока на своем месте, а также при снижении степени резервирования электропитания (в случае выхода из строя одного блока питания стойки модулей безопасности).

Взвод аварийной защиты возможен лишь при нахождении всех органов АР и КО в нижних положениях. При взводе аварийной защиты срабатывание упомянутых выше блокировок приводит к запрету на подтягивание муфт «РО АЗ» и извлечение органов аварийной защиты.

В комплексе предусмотрено автоматическое опускание до своих конечных нижних положений регулирующего и компенсирующих органов, если органы аварийной защиты не находятся в верхнем положении.

В ручном, дистанционном режимах управления органами воздействия на реактивность в комплексе осуществлено шаговое, с длительностью шага не более 10 с (соответствует «весу» шага до 0,3 $\beta_{эф}$) введение положительной реактивности.

Также в двух режимах управления предусмотрена блокировка одновременного извлечения двух и более органов регулирования и компенсации.

4.2.3. Функции управления комплекса

Взвод органов АЗ осуществляется путем только ручного дистанционного управления, а ввод-вывод органов АР и КО осуществляется путем как ручного, так и дистанционного управления.

В состав комплекса входит тракт автоматического пуска и регулирования уровня относительной физической мощности, обеспечивающий формирование сигналов автоматического пуска реактора и перевода его с одного уровня мощности на другой воздействием на привод органа АР с автоматическим подключением рабочих органов КО1–КО3.

Автоматический пуск и регулирование обеспечивается оптимальным регулятором. Переход с одного стационарного уровня мощности на другой осуществляется по закону

$$N = N_0 \cdot e^{t/T} \quad \text{при} \quad N_0 < N < N_{зад}, \tag{4.1}$$

где T – заданный период увеличения мощности; N – текущее значение мощности; N_0 – исходный уровень мощности; $N_{зад}$ – заданный уровень мощности.

Рабочий период увеличения мощности равен 50 с. Значения уставок на заданный уровень мощности лежат в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-3} А (по нейтронной составляющей тока ионизационной камеры).

4.3. Состав комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т

Комплекс аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т состоит из двух комплектов: основной и резервный.

В состав основного комплекта входят:

- четыре подвески с первичными преобразователями плотности нейтронного потока (ионизационными камерами): три подвески ПИК 55 с ионизационными камерами деления с гамма-чувствительным объемом и одна подвеска ПИК 56 с токовой ионизационной камерой типа КНК-53;
- две приборных стойки (СП1 и СП2);
- комплект пульта оператора;
- две рабочих станции отображения (РСО1, РСО2), каждая из которых включает в себя:
  - процессорный блок (ПБ1, ПБ2);
  - источник бесперебойного питания (ИБП4, ИБП5);
  - монитор (М1, М2);
  - клавиатуру (К1, К2);
  - манипулятор мышь;
  - два преобразователя интерфейса (ПИ).

В состав стойки приборной СП1 входят:

- два блока основных «Мираж-МБ» (МБ1-1 (АЗ), МБ1-2 (АЗ));
- блок аппаратурный БА1-1, включающий в себя:
  - два блока реле (БР1-1, БР1-2);
  - три блока логики (БЛ1-1, БЛ1-2, БЛ1-3);
  - три сервоусилителя (СУ1-1 (АЗ1), СУ1-2 (КО1), СУ1-3 (КО2));
  - два блока диодно-резисторных (БДР1-1, БДР1-2);
- блок аппаратурный БА1-2, включающий в себя:
  - три блока сигнальной логики (БСЛ1–БСЛ3);
  - два блока питания (БП24 1-1, БП24 1-2);
  - блок контроля питания (БКП1);
  - источник бесперебойного питания (ИБП1).

В состав стойки приборной СП2 входят:

- два блока основных «Мираж-МБ» (МБ2-1 (АЗ), (МБ2-2 (АР));
- блок аппаратурный (БА2-1), включающий в себя:
  - два блока реле (БР2-1, БР2-2);
  - три блока логики (БЛ2-1, БЛ2-2, БЛ2-3);
  - три сервоусилителя (СУ2-1 (АЗ2), СУ2-2 (АР), СУ2-3 (КО3));
  - два блока диодно-резисторных (БДР2-1, БДР2-2);
  - два блока питания (БП24 2-1, БП24 2-2);
  - блок контроля питания (БКП2);
  - источник бесперебойного питания (ИБП2).

Внешний вид приборных стоек СП1 и СП2 показан на рис. 4.1.

В состав комплекта пульта оператора (ПО) входят:

- панель управления (ПУ);
- панель индикации ПИ1;
- модуль регистрации «Мираж-МР»;
- панель индикации ПИ2;
- панель индикации ПИ3.

Панель управления (ПУ) включает в себя:

- четыре выносных индикатора – задатчика мощности (ВИЗМ1–ВИЗМ4);
- кнопка «Проверка звука АС»;
- кнопка «Проверка звука ПС»;
- кнопка «Проверка звука УС»;
- кнопка «Снятие звука»;
- кнопка «Деблокировка сигнализации»;
- тумблер «Гашение индикации»;
- тумблер «Гашение сигнализации»;
- тумблер «Гашение УПЦ»;
- две кнопки для срабатывания аварийной защиты «Аварийная защита»;
- ключ «РО АР Автомат/Ручной» для выбора режима управления перемещением органа АР;
- тумблер выбора режима работы РО КО «РО КО1–КО3 Автомат/Ручной»;
- четыре ключа с нефиксируемыми положениями (с самовозвратом) «Перемещение органа» для извлечения или ввода органов АР и КО1–КО3;
- четыре тумблера для принудительного разрыва цепей питания электродвигателей: «Запрет извлечения АР», «Запрет извлечения КО1»–«Запрет извлечения КО3»;

- тумблер принудительного разрыва цепей питания муфт сцепления приводов АЗ;
- кнопка «Деблокировка АЗ»;
- кнопка «Взвод РО АЗ».

Панель индикации (ПИ1) включает в себя:

- четыре цифровых указателя положения (УПЦ) для представления информации о точных положениях (конечных и промежуточных) органов АР и КО1–КО3 в активной зоне, значения отображаются в мм;
- блок индикации для представления информации о конечных положениях органов АЗ1 и АЗ2;
- четыре узкопрофильных прибора, которые показывают относительный уровень мощности от четырех блоков «Мираж-МБ» основного комплекта;
- четыре узкопрофильных прибора, которые показывают период удвоения мощности от четырех блоков «Мираж-МБ» основного комплекта;
- три узкопрофильных прибора, которые показывают перепад давления на активной зоне от трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты;
- три узкопрофильных прибора, которые показывают давление на напоре насоса аварийного охлаждения от трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты.

Панель индикации (ПИ2) включает в себя:

- три блока световых сигнализаторов аварийной сигнализации (БСС2-1–БСС2-3);
- четыре блока световых сигнализаторов (предупредительной сигнализации БСС2-4–БСС2-7);
- узкопрофильный прибор, показывающий уровень воды в бассейне от третьего блока «Мираж-МБ» аварийной защиты;
- три узкопрофильных узкопрофильных прибора, показывающих температуру воды от трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты;
- три узкопрофильных прибора, отражающих разность температуры воды на входе и выходе из активной зоны от трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты;
- три узкопрофильных прибора, показывающих мощность дозы гамма-излучения на трубопроводе первого контура от трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты;
- три узкопрофильных прибора, показывающих активность газов в воздухе из-под крышки бассейна реактора от трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты.

Панель индикации (ПИ3) включает в себя:

- четыре блока световых сигнализаторов уведомительной сигнализации (БСС3-1–БСС3-4);
- два блока звуковых извещений (БЗИ);
- два блока-громкоговорителя (БГр1, БГр2).

В состав резервной части комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т входят:

- две подвески (ПИК 55 и ПИК 83) с первичными преобразователями плотности нейтронного потока (ионизационными камерами деления);
- стойка приборная (СП3);
- рабочая станция отображения (РСО3), включающая в себя:
  - процессорный блок (ПБ3);
  - источник бесперебойного питания (ИБП6);
  - монитор (М3);
  - клавиатуру (К3);
  - манипулятор «мышь»;

– преобразователь интерфейса ПИ.

В состав стойки приборной (СП3) входят:

- два блока основных «Мираж-МБ» (МБ3-1, МБ3-2);
- блок аппаратурный (БА3-1), включающий в себя:
  – блок индикации;
  – два узкопрофильных показывающих прибора, на которые выводятся сигналы мощности с блоков основных «Мираж-МБ» резервного комплекта;
  – узкопрофильный прибор, показывающий температуру воды от пятого блока «Мираж-МБ» резервного комплекта;
  – кнопку «Аварийная защита»;
- блок аппаратурный (БА3-2), включающий в себя:
  – четыре узкопрофильных прибора, которые показывают мощность дозы гамма-излучения от блоков «Мираж-МБ» резервного комплекта;
  – блок питания (БП24 3-1);
  – блок контроля питания (БКП3);
  – источник бесперебойного питания (ИБП3).

Внешний вид стойки приборной СП3 показан на рис. 4.1.

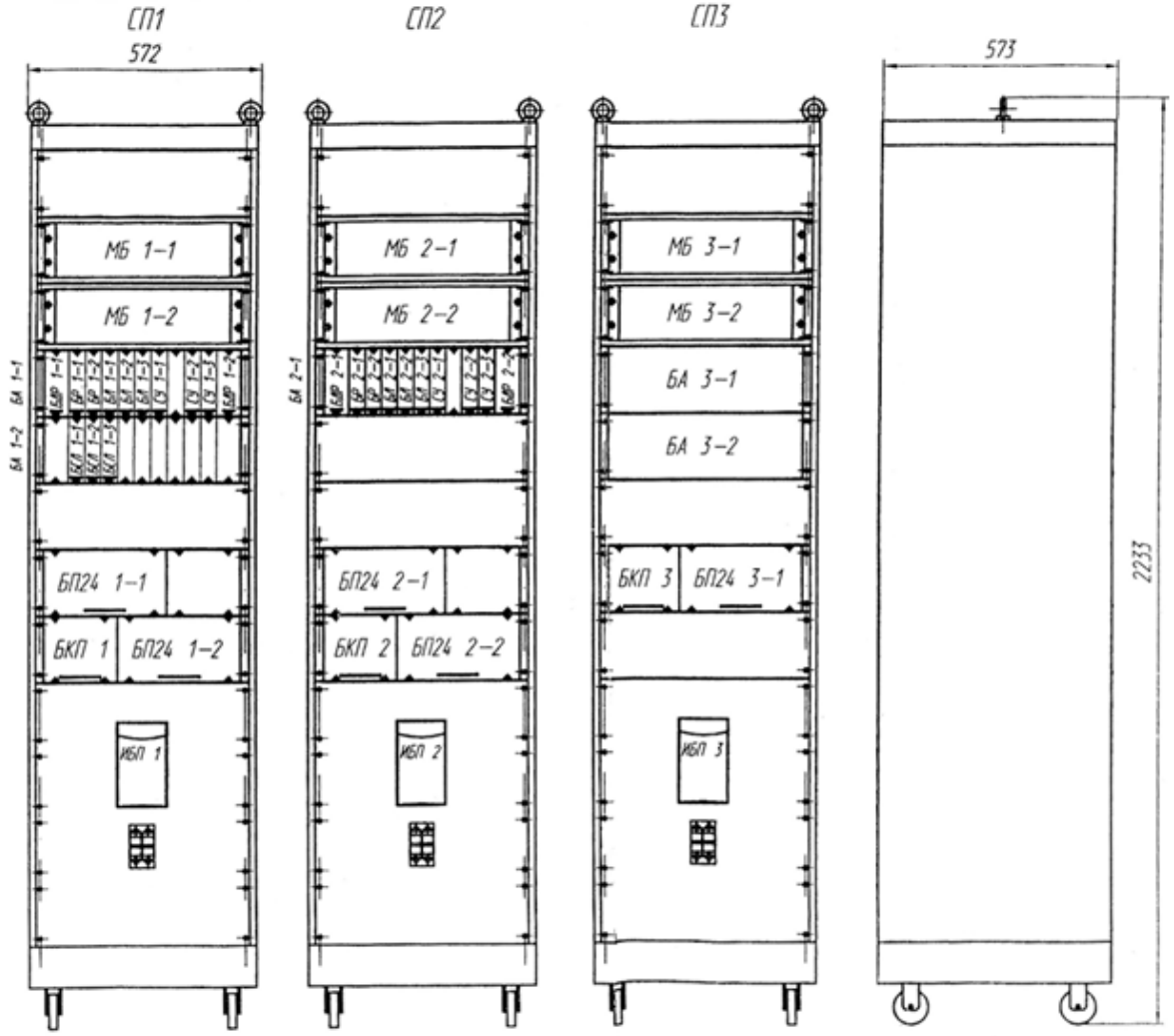

Рис. 4.1. Стойки приборные СУЗ реактора ИРТ-Т

4.4. Устройство и работа составных частей комплекса системы управления и защиты реактора ИРТ-Т

4.4.1. Блок основной «Мираж-МБ» СУЗ реактора ИРТ-Т

Блок основной «Мираж-МБ» представляет собой компьютерную систему, состоящую из связанных микропроцессорных блоков обработки и периферийного оборудования, которая управляется хранящимися внутри программами.

«Мираж-МБ» имеет блочно-модульную конструкцию. Представляет собой крейт с направляющими для установки до 14 сменных блоков. Электрически блоки соединены между собой через распределительную плату, на которой установлены ответные части разъемов блоков. К распределительной плате крепится панель индикации, сигнализации и клавиатуры (ПИСК), которая закрывается лицевой фальшпанелью.

С задней стороны блока основного «Мираж-МБ» расположены различные сменные блоки обработки сигналов. Изменение позиций установки данных блоков не допускается. Ниже перечислены сменные блоки обработки сигналов, входящие в состав блока основного «Мираж-МБ»:

- блок управляющего контроллера (БУК-02) – микропроцессорный блок обработки, предназначенный для выполнения следующих функций:
  - прием, нормализация и преобразование в цифровые коды сигналов от блоков ввода технологических параметров;
  - обработка информации в соответствии с заданными алгоритмами, формирование сигналов аварийной защиты, блокировок, сигнализации и автоматического управления физической мощностью;
  - обмен информацией с блоком вспомогательного контроллера (БВК-02), панелью индикации, сигнализации и клавиатуры и с выносным индикатором задатчика мощности (ВИЗМ) в соответствии с принятым протоколом обмена;
- блок вспомогательного контроллера (БВК-02) – микропроцессорный блок обработки, предназначенный для выполнения следующих функций:
  - получение от управляющего контроллера данных, их обработка в соответствии с заданными алгоритмами;
  - хранение архивных данных;
  - передача информации во внешние устройства (рабочие станции) по двум последовательным каналам связи в соответствии с принятыми протоколами;
- панель индикации, сигнализации и клавиатуры (ПИСК-01) представляет собой микропроцессорный блок обработки и обеспечивает:
  - ввод со встроенной клавиатуры и отображение на встроенном дисплее аварийных и предупредительных уставок;
  - отображение в цифровом виде измеряемых и вычисляемых величин;
  - индикацию сигналов световой аварийной, предупредительной и уведомительной сигнализаций при выходе контролируемых параметров за заданные уставки.

Следующие блоки являются периферийным оборудованием, используемым для ввода/вывода сигналов:

- блок аналоговой обработки сигналов ИК (БАО-05) управляется от БУК-02 и предназначен для приема сигналов от подвесок с ионизационной камерой деления с гамма-чувствительным объемом;
- блок усилителей тока (БУТ-02) управляется от БУК-02 и предназначен для приема сигналов от токовой ионизационной камеры;

- блок преобразователей сигналов термометров сопротивления БПТС-02 предназначен для приема сигналов от термопреобразователей сопротивления (ТС), используемых для контроля температуры;
- блок усилителей гальваноразвязанных (БУГ-02) управляется БУК-02 и предназначен для приема аналоговых сигналов (напряжений, тока) от приборов, которые измеряют технологические параметры;
- блок вывода дискретных сигналов (БДВ-02) управляется БУК-02 и предназначен для формирования и вывода во внешние цепи дискретных сигналов для блоков управления и сигнализации;
- блок ввода дискретных сигналов (БДС-02) управляется БУК-02 и предназначен для приема дискретных сигналов, которые формируют приборы измерения технологических параметров от устройств с потенциальным выходом или типа «сухой контакт» и обеспечивает гальваническую развязку сигналов;
- блок вывода аналоговых сигналов (БАВ-02) управляется БУК-02 и предназначен для формирования и выдачи во внешние цепи сигналов напряжений и тока на показывающие приборы для индикации основных контролируемых параметров. Кроме этого, БАВ-02 содержит канал формирования и выдачи во внешние цепи сигнала напряжения, который используется в качестве сигнала автоматического регулирования мощности;
- блок радиационного контроля (БРК-01) управляется БУК-02 и предназначен для приема сигналов от блоков детектирования (БД) активности теплоносителя первого контура и активности газов из-под крышки реактора ИРТ-Т;
- блок питания низкого напряжения (БПН-06) предназначен для преобразования напряжения сети постоянного тока номиналом 24 В ± 15 % в постоянное стабилизированное напряжение от + 5 до ± 15 В, необходимое для питания блоков «Мираж-МБ»;
- блок питания высокого напряжения (БПВ-06) предназначен для преобразования напряжения сети постоянного тока номиналом 24 В ± 15 % в постоянное регулируемое напряжение от 0 до +500 В, необходимое для питания блоков подвески ИК.

На передней панели «ПИСК» расположены светодиодное табло, жидкокристаллический индикатор и клавиатура. Светодиодное табло разделено на три зоны:

- аварийной сигнализации (АС);
- предупредительной сигнализации (ПС);
- уведомительной сигнализации (УС).

Аварийная и предупредительная сигнализации срабатывают при отклонении от нормальных значений следующих параметров:

- «N» – физическая мощность (нейтронная составляющая тока ионизационной камеры);
- «A» – приведенная скорость изменения физической мощности (период);
- «P» – перепад давления на активной зоне;
- «$H_б$» – уровень воды в баке реактора;
- «$P_{НАО}$» – давление воды на напоре НАО;
- «$T_{вх}$» – температура воды на входе в активную зону;
- «ΔT» – перепад температур воды на активной зоне;
- «$D_т$» – мощность дозы γ-излучения на всасывающем трубопроводе первого контура;
- «$D_к$» – β-активность газов в воздухе, удаляемом из-под крышки реактора;
- «Отказ» – отказ в блоке «Мираж-МБ».

4.4.2. Блок аппаратурный СУЗ реактора ИРТ-Т

Блок аппаратурный (БА) предназначен для логической обработки сигналов и организации управления РО. Представляет собой блочный каркас конструкции «Вишня» и состоит из трех блоков логики, двух блоков реле, двух блоков диодно-резисторных и трех сервоусилителя (рис. 4.1). Подробно его функции описаны ниже, в пп. 4.4.3–4.4.11.

4.4.3. Блок логики СУЗ реактора ИРТ-Т

Блок логики предназначен для логической обработки входных дискретных сигналов и выдачи дискретного сигнала для последующего формирования команд блокировок или аварийной защиты.

Логические входные сигналы блока логики определены следующим образом:

- «норма» или «исправно» – от 0 до + 3,0 В – «логический нуль»;
- «авария» или «отказ» – от + 6,0 до + 40,0 В – «логическая единица».

Входные сигналы блока логики разделены на две части: к первой части отнесены так называемые групповые сигналы по три сигнала в каждой группе, логическая обработка сигналов каждой группы проводится по логике «2 из 3»; ко второй части – так называемые единичные сигналы, логическая обработка которых производится по логике «ИЛИ».

Выходной сигнал снимается с открытого стока выходного транзистора. Логика обработки входных сигналов следующая. «Выходной транзистор» закрыт, если хотя бы два сигнала в любой из девяти групп имеют значение «лог.1» (логика «2 из 3-х») или любой из семи единичных сигналов имеет значение «лог.1» (логика «ИЛИ»)».

Контакты разъема с 1-го по 27-й включительно предназначены для приема девяти групп сигналов, обработка которых производится по мажоритарной логике «2 из 3».

Контакты с 28-го по 34-й предназначены для приема единичных логических сигналов второй группы. Выходной сигнал снимается с контакта 28-го разъема «Выход».

На лицевой панели блока логики расположен светодиодный индикатор зеленого свечения. Горящий индикатор свидетельствует об открытом состоянии выходного транзистора и протекании через него тока.

Выходной сигнал («Выход») блока логики определен следующим образом. Открытое состояние выходного транзистора соответствует отсутствию команды «АЗ», закрытое – наличию команды «АЗ».

Также на лицевой панели расположена кнопка «АОС», нажатие которой переводит выходной транзистор в закрытое состояние, даже в условиях отсутствия входных сигналов типа «отказ» или «неисправно». Кнопка используется для индивидуального сброса органа аварийной защиты. Подробнее об этой кнопки сказано ниже в подразделе «Блок реле СУЗ реактора ИРТ-Т».

Формирование блоком логики команды на аварийную защиту или команды блокировки определяется блокоместом, на котором установлен блок логики.

Для формирования команд на аварийную защиту предназначены блоки логики БЛ1-1, БЛ1-2, БЛ2-1, БЛ2-2.

Блоки логики БЛ1-1 и БЛ1-2 установлены в БА1-1 стойки СП1 на четвертом и пятом (считая слева направо) блокоместах; блоки логики БЛ2-1 и БЛ2-2 установлены в БА2-1 стойки СП2 также на четвертом и пятом блокоместах.

Входными сигналами каждого блока логики являются следующие:

- «АЗМС», «АЗТПТ», «АЗДП», «АЗУБ», «АЗАО», «АЗПД» с трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты, заведены на группы входов «2 из 3»;
- «АПНАО» (две цепи), «АПС», «АРП», «АОП», заведены на одиночные входы;
- аварийные сигналы «КАЗПО», «КАЗРП», «КАЗРЗ», заведены на блоки реле (см. ниже) и на блоки логики не поступают.

Для формирования команды «ПЗ», блокирующей извлечение органов АЗ, АР и КО, предназначены блоки логики БЛ1-3 и БЛ2-3, установленные, соответственно, на шестом блокоместе аппаратурного блока БА1-1 стойки СП1 и на шестом блокоместе аппаратурного блока БА1-1 стойки СП2.

Входными сигналами этих блоков являются следующие:

- «Блокировка А» с трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты, заведены на одиночные входы;
- «Блокировка П» с трех блоков «Мираж-МБ» аварийной защиты, заведены на группу входов «2 из 3»;
- «ОВБ», «ОФ», «ОДИБП», «ОПС», «ОРП», заведены на одиночные входы.

Недостающие одиночные входы получаются из входов «2 из 3» путём неподключения одного из трёх входов, тогда два оставшихся ведут себя так же, как одиночные входы.

Выходной сигнал с БЛ1-3 «Запрет взвода АЗ» с контакта «Диагн» поступает на два блока реле БР1-1 и БР1-2, а с блока логики БЛ2-3 (также с контакта «Диагн») – на блоки реле БР2-1 и БР2-2.

4.4.4. Блок реле СУЗ реактора ИРТ-Т

Блок реле (БР) представляет собой унифицированный в рамках данной СУЗ блок, который используется для управления электромагнитными муфтами сцепления (ЭМС), установленными в приводах рабочих органов АЗ, и для организации блокировки извлечения органов АЗ.

Основными функциями комплекта блоков реле, установленных в аппаратурных блоках БА1-1 и БА2-1, являются:

- деблокировка защиты и разрешение взвода органов АЗ;
- фиксация окончания взвода защиты и разрешения извлечения рабочих органов АР и КО;
- доведение начавшегося защитного действия до конца;
- формирование команды на аварийное опускание рабочих органов АР и КО при сходе с верхнего конечного положения хотя бы одного органа АЗ при срабатывании аварийной защиты;
- обеспечение индивидуального сброса рабочих органов АЗ1, АЗ2 при экспериментах по определению эффективности рабочих органов методом сброса.

На контакты разъема блока реле СУЗ реактора ИРТ-Т поступают сигналы:

- «ПРА» – сигнал с ключа выбора режима работы – «РО АР Автомат/Ручной», находящегося на пульте оператора, «лог.1» = «Ручной», «лог.0» = «Автомат»;
- «Блокировка 1» – «Блокировка 4» – сигналы запрета деблокировки, «Блокировка 1» подключён к выходу «Диагн» блока логики блокировки, «Блокировка 2» – «Блокировка 4» – резервные, всегда «лог.0»;
- «Кнопка деблокировки» – сигнал от кнопки «Деблокировка АЗ», находящейся на пульте оператора;

- «Сброс АЗ1» – «Сброс АЗ6» – сигналы сброса АЗ, на входы «Сброс АЗ1» – «Сброс АЗ3» заведены сигналы «КАЗПО», «КАЗРП», «КАЗРЗ» с кнопок сброса АЗ, входы «Сброс АЗ4» – «Сброс АЗ6» – резервные, всегда «лог.0»;
- «БАОС» – сигнал, запрещающий отпускание муфты и выдачу сигнала «АОС» при сходе хотя бы одного из органов АЗ с верхнего положения, действует только при нажатой кнопке «БАОС» на передней панели блока, подробнее описан ниже.

В свою очередь блок реле СУЗ реактора ИРТ-Т формирует следующие сигналы:

- «АОС» – сигнал аварийного опускания РО АР и КО, формируется при сходе хотя бы одного из органов АЗ с верхнего положения;
- «Гот. к. взв.» – сигнал о готовности АЗ к взводу;
- «РИС Р» – сигнал о допустимости извлечения органов АР и КО и готовности АЗ к срабатыванию.

Сигнал «Гот. к. взв.» свидетельствует о возможности взвода АЗ и заводится на светодиод «Готовность РО АЗ к взводу» на пульте оператора. Этот сигнал одновременно является для блока реле входным.

На лицевой панели блока установлен светодиодный индикатор для обеспечения визуального контроля замкнутого состояния цепей питания ЭМС, а также кнопка «БАОС», используемая для обеспечения режима индивидуального сброса рабочего органа.

Функционирование блока реле для приводов органов АЗ1 и АЗ2

В исходном состоянии все органы находятся в конечных нижних положениях, переключатель режима работы «РО АР Автомат/Ручной» в режиме «Ручной», отсутствуют предупредительные и аварийные сигналы, на входах «ПРА», «Кн. Деблокировки», «Гот. к. взв.», «БАОС» присутствует «лог.1», а на «Блокировка 1»–«Блокировка 4», «Сброс АЗ1»–«Сброс АЗ6» присутствует «лог.0»

Даже при отсутствии сигналов аварийной защиты через выходные транзисторы в блоках логики ток не течет и, соответственно, сигнал «Удержание» имеет значение «лог.1».

При нажатии кнопки «Деблокировка АЗ» на всех входах элемента «ИЛИ» оказывается «лог.0», в результате чего включаются силовые реле и возникает «лог.0» на выводе «Гот. к. взв.». Так как силовые транзисторы блоков логики открыты, цепь питания муфты оказывается замкнутой (рис. 4.2) и в ней возникает ток, достаточный для открытия контакта «Диагн» блоков логики. На вход «Удержание» блока реле поступает «лог.0». Сигналы «Гот. к. взв.» и «Удержание» собираются по сигналу «ИЛИ» и создают новую цепь включения силовых реле. Теперь кнопка «Деблокировка АЗ» может быть отпущена. Муфты оказываются в подтянутом состоянии и, таким образом, деблокировка аварийной защиты выполнена.

После деблокировки аварийной защиты на пульте оператора по сигналу «Гот. к. взв.» с блоков реле загорается светодиод «Готовность РО АЗ к взводу». Одновременно этот же сигнал поступает на вход управления блока диодно-резисторного и подаётся питание на обмотки возбуждения электродвигателей приводов РО АЗ. Далее необходимо зажать кнопку «Взвод РО АЗ» для взвода органов АЗ1 и АЗ2 в конечные верхние положения. По окончании взвода органов АЗ1 и АЗ2 в конечные верхние положения пропадает сигнал «Гот. к. взв.», гаснет светодиод «Готовность РО АЗ к взводу» и обесточиваются обмотки возбуждения электродвигателей приводов РО АЗ.

Схема соединения блоков реле и блоков логики, обеспечивающая индивидуальный сброс органов АЗ1 и АЗ2, представлена на рис. 4.3.

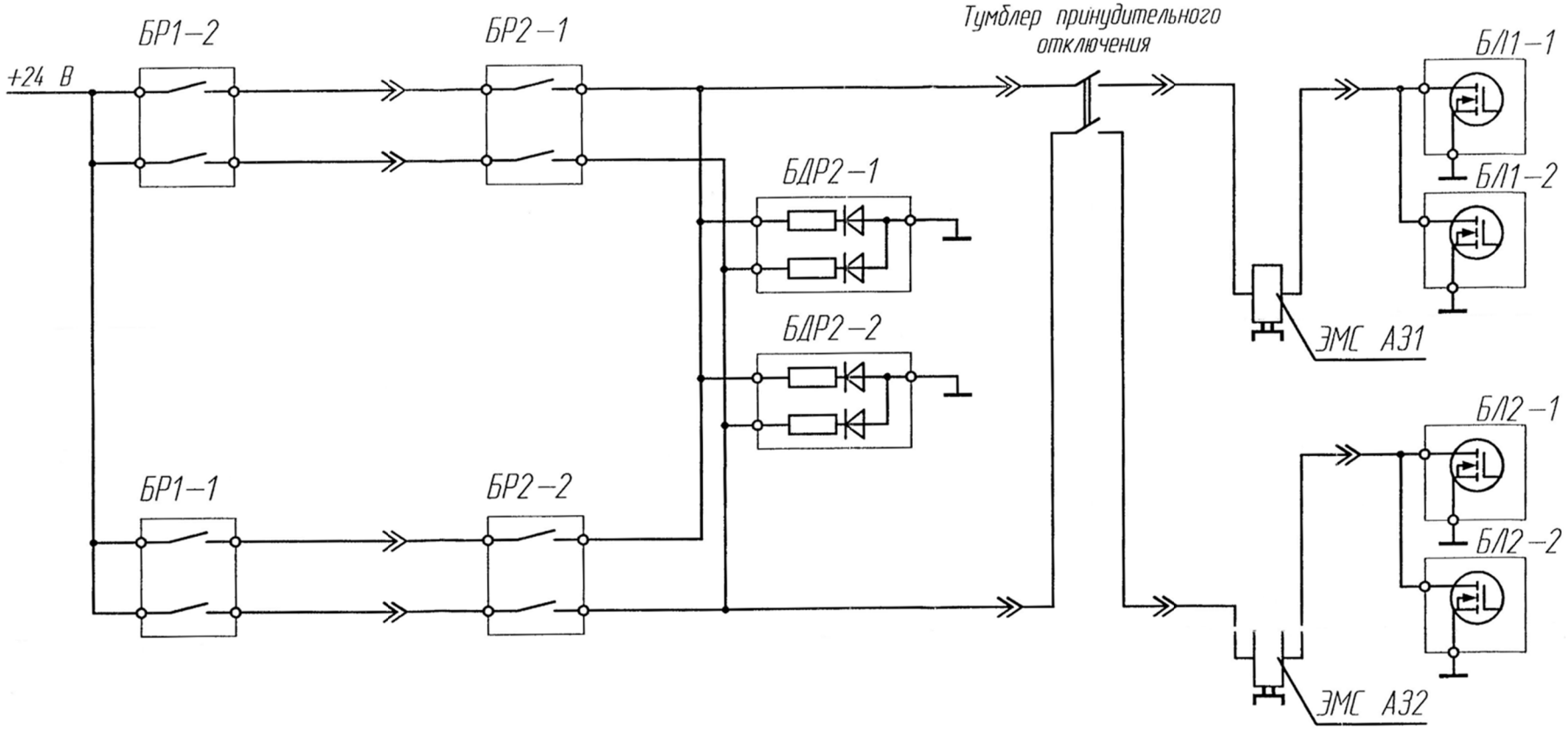

Рис. 4.2. Схема управления электромагнитными муфтами приводов А31 и А32 СУЗ реактора ИРТ-Т

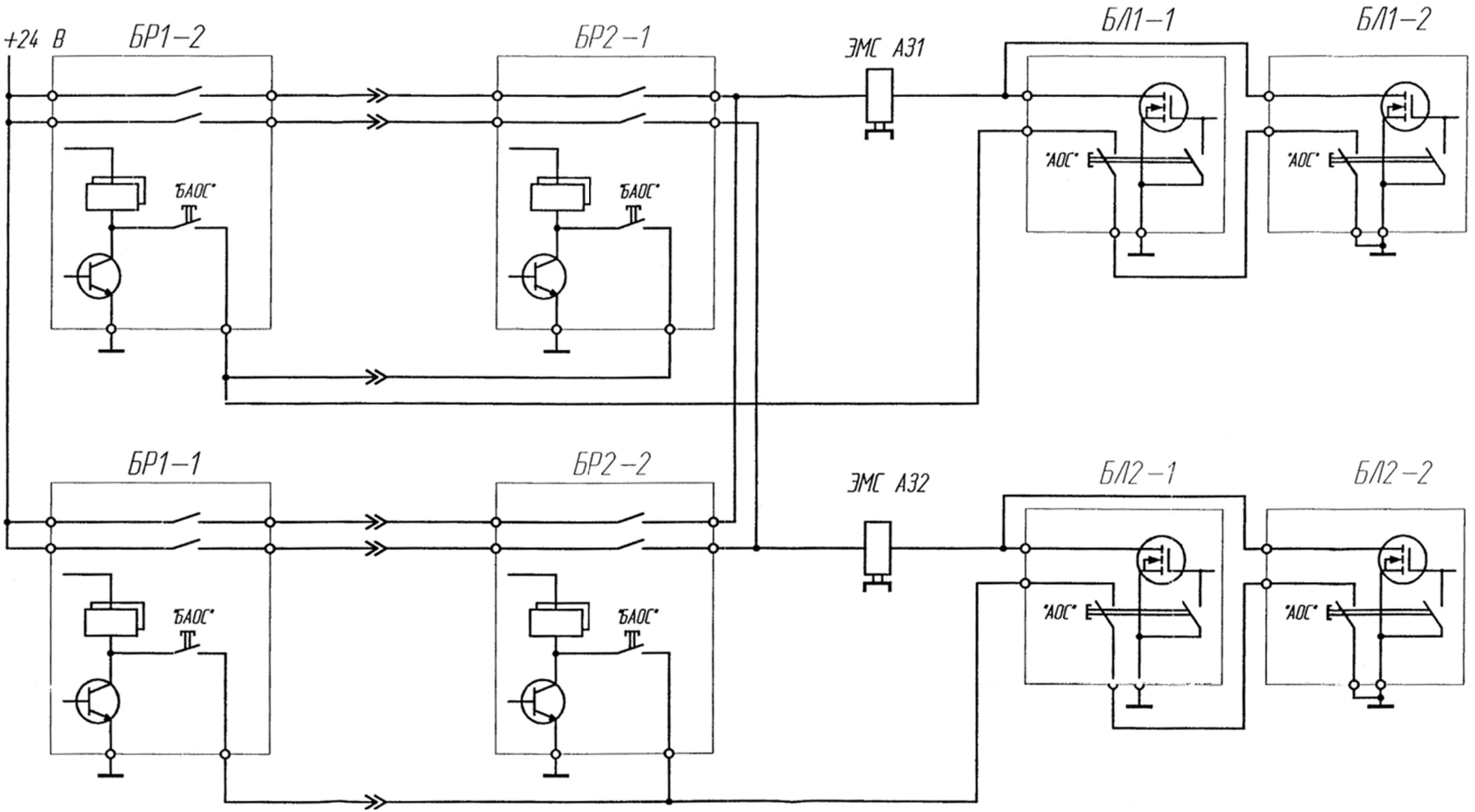

Рис. 4.3. Схема обеспечения раздельного размыкания ЭМС А31 и ЭМС А32 СУЗ реактора ИРТ-Т

После взвода органов АЗ в конечные верхние положения можно осуществить индивидуальный сброс каждого стержня АЗ. Для сброса органа АЗ1 необходимо нажать кнопки «БАОС» на блоке реле БР1-2 и на блоке реле БР2-1, а также кнопки «АОС» на блоках логики БЛ1-1 и БЛ1-2.

Нажатие кнопок «БАОС» в блоках реле БР1-2 и БР2-1 блокирует отключение в них реле, обеспечивающих подачу питания на электромагнитную муфту привода органа АЗ2 и выдачу сигнала на опускание РО АР и КО, а нажатие кнопок «АОС» на блоках логики БЛ1-1 и БЛ1-2 приводит к закрытию выходных транзисторов в этих блоках логики и размыканию цепей питания электромагнитной муфты привода органа АЗ1.

Удержание всех четырех кнопок следует выполнять до окончания эксперимента по определению эффективности органа по методу «сброса».

Отпускание любой из этих кнопок приводит к сбросу другого органа АЗ – АЗ2.

Для сброса органа АЗ2 необходимо нажать кнопки «БАОС» на блоке реле БР1-1 и на блоке реле БР2-2, а также кнопки «АОС» на блоках логики БЛ2-1 и БЛ2-2.

4.4.5. Блок диодно-резисторный СУЗ реактора ИРТ-Т

Блок диодно-резисторный (БДР) предназначен для обеспечения выполнения следующих вспомогательных функций:

- резервирование необходимого для соответствующих потребителей электропитания по постоянному току номиналом плюс 24 В, минус 24 В, получаемого от двух источников питания;
- шунтирование выбросов напряжения, возникающих при выключении электромагнитных муфт сцепления, установленных в приводах органов АЗ;
- включение и отключение питания обмоток возбуждения электродвигателей приводов РО;
- включение и отключение питания показывающих приборов на пульте оператора.

Для резервирования электропитания в БДР установлены пары диодов, на которые поступают напряжения с двух блоков питания БП24. Резервированные напряжения плюс и минус 24 В поступают с БДР для внутреннего потребления в блоке аппаратурном, в котором он установлен. Эти напряжения также подаются на пульт оператора по двум линиям. Одна линия предназначена для питания расположенных на пульте компонентов, работающих только с той приборной стойкой, в которой находится данный БДР. Другая линия питает компоненты на пульте, общие для обеих стоек. Каждая из линий защищена последовательно соединёнными резистором и предохранителем (резистор 4 Ом, 8 Вт и предохранитель 1 А на первой линии, резистор 2 Ом, 16 Вт и предохранитель 2 А на второй линии). При коротком замыкании на одной из линий на другой линии и на внутренних потребителях аппаратурного блока напряжение остаётся. В каждый аппаратурный блок устанавливается по два блока БДР, соединённых параллельно.

Шунтирование выбросов напряжения обеспечивается диодно-резисторной цепочкой, подключаемой параллельно обмотке электромагнитной муфты.

4.4.6. Сервоусилитель СУЗ реактора ИРТ-Т

Сервоусилитель (СУ) является блоком, используемым для управления якорной обмоткой электродвигателя привода рабочего органа.

Положительное напряжение до 9 В на якорной обмотке соответствует движению РО вверх, отрицательное до 9 В – вниз. Чем выше по модулю напряжение, подаваемое на якорную обмотку электродвигателя привода рабочего органа, тем выше скорость поднятия или опускания рабочего органа.

Логическая схема преобразует входные логические сигналы, выбирая режим работы СУ, и формирует выходные логические сигналы управления приводами.

Режимы работы СУ:

- **Режим А.** Пропорциональное управление между входами «АУ», «УБЗ1», «УБЗ2», «УБЗ3». Напряжения, поступающие с этих входов, усредняются с помощью резисторов. В цепях входов «УБЗ1», «УБЗ2», «УБЗ3» стоят диоды, благодаря чему при управлении по этим входам выходное напряжение СУ может быть только отрицательным. Выходное напряжение СУ пропорционально входному (усреднённому с «АУ», «УБЗ1», «УБЗ2», «УБЗ3») и совпадает с ним по знаку. Чувствительность регулируется подстроечным резистором «↕», выведенным на переднюю панель, и может при этом контролироваться вольтметром, подсоединённым к гнёздам «↕» и «0».

Этот режим включается при наличии «лог.0» на входе «ПРА», то есть режим А управляет реактором в автоматическом режиме.

- **Режим Б.** Подача заданного положительного напряжения. Выходное напряжение регулируется подстроечным резистором «↑», выведенным на переднюю панель, и может при этом контролироваться вольтметром, подсоединённым к гнёздам «↑» и «0».

Этот режим включается при наличии «лог.0» на входе «ИС». Включение происходит только лишь на определённое время – 3…5 с, после чего режим автоматически отключается.

- **Режим В.** Подача заданного отрицательного напряжения. Выходное напряжение регулируется подстроечным резистром «↓», выведенным на переднюю панель, и может при этом контролироваться вольтметром, подсоединённым к гнёздам «↓» и «0».

Этот режим включается при наличии «лог.0» на входе «ОС», а также подачей «лог.0» на вход «АК80», при этом происходит запоминание включения режима на имеющемся в СУ триггере. Для отключения режима в таком случае нужно подать «лог.0» на вход «АК50».

- **Режим Г.** Подача максимально возможного по модулю отрицательного напряжения.

Этот режим включается при наличии «лог.1» на входе «АОС» и имеет приоритет перед всеми остальными режимами.

«Лог.0» на входе «ВК» означает достижение РО верхнего конечного положения и также индицируется светодиодом «ВК» на передней панели блока.

Во всех режимах наличие «лог.0» на входе «ВК» блокирует возможность подачи положительного выходного напряжения.

В режиме Б напряжение более чем 1,5 В на линии «КИС» блокирует возможность подачи положительного выходного напряжения.

Линия «КИС» предназначена для ограничения количества одновременно извлекаемых РО. Все СУ соединены с данной линией. Отсюда подается напряжение на общий провод, который соединен с нагрузочным резистором, установленным в СУ между выводами «лог.1» и «Блокир.». Когда СУ формирует положительное выходное напряжение, он также подает ток линии «КИС». Когда линии «КИС» одновременно подают ток больше одного сервоусилителя, то напряжение на линии превышает лимит и извлечение РО блокируется.

Для блокировки извлечения РО при срабатывании предупредительной защиты нагрузочный резистор линии «КИС» на общий провод отключается и напряжение на линии возрастает за счёт резистора СУ между выводом «лог.1» и питанием 9 В.

«Лог. 0» на входе «НК» означает достижение РО нижнего конечного положения и также индицируется светодиодом «НК» на передней панели блока.

Наличие «лог.0» на входе «НК» блокирует возможность подачи отрицательного выходного напряжения.

4.4.7. Блок питания 24 СУЗ реактора ИРТ-Т

Блок питания 24 (БП24) предназначен для обеспечения электропитанием всех функциональных блоков аппаратуры СУЗ.

Функционально блок БП24 состоит из двух мостовых выпрямителей на напряжения плюс 24 В, минус 24 В и плюс 9 В. Каждый выпрямитель имеет трансформатор и емкостный фильтр.

Наличие выходных напряжений индуцируется светодиодом, установленным на лицевой панели. Он горит только при наличии всех выходных напряжений и не горит при отсутствии хотя бы одного. Также имеется электронное реле контроля выходных напряжений. У него есть пять равнозначных сухих контактов контроля, из них два соединены выводом «минус» с общим проводом. Каждый из них замкнут при наличии всех выходных напряжений и разомкнут при отсутствии хотя бы одного из них.

В блоке находится также промежуточное электронное реле, предназначенное для приёма и размножения сигнала об отказе блока БП24, расположенного в другой приборной стойке.

Нормально-разомкнутые контакты этих реле используются для обеспечения контроля работоспособности блока БП24 в составе всей системы электропитания.

4.4.8. Блок контроля питания СУЗ реактора ИРТ-Т

Блок контроля питания (БКП) предназначен для контроля наличия напряжения на каждом из двух фидеров, на выходе источника бесперебойного питания, переключения питания потребителей, источника бесперебойного питания с «основного» фидера на резервный фидер при отсутствии напряжения на «основном» фидере и обратно – на «основной» при восстановлении напряжения на основном фидере.

В составе блока БКП имеется три электронных реле, нормально-разомкнутые контакты которых используются для обеспечения контроля наличия напряжений на обоих фидерах и на выходе источника бесперебойного питания с целью формирования сигналов неисправностей в системе электропитания. В блоке имеется также два

промежуточных электронных реле. Одно из них предназначено для приёма и размножения сигнала об отказе источника бесперебойного питания, расположенного в другой стойке, другое – резервное.

Блоки БКП входят в состав всех приборных стоек, при этом внешнее электропитание 220 В, 50 Гц по фидеру 1 и фидеру 2 подводится к приборным стойкам таким образом, что в стойке СП1 и стойке СП3 (резервном пульте) «основным» фидером является фидер 1, а «резервным» – фидер 2. В стойке СП2 «основным» фидером является фидер 2, а «резервным» – фидер 1.

4.4.9. Аппаратура сигнализации СУЗ реактора ИРТ-Т

Аппаратура сигнализации состоит из блока аппаратурного (БА1-1) и панелей индикации (ПИ2 и ПИ3), предназначенных для фиксации и аудиовизуализации срабатываний логических устройств (обусловленных как отклонениями в работе ядерного реактора, так и неисправностями в собственно аппаратуре СУЗ), а также для фиксации и аудиовизуализации как внешних команд, требующих срабатывания аварийной защиты, так и ошибочных действий оператора.

Панель индикации ПИ2 предназначена для фиксации и визуализации аварийных и предупредительных сигналов. Панель индикации ПИ3 – для фиксации и визуализации уведомительных сигналов и выдачи звуковых сигналов. Блок аппаратурный БА1-1 – для сбора сигналов с трёх блоков основных «Мираж-МБ».

Выходные сигналы блоков сигнализации разбиты на три группы:

- аварийные – семисегментные одноразрядные индикаторы, закрытые, вместе с шильдиками, светофильтрами красного цвета; прерывистый звуковой сигнал частотой около 800 Гц;
- предупредительные – семисегментные одноразрядные индикаторы, закрытые, вместе с шильдиками, светофильтрами желтого цвета; прерывистый звуковой сигнал частотой около 500 Гц;
- уведомительные – семисегментные одноразрядные индикаторы, закрытые, вместе с шильдиками, светофильтрами зеленого цвета; прерывистый звуковой сигнал частотой около 300 Гц.

Ряд сигналов, являющихся входными для аппаратуры сигнализации, до попадания на блоки световых сигнализаторов проходят обработку в блоках сигнальной логики БСЛ и модуле регистрации «Мираж-МР». Другие сигналы такой обработке не подвергаются и поступают непосредственно на блоки БСС.

Блок звуковых извещений БЗИ представляет собой три управляемых генератора, работающих на усилитель мощности. Управление генераторами осуществляется по шинам «Звук АС», «Звук ПС», «Звук УС» и по входу «Съем звука».

Дополнительными блоками, обеспечивающими обработку и преобразование входных сигналов, являются три блока сигнальной логики – БСЛ1–БСЛ3, установленные в блоке аппаратурном БА1-1.

БСЛ содержит:

- семь логических элементов «2 из 3»;
- логический элемент «4ИЛИ»;
- логический элемент «3ИЛИ».

Входными сигналами блоков БСЛ являются группы по три одноимённых аварийных или предупредительных сигнала, поступающих с трёх блоков аварийной защиты «Мираж-МБ». БСЛ по каждой такой группе выполняет логику «2 из 3» или «ИЛИ» в соответствии с описанием сигналов. Результаты логической обработки поступают на блоки БСС.

Обрабатываемыми сигналами блоков сигнальной логики по мажоритарной логике «2 из 3» являются:

- БСЛ1 – «АЗМ», «АЗС», «АЗТ», «АЗПТ», «АЗД1», «АЗПД»;
- БСЛ2 – «АЗАГ», «АЗУБ», «АЗАО», «ПМ», «ПС», «ППД»;
- БСЛ3 – «ПТ», «ППТ», «ПД1», «ПАГ», «ПУБ», «ПАО», «НСМ».

Обрабатываемыми сигналами блоков БСЛ по логике «ИЛИ» являются:

- БСЛ1 – «БПМ», «АПНАО»;
- БСЛ2 – «БАМ»;
- БСЛ3 – «УБД».

Ещё одним дополнительным блоком, обеспечивающим обработку и преобразование входных сигналов, является модуль регистрации «Мираж-МР». На него поступают все предупредительные и уведомительные сигналы, получаемые из других систем, где они проходят гальваническую развязку и выводятся из него на БСС. Внутренние сигналы СУЗ заводятся на входы модуля «Мираж-МР» и БСС параллельно без гальванической развязки.

Входными сигналами БСС являются:

- БСС2-1 – «АЗ», «АЗМ», «АЗС», «АЗТ», «АЗПД»;
- БСС2-2 – «АЗПТ», «АЗД1», «АЗАГ», «АЗУБ», «АЗАО», «АПНАО»;
- БСС2-3 – «АПС», «АРП», «АОП», «КАЗПО», «КАЗРП», «КАЗРЗ»;
- БСС2-4 – «ПЗ», «ПМ», «ПС», «ПТ», «ППД»;
- БСС2-5 – «ППТ», «ПД1», «ПАГ», «ПУБ», «ПАО», «БАМ»;
- БСС2-6 – «УБД», «НСМ», «ОФ», «ОИБП», «ОПС»;
- БСС2-7 – «РОМ», «ОАР», «ОВБ», «ОРП», «ОСВ», «П1К»;
- БСС3-1 – «БПМ»;
- БСС3-2 – «У2К», «ОВГ», «ОДНВ», «О110», «ВУВБ», «ВП1»;
- БСС3-3 – «ВП2», «ВПЗЕ», «ВПТО», «У1КЗ», «У2КЗ», «УРФ».

Незадействованные входы БСС и БСС3-4 являются резервными. В аппаратурных блоках предусмотрены разъемы для входных сигналов, которые можно будет подать на эти резервные разъемы. Необходимость использования этих резервных сигналов может быть определена в процессе эксплуатации изделия.

4.4.10. Указатель положения цифровой СУЗ реактора ИРТ-Т

Указатель положения цифровой (УПЦ) предназначен для представления в цифровой и аналоговой форме информации о положении ротора сельсина и связанного с ним органа регулирования.

УПЦ обеспечивает:

- отображение положения органа на четырёхзначном семисегментном индикаторе в пределах от 0 до 8191;
- дублирование информации, представленной на семисегментном индикаторе, в аналоговой форме в виде светящегося столбика;

- индикацию срабатывания конечных выключателей сервоприводов с использованием светодиодов;
- отображение направления перемещения органа светодиодами;
- передачу во внешние цепи информации о положении органа, состоянии конечных выключателей и перемещении РО с использованием последовательного интерфейса.

УПЦ работает в комплекте с сельсином типа БД 404. Можно сказать, что УПЦ представляет собой функциональный эквивалент сельсина-приёмника и обеспечивает слежение за изменением фазового сдвига сельсина датчика в пределах одного или многих оборотов его вала, в зависимости от установок микропереключателей.

Наиболее сложной частью прибора является схема слежения за фазовым сдвигом между однофазной и трёхфазной обмотками сельсина. Принцип преобразования основан на жёсткой связи между положением РО и углом поворота вала сельсина. Изменение угла поворота сельсина приводит к относительному фазовому сдвигу сигналов на его однофазной и трёхфазной обмотках. Фазовый сдвиг преобразуется в двоичный и двоично-десятичный числовые коды. Полученное число также с помощью широтно-импульсного ЦАП преобразуется в аналоговый сигнал и заводится на аналоговый индикатор в виде светодиодного столбика. Светящийся столбик состоит из 14 светодиодов.

Полный ход РО – от 0 до 81,91 мм, перемещение РО на один оборот сельсина – 0,40…40,96 мм. Длина соединительной линии между УПЦ и сельсином не более 1 км.

На передней панели УПЦ расположены:

- четыре семисегментных индикатора;
- 14 светодиодов аналогового индикатора;
- индикаторы срабатывания верхнего и нижнего конечных выключателей;
- индикаторы направления перемещения РО;
- кнопка ручной установки показаний «РУ»;
- кнопка запрета обработки сигналов конечных выключателей «ОК»;
- шлиц подстроечного резистора для выставления нуля «0».

В задней части УПЦ расположены микропереключатели для установки параметров привода.

4.4.11. Выносной индикатор-задатчик мощности СУЗ реактора ИРТ-Т

Выносной индикатор-задатчик мощности (ВИЗМ) предназначен для предоставления оператору возможности задания мощности 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. Если заданные на переключателях цифры обозначить через A, B, C, D, считая слева направо, то отношение установленной и номинальной мощностей равно:

$$(0{,}1\cdot A + 0{,}01\cdot B + 0{,}001\cdot C)\cdot 10^{-D}. \qquad (4.2)$$

Для индикации отношения измеренной и установленной мощностей используется линейная шкала из 160 светодиодов. Диапазон от 10^{-6} до 1,25. В диапазоне от 10^{-6} до 0,9 – шкала логарифмическая, и на этот участок выделено 90 светодиодов. В диапазоне от 0,9 до 1,25 на 70 светодиодах шкала линейная. На шкале зажигается

один светодиод, количество различимых уровней составляет 160. Погрешность отсчёта при этом не превышает 0,32 % от шкалы.

Обмен информацией между блоком управляющего контроллера, который находится в составе блока основного «Мираж-МБ», и ВИЗМ (рис. 4.4) производится по последовательному каналу со следующими характеристиками:

- тип интерфейса: RS 485;
- режим работы: полудуплексный;
- скорость передачи данных: 250 Кбит/с.

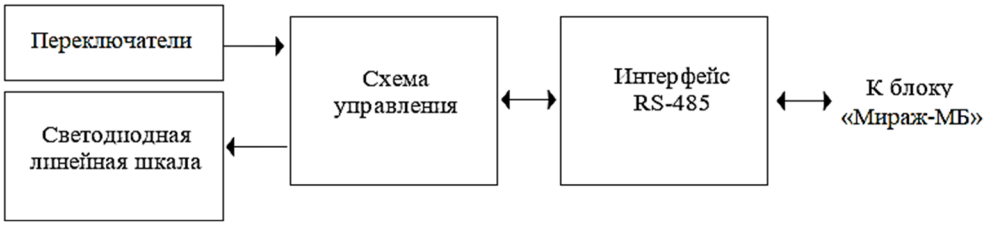

Рис. 4.4. Структурная схема ВИЗМ СУЗ реактора ИРТ-Т

4.5. Устройство и работа комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т

4.5.1. Реализация информационных функций СУЗ реактора ИРТ-Т

Комплекс аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т обеспечивает:

- контроль, регистрацию и выдачу на показывающие приборы информации о параметрах в соответствии с табл. 4.1;
- контроль промежуточных и конечных положений органов КО, АР;
- контроль конечных положений органов АЗ;
- аварийную, предупредительную и уведомительную сигнализацию с фиксацией последовательности возникновения сигналов.

Основной комплект комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т осуществляет передачу информации оператору о контролируемых параметрах.

Аналоговые выходные сигналы с четырёх блоков «Мираж-МБ» основного комплекта выводятся на показывающие узкопрофильные приборы, расположенные на пульте оператора.

В основном комплекте комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т предусмотрены регистрация контролируемых параметров на двух рабочих станциях (компьютерах) основного комплекта и вывод информации на мониторы.

Кроме этого, сигнал относительной физической мощности с каждого блока основого «Мираж-МБ» поступает в соответствующий ВИЗМ, на котором находится индикатор «ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ».

Резервный комплект комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т осуществляет передачу информации оператору о контролируемых параметрах.

Аналоговые выходные сигналы с двух блоков «Мираж-МБ» резервного комплекта информация выводятся на показывающие приборы, расположенные на стойке приборной резервного пульта управления.

В резервном комплекте комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т предусмотрены регистрация контролируемых параметров на рабочей станции (компьютере) резервного комплекта и вывод информации на монитор. На панель сигнализации пульта оператора выведены следующие индикаторы:

- «ВК АЗ1» – сигнал о нахождении рабочего органа АЗ1 на верхнем конечном выключателе;
- «НК АЗ1» – сигнал о нахождении рабочего органа АЗ1 на нижнем конечном выключателе;
- «ВК АЗ2» – сигнал о нахождении рабочего органа АЗ2 на верхнем конечном выключателе;
- «НК АЗ2» – сигнал о нахождении рабочего органа АЗ2 на нижнем конечном выключателе;
- «Готовность РО АЗ к взводу» – сигнал о возможности взведения 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, 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.

В комплексе аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т предусмотрены блоки световой и звуковой сигнализации, на которые поступают аварийные, предупредительные и уведомительные сигналы.

Аппаратура сигнализации имеет в своем составе:

- три блока световых сигнализаторов – БСС2-1–БСС2-3 – для индикации аварийных сигналов (отображаются в виде цифр красного цвета);
- четыре блока световых сигнализаторов – БСС2-4–БСС2-7 – для индикации предупредительных сигналов (отображаются в виде цифр желтого цвета);
- четыре блока световых сигнализаторов – БСС3-1–БСС3-4 – для индикации уведомительных сигналов (отображаются в виде цифр зеленого цвета);
- 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 БГр1, БГр2.

Блоки световых сигнализаторов, помимо индикации аварийных и/или предупредительных сигналов, обеспечивают еще фиксацию последовательности их появления (с глубиной фиксации от 0 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 основных «Мираж-МБ»;
- «АЗС» – превышение аварийной уставки по скорости по двум из трех блоков основных «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 первого 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» – снижение ниже аварийной уставки уровня воды в бассейне по двум из трех каналов контроля;
- «АЗАО» – снижение ниже аварийной уставки давления на напоре насоса аварийного охлаждения по двум из трех каналов контроля;
- «АПНАО» – прекращение питания насоса аварийного охлаждения по любой из двух цепей контроля;
- «АПС» – прекращение 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» – прекращение питания комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т: сигнал об одновременном отсутствии электропитания на обоих фидерах;
- «КАЗПО» – сигнал о выдаче команды аварийной защиты оператором от любой из двух кнопок «АЗ», находящихся на ПО4;
- «КАЗРП» – сигнал «АЗ», поступивший от кнопки «АЗ» с резервного пульта;
- «КАЗРЗ» – сигнал «АЗ», поступивший от кнопки «АЗ» реакторного зала.

На блоки БСС предупредительной сигнализации поступают следующие сигналы:

- «ПЗ» – срабатывание блокировки;
- «ПМ» – превышение предупредительной уставки по мощности по двум из трех блоков основных «Мираж-МБ»;
- «ПС» – превышение предупредительной уставки по скорости по двум из трех блоков основных «Мираж-МБ»;
- «ПТ» – превышение предупредительной уставки по температуре воды по двум из трех каналов контроля;
- «ППД» – снижение 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 первого контура по двум из трех каналов контроля;
- «ПАГ» – превышение предупредительной уставки по активности газов в воздухе из-под крышки бассейна реактора по двум из трех каналов контроля;

- «ПУБ» – снижение ниже предупредительной уставки уровня воды в бассейне по двум из трех каналов контроля;
- «ПАО» – снижение ниже предупредительной уставки давления на напоре насоса аварийного охлаждения по двум из трех каналов контроля;
- «БАМ» – аварийный сигнал одного из блоков основных «Мираж-МБ» (сигналы «Блокировка А»);
- «ОАР» – отказ автоматического регулятора;
- «УБД» (уставка больше допустимой) – задание оператором на каком-либо задатчике мощности уставки, превышающей допустимое значение;
- «РОМ» – режим ограничения мощности реактора каналами защиты;
- «ОВБ» – сигнал об отсутствии надлежащего электрического подсоединения какого-либо из вставных блоков в стойках и пульте оператора, кроме блоков основных «Мираж-МБ», блоков питания и индикаторов задатчиков мощности;
- «ОФ» – отсутствие электропитания по одному из фидеров;
- «ОИБП» – отсутствие электропитания на выходе хотя бы одного из источников бесперебойного питания в стойках приборных 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 из-за отсутствия электропитания, или превышении аварийных уставок контроля параметров хотя бы одного из блоков основных «Мираж-МБ» резервного пульта;
- «ОСВ» – остановка двигателей спецвентиляции;
- «П1К» – снижение ниже предупредительной уставки давления или расхода первого контура;
- «НСМ» – неплановое снижение мощности (мощность меньше 0,95 от заданной) по двум из трех каналов контроля.

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

На блоки БСС уведомительной сигнализации поступают следующие сигналы:

- «БПМ» – предупредительный сигнал хотя бы одного из блоков основных «Мираж-МБ» (сигналы «Блокировка П»);
- «У2К» – снижение ниже предупредительной уставки давления или расхода второго контура;
- «ОВГ» – остановка вентилятора градирни;
- «ОДНВ» – остановка двигателя насоса или вентилятора;
- «О110» – нет = 110 В от резервных аккумуляторов;
- «ВУВБ» – верхний уровень воды в бассейне;
- «ВП1» – вода в приямке первого контура;
- «ВП2» – вода в приямке второго контура;
- «ВПЗЕ» – вода в приямке задерживающей емкости;
- «ВПТО» – вода в приямках теплообменников;
- «У1КЗ» – уменьшение расхода или уменьшение давления первого контура охлаждения бетона биологической защиты;

- «У2КЗ» – уменьшение расхода второго контура охлаждения бетона биологической 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 резервном пульте оператора имеются светодиодные индикаторы, сигнализирующие о наличии питания на каждом из двух фидеров.

Формирование аварийного или предупредительного сигнала блоками основными «Мираж-МБ» сигнализируется индикаторами на их передних панелях.

Структурная схема системы регистрации параметров представлена на рис. 4.5.

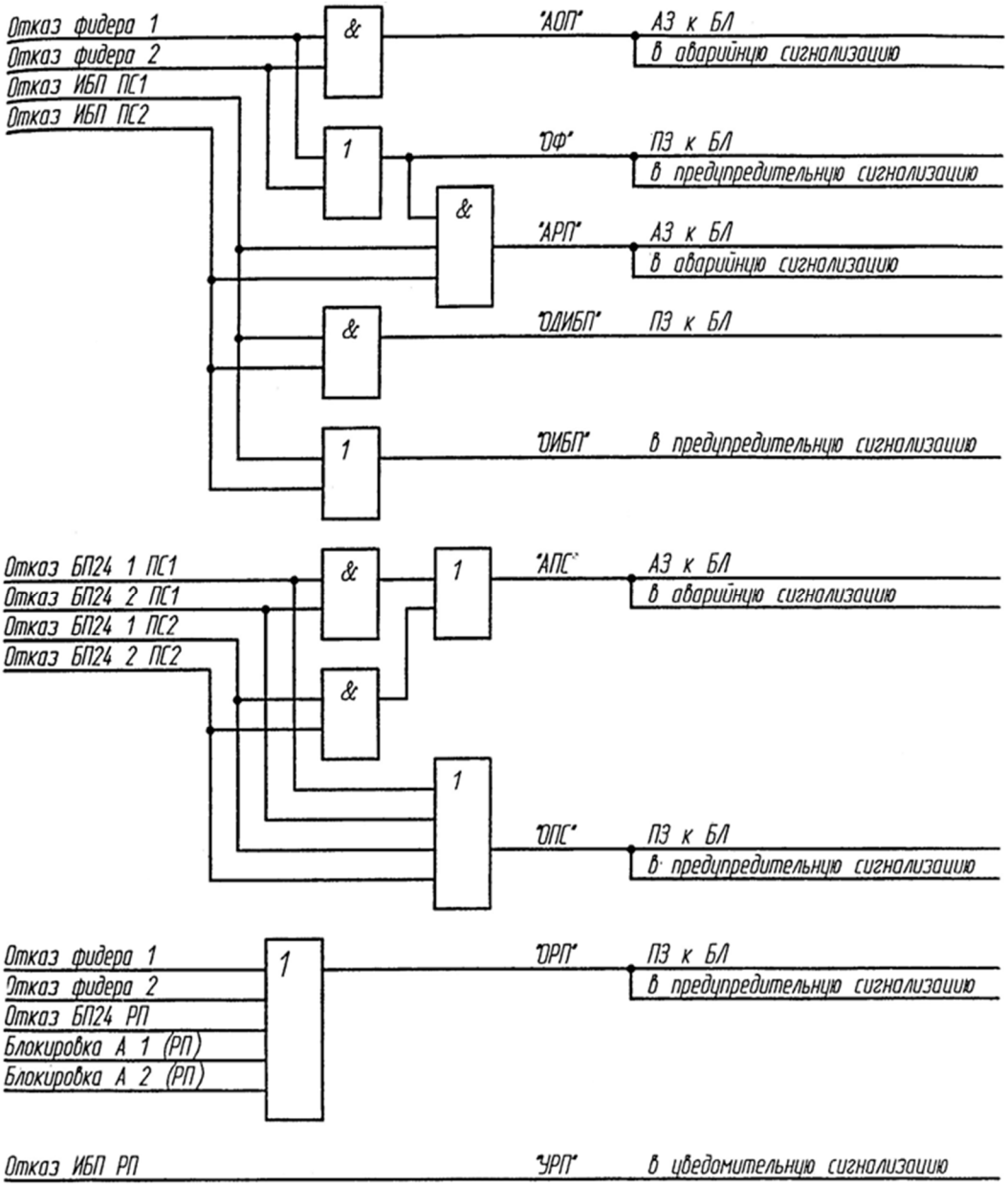

Рис. 4.5. Функциональная схема формирования команд по отказам электропитания СУЗ реактора ИРТ-Т

4.5.2. Реализация функций защит и блокировок СУЗ реактора ИРТ-Т

Как уже было сказано выше, в состав каналов аварийной защиты входят три модуля безопасности «Мираж-МБ», каждый из которых работает с подвеской ПИК 55 (ионизационная камера деления) и содержит основной блок МБ, выносной индикатор-задатчик мощности ВИЗМ, два блока логики (БЛ1-1, БЛ1-2) и два блока реле (БР1-1, БР1-2) из блока аппаратурного БА1-1 и два блока логики (БЛ2-1, БЛ2-2) и два блока реле (БР2-1, БР2-2) из блока аппаратурного БА2-1.

Тракты управления аварийной защитой содержат, кроме того, блоки логики БЛ1-3, БЛ2-3 и сервоусилители СУ1-1, СУ2-1.

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

- доведение начавшегося защитного действия до конца;
- индивидуальный сброс органов защиты АЗ1 и АЗ2 (например, при определении реактивности органов методом сброса).

Выполнение функции защиты обеспечивается путем обесточивания электромагнитных муфт сцепления (ЭМС) в приводах органов защиты АЗ1 и АЗ2 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 нарушение функции защиты. Обесточивание электромагнитных муфт сцепления (ЭМС) в приводах органов защиты АЗ1 и АЗ2 осуществляется только по сигналам аварийной защиты.

В случае отказа питания исходные сигналы об отсутствии питания формируются в блоках контроля питания, а также в схемах встроенного контроля в блоках, обеспечивающих вторичное электропитание.

Функциональная схема организации аварийной защиты и блокировок по неисправностям электропитания представлена на рис. 4.5.

Коммутация (соединение между приводами) ЭМС приводов органов АЗ1 и АЗ2 осуществляется как со стороны «плюсового» питания, так и со стороны «нулевого» провода.

Для коммутации со стороны «плюса» этих ЭМС использованы четыре блока реле – БР1-1, БР1-2, БР2-1 и БР2-2, включенные по логике «два или три из четырех» (за исключением двух сочетаний).

Для коммутации со стороны «нулевого» провода этих ЭМС использованы четыре блока логики (БЛ1-1, БЛ1-2, БЛ2-1 и БЛ2-2), включенные попарно по логике «ИЛИ».

Такое включение блоков реле и блоков логики позволяет, при необходимости, проведение регламентных проверок этих блоков или их замену без срабатывания аварийной защиты или перерывов в работе трактов защиты.

Включение ЭМС приводов органов защиты АЗ1 и АЗ2 возможно лишь в случае:

- отсутствия перечисленных выше аварийных сигналов;
- нахождения органов АР и КО в конечных нижних положениях;
- отсутствия сигналов блокировки взвода АЗ;
- нахождения ключа «РО АР Автомат/Ручной» в положении «Ручной»;
- нажатия кнопки «Деблокировка АЗ», расположенной на пульте оператора.

Взвод аварийной защиты осуществляется при нажатии кнопки «Взвод РО АЗ» на пульте оператора, при этом поднятие органа защиты происходит только при нажатой кнопке «Взвод РО АЗ». Сначала производится полное извлечение органа АЗ1, а затем – АЗ2 (реализовано схемным образом). При смещении органа АЗ1 со своего нижнего положения на пульте оператора гаснет красный индикатор «НК АЗ1», а при возвращении органа в конечное верхнее положение – загорается зеленый индикатор «ВК АЗ1». При смещении органа АЗ2 со своего нижнего положения гаснет красный индикатор «НК АЗ2», а при возвращении органа в конечное верхнее положение – загорается зеленый индикатор «ВК АЗ2» и одновременно гаснет индикатор «Готовность РО АЗ к взводу».

На протяжении всего периода извлечения органов АЗ1 и АЗ2 действует как режим аварийной защиты, так и режим блокировки извлечения.

Сигналы блокировки взвода АЗ вырабатываются блоками логики БЛ1-3 и БЛ2-3 при появлении следующих инициирующих сигналов:

- «Блокировка А» – сигнал на выходе любого блока «Мираж-МБ» основного комплекта;
- «Блокировка П» – сигнал на выходах двух или более блоков «Мираж-МБ» сновного комплекта;
- «ОВБ» – сигнал об отсутствии надлежащего электрического соединения 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 стойках приборных 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.

При поступлении сигнала АЗ, блоки БЛ1-1, БЛ1-2, БЛ2-1, БЛ2-2 разрывают цепи питания со стороны общего провода, а блоки БР1-1, БР1-2, БР2-1, БР2-2 разрывают цепи питания муфт со стороны плюса и происходит сброс органов АЗ.

После прихода обоих органов – АЗ1 и АЗ2 – в конечные верхние положения формируется сигнал разрешения извлечения РО АР и КО и становится возможным пуск и управление мощностью реактора. В случае схода хотя бы одного из органов АЗ со своего конечного верхнего положения формируется сигнал на опускание органов АР и КО1–КО3.

Если в процессе сброса органов АЗ аварийный сигнал пропал, то «защитное действие» проявится до конца, так как последующий взвод органов АЗ возможен только после возврата всех РО на нижние конечные выключатели и нажатия кнопки «Деблокировка АЗ».

4.5.3. Управление реактором ИРТ-Т

Для осуществления управления реактором в СУЗ ИРТ-Т предусмотрено четыре привода органов воздействия на реактивность: один привод органа АР и три привода органов КО1, КО2, КО3.

Комплекс обеспечивает формирование сигналов перемещения органов АР и КО1, КО2, КО3 как в режиме автоматического, так и в режиме ручного дистанционного управления.

Для формирования сигналов автоматического пуска и регулирования физической мощности реактора предназначен тракт регулирования, который состоит из подвески ПИК 56 (борная ионизационная камера КНК 53), блока усилителя тока (БУТ-02), входящий в состав основного «Мираж-МБ», выносного индикатора-задатчика мощности ВИЗМ и сервоусилителя.

Для выбора режима управления перемещением органов воздействия на реактивность (органов АР и КО1–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 производится автоматическим регулятором, который осуществляет переход с одного стационарного уровня мощности на другой по закону (4.1).

Значения уставок 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 20 до 80 % погружения в активную зону.

Диапазон работы блока «Мираж-МБ», взаимодействующего с токовой ионизационной камерой, ограничен пятью порядками изменения мощности, поскольку борная токовая ионизационная камера слепнет при малых потоках нейтронов из-за значительного γ-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», стоящим в тракте автоматического регулирования, введены дополнительно сигналы управления, формируемые блоками «Мираж-МБ», стоящими в трактах контроля и аварийной защиты.

На начальном этапе автоматического пуска реактора и вывода его на заданный уровень, когда фактически необходимо поддерживать постоянной приведенную скорость (период) изменения физической мощности, борная ионизационная камера не чувствует изменений нейтронного потока и сигнал управления на выходе подключенного к ней блока «Мираж-МБ» имеет максимальное положительное значение и не изменяется. Однако блоки «Мираж-МБ», стоящие в трактах защиты и подключенные к ионизационным камерам деления, контролируют эти изменения нейтронного потока и формируют сигналы управления на соответствующих своих выходах – «Управление от Блока Защиты» («УБЗ1», «УБЗ2», «УБЗ3»).

При вводе регулятором избыточной реактивности, приводящей к превышению приведенной скоростью заданного значения (уменьшении периода относительно введенной рабочей уставки), эти сигналы управления («УБЗ1», «УБЗ2», «УБЗ3») принимают отрицательные значения. При наличии двух или трех отрицательных сигналов «УБЗ» орган АР будет вводиться в активную зону так, чтобы поддержать заданное значение приведенной скорости (периода) изменения относительной физической мощности. Такая совместная работа четырех блоков «Мираж-МБ» позволяет расширить диапазон автоматического пуска до восьми-девяти десятичных порядков.

В комплексе предусмотрена возможность автоматической совместной работы органа АР с органами КО1–КО3. Для этого переключатель «РО КО1–КО3 Автомат/Ручной» должен быть переведен в положение «Автомат».

Алгоритм автоматической работы РО КО1–КО3 следующий.

После достижения РО АР 20%-го погружения в активную зону при отсутствии сигнала ВК «КО3» на перемещение вверх подключается РО КО3. При наличии сигнала «ВК КО3» в режиме перемещения вверх поочерёдно поднимаются РО КО1 и РО КО2 на фиксированный промежуток времени каждый.

Окончание движения РО КО происходит при возврате РО АР в середину активной зоны (сигнал «АР60»).

При опускании РО АР и достижении его 80 %-го погружения в активную зону при отсутствии хотя бы одного из сигналов – «НК КО1», «НК КО2» – в режиме перемещения вниз поочерёдно опускаются РО КО1 и РО КО2 на фиксированный промежуток времени каждый. При наличии обоих сигналов – «НК КО1», «НК КО2» – на перемещение вниз подключается РО КО3.

Окончание движения РО КО происходит при возврате РО АР в середину рабочей характеристики (сигнал «АР40»).

Для управления движением РО КО на «Мираж-МБ» регулятора заведены следующие сигналы:

- «ВК КО1», «ВК КО2», «ВК КО3» – сигналы нахождения РО КО1–КО3 на верхнем конечном выключателе;
- «НК КО1», «НК КО2», «НК КО3» – сигналы нахождения РО КО1–КО3 на нижнем конечном выключателе;
- «АР20» – РО АР погружен на 20 % в активную зону;
- «АР40» – РО АР погружен на 40 % в активную зону;
- «АР60» – РО АР погружен на 60 % в активную зону;
- «АР80» – РО АР погружен на 80 % в активную зону.

С блока «Мираж-МБ» регулятора на сервоусилители РО КО1–КО3 заведены следующие сигналы:

- «Вверх КО1», «Вверх КО2», «Вверх КО3» – движение вверх РО КО1–КО3;
- «Вниз КО1», «Вниз КО2», «Вниз КО3» – движение вниз РО КО1–КО3;
- «Стоп КО» – прекращение движения.

Сигналы поступают:

- «Вверх КО1», «Вверх КО2», «Вверх КО3» – на входы «АК20» сервоусилителей «КО1– КО3»;
- «Вниз КО1», «Вниз КО2», «Вниз КО3 – на входы «АК80» сервоусилителей «КО1– КО3»;
- «Стоп КО1», «Стоп КО2», «Стоп КО3» – на входы «АК50» сервоусилителей «КО1».

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

Независимо от положения переключателя «РО КО1–КО3 Автомат/Ручной» возможно ручное дистанционное управление перемещением органов КО1–КО3.

Для управления перемещением органов на пульте оператора предусмотрено четыре ключа управления с нефиксируемыми положениями.

В режиме ручного дистанционного управления перемещением органов техническими средствами обеспечивается пошаговое (с весом шага не более 0,3 $\beta_{эф}$) извлечение выбранного органа.

Если оператор повернёт ключи управления органами КО, при нахождении переключателя «РО АР Автомат/Ручной» в положении «Автомат», то автоматический регулятор отследит вносимые оператором изменения реактивности и поддержит заданное значение мощности реактора.

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

Предусмотрена также блокировка одновременного извлечения более чем одного из органов АР и КО1–КО3, за исключением случая, когда орган АР извлекается автоматическим регулятором и один из органов КО1–КО3 извлекается автоматически или вручную.

Опускание рабочих органов возможно как по одному, так и одновременно нескольких без ограничения по количеству.

При рабочем периоде 50 с (скорость 0,055 $с^{-1}$) максимальная скорость введения реактивности рабочим органом АР 0,055 $\beta_{эф}$/с, максимальная скорость введения реактивности каждым из рабочих органов КО 0,017 $\beta_{эф}$/с. Максимальная скорость введения реактивности каждым из рабочих органов АЗ 0,07 $\beta_{эф}$/с.

Указанные данные по скоростям перемещения органов обеспечиваются путем настройки соответствующих сервоусилителей.

Пример временных диаграмм пуска приведён на рис. 4.6. Процесс пуска состоит из следующих этапов:

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 постоянного периода по скорости тракта регулирования, при продолжающемся извлечении РО КО. Перемещение РО КО 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.

Процесс пуска характеризуется плавным выходом реактора на заданное значение приведённой скорости увеличения мощности. При этом реактивность плавно увеличивается до асимптотического значения, связанного с величиной приведённой скорости.

Затем мощность увеличивается с заданной скоростью до заданного уровня, по достижении которого изменение мощности прекращается, и последняя стабилизируется на заданном уровне без перерегулирования.

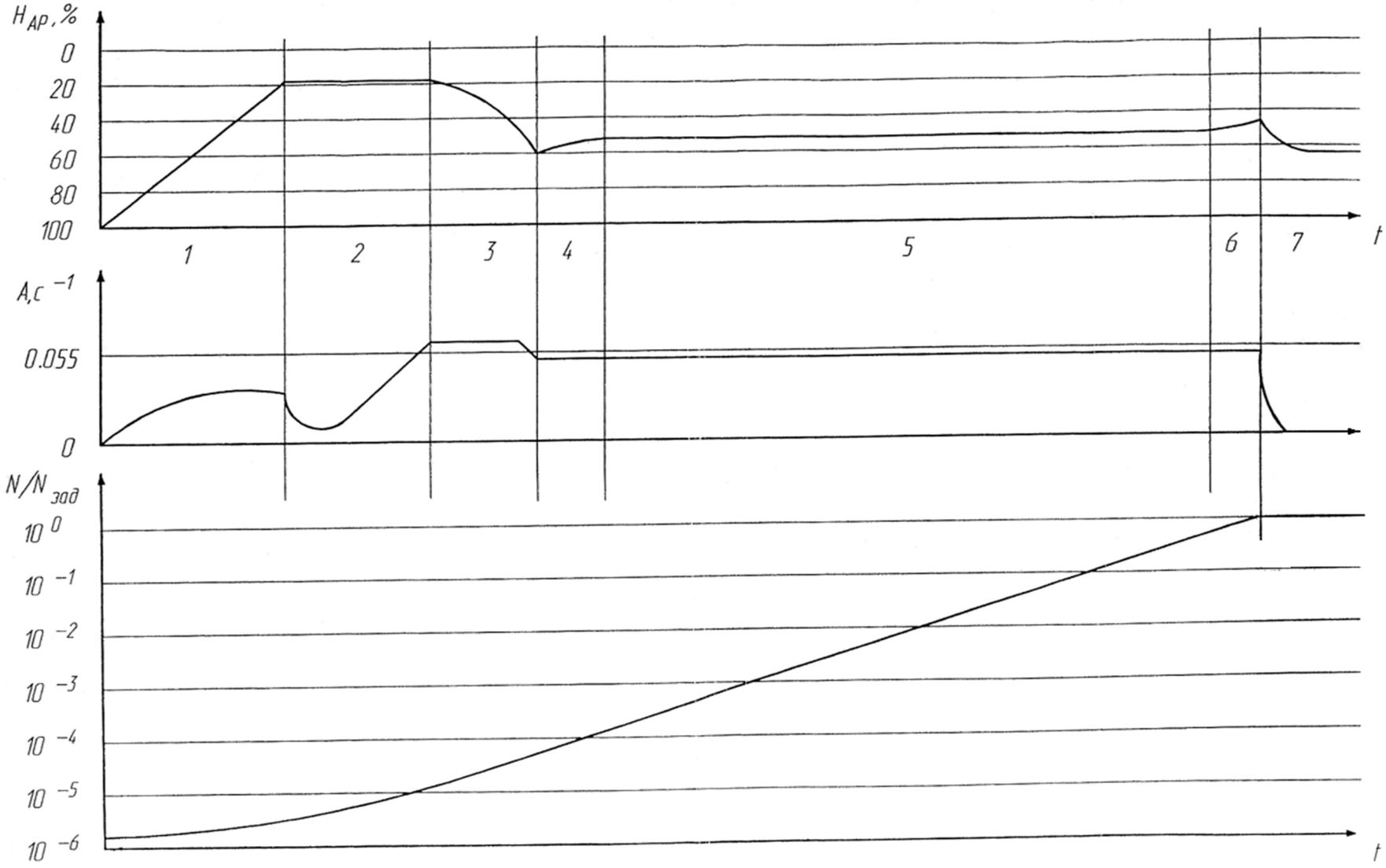

Рис. 4.6. Временная диаграмма пуска реактора ИРТ-Т

Список литературы

1. Инструкция по эксплуатации комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2023. – 66 с.

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т?
2. Перечислите основные технические характеристики комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т.
3. Что входит в состав комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т?
4. Опишите блок основной «Мираж-МБ» и модуль регистрации «Мираж-МР» СУЗ реактора ИРТ-Т.
5. Что входит в состав канала измерения относительной мощности реактора ИРТ-Т?
6. Каково назначение блока логики СУЗ реактора ИРТ-Т?
7. Опишите принцип работы блока реле СУЗ реактора ИРТ-Т.
8. Каково назначение блока диодно-резисторного СУЗ реактора ИРТ-Т?
9. Сколько режимов работы у сервоусилителя СУЗ реактора ИРТ-Т?
10. Для чего служит блок сигнальной логики СУЗ реактора ИРТ-Т?
11. Опишите принцип работы блока питания 24 СУЗ реактора ИРТ-Т.
12. Какое оборудование контролирует блок контроля питания СУЗ реактора ИРТ-Т?
13. Перечислите составляющие сигнализации СУЗ реактора ИРТ-Т.
14. Опишите принцип работы указателя положения цифрового СУЗ реактора ИРТ-Т.
15. Опишите принцип работы выносного индикатора-задатчика мощности СУЗ реактора ИРТ-Т.
16. Как реализована информационная функция СУЗ реактора ИРТ-Т?
17. Как реализована функция защиты и блокировок СУЗ реактора ИРТ-Т?
18. Опишите принцип управления реактором ИРТ-Т.
19. Опишите резервный пульт реактора ИРТ-Т.

Работа 5
ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СУЗ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

5.1. Работы, проводимые на реакторе ИРТ-Т

На реакторе ИРТ-Т осуществляются исследовательские и экспериментальные работы, связанные с облучением образцов. Они должны проводиться по рабочим программам, определяющим порядок облучения. Также должны быть приняты меры по обеспечению ядерной и радиационной безопасности. Учёт и выдача образцов должны быть организованы в соответствии с «Инструкцией по радиационной безопасности при проведении работ на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т».

Ядерно опасными работами на реакторе ИРТ-Т являются:

- перегрузочные работы, связанные с активной зоной реактора ИРТ-Т;
- работы, проводимые в баке реактора ИРТ-Т;
- ремонтные работы, проводимые с приводами стержней СУЗ;
- работы, выполняемые в шахте-хранилище ОТВС.

«Свежие» ТВС на реакторе ИРТ-Т содержатся в хранилище свежего топлива. Хранилище оборудовано охранной и пожарной сигнализациями, сигнализацией наличия воды, системой аварийной сигнализации о возникновении СЦР.

ОТВС хранятся в шахте-хранилище и временно в бассейне реактора ИРТ-Т во временном хранилище, оборудованном на нижней секции бака реактора ИРТ-Т.

5.1.1. Общая организация работ на реакторе ИРТ-Т

Эксплуатацию реактора ИРТ-Т и его экспериментальных устройств ведет персонал, подготовленный по соответствующим индивидуальным программам и допущенный к самостоятельной работе.

Весь эксплуатационный персонал реактора ИРТ-Т объединён в службы:

- служба эксплуатации;
- служба ядерной безопасности;
- служба радиационной безопасности;
- служба безопасности.

Работы на реакторе ИРТ-Т (работа реактора ИРТ-Т на мощности, экспериментальные и планово-профилактические работы и др.) проводятся в соответствии с годовым планом-графиком работы реактора ИРТ-Т, который утверждается директором ИЯТШ.

Реактор ИРТ-Т на мощности эксплуатируется недельными циклами (5 дней через 2 выходных). Работы на реакторе ИРТ-Т должны проводиться строго по недельному плану-графику, который согласовывается с руководителями служб и утверждается главным инженером реактора ИРТ-Т. В плане-графике отражается режим работы реактора ИРТ-Т, работы, выполняемые в течение недели на реакторе ИРТ-Т и его экспериментальных устройствах.

На облучаемый по рабочей программе образец заказчиком составляется «Паспорт на радиоактивный источник-изотоп». Паспорт подписывает главный инженер реактора ИРТ-Т или заместитель главного инженера по эксплуатации.

5.2. Подготовка реактора ИРТ-Т к пуску

Подготовка реактора ИРТ-Т к пуску начинается после получения письменного распоряжения главного инженера реактора ИРТ-Т или лица его замещающего в оперативном журнале начальника смены в виде соответствующей записи.

Подготовка реактора ИРТ-Т к пуску заключается в проверке и включении в работу технологических систем реактора ИРТ-Т, которые на остановленном реакторе ИРТ-Т не функционировали, и предпусковой проверке работающих систем.

Перед началом подготовки реактора ИРТ-Т к пуску начальник смены обязан ознакомиться с записями, сделанными в оперативном журнале последней сменой, и с картограммой загрузки активной зоны реактора ИРТ-Т.

Если отсутствуют какие-либо запрещающие записи на пуск реактора ИРТ-Т и исправны все электрические цепи, начальник смены отдает распоряжение персоналу смены и делает соответствующую запись в оперативном журнале, о начале проверки и включении в работу технологических систем реактора ИРТ-Т.

Системы проверяются и включаются в работу в следующей последовательности:

- система электроснабжения;
- система радиационного и дозиметрического контроля;
- система вентиляции;
- системы управления и защиты реактора ИРТ-Т;
- система контроля технологических параметров и автоматики (контрольно-измерительные приборы);
- система охлаждения реактора ИРТ-Т и другие связанные с ней системы;
- система сбора и возврата протечек.

До завершения проверки радиационной обстановки во всех технологических помещениях реактора ИРТ-Т и физическом зале и проверки отсутствия в них радиоактивного газа и аэрозолей входить в помещения запрещается.

По окончании проверки и после включения в работу всех технологических систем каждый исполнитель обязан доложить начальнику смены об их готовности к пуску реактора ИРТ-Т и сделать соответствующую запись в «Журнале предпусковой подготовки».

5.2.1. Проведение предпусковой проверки комплекса аппаратуры СУЗ реактора ИРТ-Т

Предпусковая проверка СУЗ проводится перед каждым пуском реактора ИРТ-Т, но не чаще одного раза в неделю, а также перед пуском реактора ИРТ-Т после устранения неисправности в СУЗ.

При проведении предпусковой проверки СУЗ плотность потока нейтронов, регистрируемая блоками защиты «Мираж МБ», должна быть не менее 100 н/с·см^2.

По ходу выполнения предпусковой проверки СУЗ должно быть подтверждено, что используемые ключи, тумблеры и переключатели имеют четкую фиксацию в разных положениях.

При проведении предпусковой проверки первым делом производится проверка звуковой сигнализации. Нажатием соответствующих кнопок проверяется прохождение следующих сигналов:

- уведомительного сигнала (УС);
- предупредительного сигнала (ПС);
- аварийного сигнала (АС).

После появления каждого звукового сигнала звук снимается кнопкой «Снятие звука».

Далее производится подготовка к работе блока «Мираж МБ».

Нажатием на блоке «Мираж МБ» кнопки «↑» снять все неактивные сигналы – «АС», «ПС», «УС». Цвет включенных светодиодов сигнализации зависит от состояния реактора ИРТ-Т.

Управление блоком «Мираж МБ» осуществляется с помощью индикатора и кнопок «ПИСК».

В блоке «Мираж МБ» реализованы следующие основные режимы (функции):

1-й режим – индикация заставки;

2-й режим – индикация текущих значений контролируемых сигналов;

3-й режим – настройка оборудования;

4-й режим – индикация текущих значений, времени и даты;

5-й режим – ввод уставок параметров;

6-й режим – предпусковая проверка.

Для выбора режима нажимают кнопку «РЕЖИМ», при этом на дисплее отображено «режим № 1». Кнопками «^» и «˅» выбирается нужный режим, а нажатием кнопки «ВВОД» осуществляется переход блока «Мираж МБ» в выбранный режим работы.

В режиме № 2 (индикация контролируемых сигналов) в верхней строке отражается действующее значение параметра, введенного в систему аварийной защиты, в нижней – заданная аварийная уставка данного параметра.

Нажатием кнопки «ВВОД» производится переключение нижней строки на показания, соответствующие предупредительной уставке параметра. При повторном нажатии кнопки «ВВОД» будут отражаться номинальные значения параметра.

Для выхода в меню выбора режимов работы необходимо нажать кнопку «РЕЖИМ».

Режим № 3 предназначен для установки типов вторичных преобразователей, используемых в каналах контроля радиационных параметров, а также установки текущих времени и даты. При переходе в этот режим отображается сообщение «Ввод пароля». Пароль для входа в режим является комбинация следующих клавиш: «ВНИЗ», «ВВОД», «ВВЕРХ», «РЕЖИМ». После ввода правильной комбинации цифр на индикаторе отображается одно из следующих сообщений: «канал БРК 1», «канал БРК 2», «канал БРК 3», «установка времени и даты». С помощью кнопок «ВВЕРХ» и (или) «ВНИЗ» необходимо выбрать нужный пункт в меню и нажать кнопку «ВВОД». При несоответствии текущих времени и даты на блоке «Мираж МБ» действительным времени и дате, на блоке «Мираж МБ» необходимо выставить нужное значение времени и даты. После **перехода** в режим «Установка времени и даты» на индикаторе высвечиваются текущие показания времени, при этом значения мигают. Кнопками «ВВЕРХ» и (или) «ВНИЗ» необходимо установить нужное значение времени и даты и нажать кнопку «ВВОД».

Режим № 6 предназначен для установки значений аварийных, предупредительных и номинальных уставок параметров, используемых в режиме проведения предпусковых проверок. Данный режим внешне отличается от режима № 5 тем, что значения заданных уставок предпусковых проверок не сохраняются в памяти блока «Мираж МБ» при выходе из режима.

Переход в данный режим разрешен при условии, что мощность реактора (по току ИК) не превышает 0,1 % от номинала. Если это условие не выполняется, то

при переходе в этот режим на индикаторе отображается сообщение: **ПРОВЕРКА ЗАПРЕЩЕНА.**

Для выхода в меню выбора режимов работы необходимо нажать на кнопку «РЕЖИМ». Если мощность реактора (по току ИК) не превышает 0,1 % от номинала, то при переходе в этот режим на индикаторе отображается сообщение: **ВВОД ПАРОЛЯ.**

После ввода правильной комбинации клавиш блок «Мираж МБ» разрешает доступ к выбору типов уставок, так же как в режиме № 5. С помощью кнопок «^» и (или) «v» необходимо выбрать тип вводимой уставки и нажать на кнопку «ВВОД». При этом на индикаторе будет отображаться значение параметра и введенной уставки предпусковой проверки.

Значение данной уставки будет действовать до нажатия на кнопку «РЕЖИМ». После производится возврат в предыдущий пункт меню, а значение соответствующей предпусковой уставки заменяется на значение рабочей уставки. В режиме № 6 добавлен пункт меню: **№ 30 ПРОВЕРКА СВЕТОДИОДОВ**.

При выборе этого пункта меню все светодиоды на табло должны мигать с периодом 1 с, при этом на индикаторе отобразится сообщение: **МИГАЮТ**.

При нажатии на кнопку «РЕЖИМ» производится возврат в предыдущий пункт меню. После перехода в режим № 6 блок «Мираж МБ» формирует сигналы «БЛОКИРОВКА А» и «БЛОКИРОВКА П» и принудительно удерживает их до выхода из режима.

После выполнения всех вышеперечисленных действий предпусковая проверка считается выполненной.

5.3. Пуск реактора ИРТ-Т

Пуск реактора ИРТ-Т является очень ответственной операцией, поскольку уровень мощности реактора ИРТ-Т в подкритическом состоянии меньше номинальной мощности примерно в $10^6 \ldots 10^8$ раз, в зависимости от продолжительности остановки.

Пуск реактора ИРТ-Т осуществляется начальником смены по письменному распоряжению главного инженера реактора ИРТ-Т или лица, его замещающего. Во время пуска реактора ИРТ-Т в помещении пульта управления должны присутствовать начальник смены, инженер по управлению и дозиметрист смены.

Все записи в оперативном журнале начальника смены в процессе пуска реактора ИРТ-Т должен делать только начальник смены.

Давать какие-либо указания начальнику смены во время пуска реактора ИРТ-Т имеет право только главный инженер реактора ИРТ-Т или лицо, его замещающее.

Начальник смены, прежде чем приступить к выполнению операции по пуску реактора ИРТ-Т, должен сделать оценку запаса реактивности активной зоны реактора ИРТ-Т. Если во время остановки реактора ИРТ-Т не проводилось никаких изменений в активной зоне и отражателе (установка или выгрузка ТВС, бериллиевых блоков и других блоков, экспериментальных каналов и блок-контейнеров с облученными образцами), запас реактивности определяется исходя из запаса, имевшегося перед предыдущим пуском реактора с учетом его изменения (уменьшения) за счет выгорания топлива. Полученная таким образом величина предполагаемого запаса реактивности с целью безопасности увеличивается на 0,3 %. Исходя из определенного запаса реактивности активной зоны реактора ИРТ-Т, начальник смены должен сделать оценку положений стержней РО КО и РО АР, при которых будет достигнуто критическое состояние реак-

тора ИРТ-Т. При этом он должен учитывать изменение запаса реактивности в результате «отравления» активной зоны реактора ИРТ-Т, происшедшее после его остановки (по кривой «отравления»). Предполагаемые положения стержней РО КО и РО АР, соответствующие «критическому» состоянию активной зоны реактора ИРТ-Т, должны быть зафиксированы в оперативном журнале начальника смены.

Непосредственно перед выполнением операций по пуску реактора ИРТ-Т должен быть проведен визуальный осмотр активной зоны реактора ИРТ-Т и отражателя, проверено положение шиберов на ГЭК. Все шиберы должны находиться в положении «закрыто», если их открытие не оговорено специальным распоряжением.

Началом пуска реактора ИРТ-Т считается взвод стержней аварийной защиты для проверки исправности приводов и времени падения стержней аварийной защиты в активную зону реактора ИРТ-Т.

При взведении всех органов управления и аварийной защиты скорость увеличения реактивности не должна превышать 0,07 $\beta_{эф}$/с. Для рабочих органов СУЗ с эффективностью более 0,7 $\beta_{эф}$ ввод положительной реактивности должен быть шаговым с эффективностью шага не более 0,3 $\beta_{эф}$. Данный ввод положительной реактивности обеспечивается аппаратурой СУЗ.

5.3.1. Проверка хода стержней РО АР, КО1–КО3 и срабатывания аварийной защиты комплекса аппаратуры СУЗ реактора ИРТ-Т

Для проверки срабатывания аварийной защиты комплекса аппаратуры СУЗ реактора ИРТ-Т необходимо выполнить следующие действия:

- нажать кнопку «Деблокировка сигнализации», при этом должны погаснуть все предупредительные и аварийные индикаторы блоков БСС на панелях индикации, кроме, может быть, «ОСВ», «П1К» и «НСМ». Если какие-либо из указанных индикаторов продолжают гореть, следует найти и устранить причины этого, в противном случае дальнейшая работа невозможна;
- включить тумблер «Муфты АЗ», «АР», «КО1»–«КО3», если они были выключены;
- убедиться, что переключатель «РО АР Автомат/Ручной» установлен в положении «Ручной»;
- нажать кнопку «Деблокировка АЗ», после чего должен загореться светодиод «Готовность АЗ»;
- нажать кнопку «Взвод РО АЗ» и удерживать её до зажигания светодиодов «ВК АЗ1» и «ВК АЗ2» и светодиоды «вкл» на блоках БР1-1 и БР1-2 в стойках приборных ПС1 и ПС2. Допускается отпускать и повторно нажимать кнопку «Взвод РО АЗ» любое число раз.

После того как РО АЗ достигли верхнего концевого выключателя, необходимо проверить ход стержней РО АР, КО1–КО3. Ключом ручного управления АР поднять стержень РО АР на 3…4 см с последующим погружением на 1…2 см. Ключами ручного управления КО поочередно поднять на 3…4 см РО КО1–КО3 с последующим погружением на 1…2 см. После перевода ключа в положение «вверх» извлечение происходит в течение 3…5 с, после чего РО должен остановиться.

Для продолжения извлечения следует вернуть ключ в нейтральное положение, а затем вновь в положение «вверх». При этом проверяется:

- скорость перемещения стержней;
- шаговое перемещение стержней РО КО с длительность шага в 3…5 с;
- работа указателей и положения стержней;

- работа указательной сигнализации;
- работа существующих блокировок в цепях управления сервоприводами стержней.

После этих проверок необходимо нажать кнопку «Аварийная защита» на панели управления и убедиться, что стержни РО АЗ1, АЗ2 АР, КО1–КО3 опустились до своего нижнего положения. Убедиться, что УПЦ и РСО правильно отобразили информацию. Время сброса стержней АЗ должно быть ~ 0,8 с.

5.3.2. Вывод реактора ИРТ-Т на мощность в автоматическом режиме

Перед выводом реактора ИРТ-Т на мощность необходимо выставить на ВИЗМ «Каналы защиты» по мощности уставки на 20 % больше мощности, чем мощность, на которую предполагается вывести реактор ИРТ-Т. Вывод реактора ИРТ-Т на мощность в автоматическом режиме может осуществляться только после взведения стержней аварийной защиты, как указанно в пункте выше. После взвода стержней АЗ необходимо выполнить следующее:

- объявить по громкоговорящей связи о предстоящем пуске реактора ИРТ-Т на мощность;
- на ВИЗМ «Канал регулятора» выставить уставку, соответствующую требуемому уровню мощности, на который будет осуществляться вывод;
- переключатель «РО АР Автомат/Ручной» перевести в положение «Автомат».

С этого момента канал автоматического регулирования будет выводить реактор ИРТ-Т на заданный уровень мощности в автоматическом режиме. Уставки на заданный уровень мощности лежат в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-3} А (по нейтронной составляющей тока ионизационной камеры).

При переводе ключа «РО АР Автомат/Ручной» в положение «Автомат» стержень РО АР начинает подниматься вверх до концевика «20 %». После достижения РО АР этого значения и в случае, если заданная мощность не достигнута, а период реактора более 50 с, начинается подъем РО КО3.

Если РО КО3 достигнет верхнего концевика и мощность будет оставаться менее заданной, начинается движение вверх РО КО1 и РО КО2 поочередно на фиксированный промежуток времени каждый. РО КО1 и РО КО2 включаются на перемещение вверх по очереди до активации сигналов «ВК КО1» и «ВК КО2» соответственно. При уменьшении периода реактора ниже 50 с РО АР начинает движение вниз, поддерживая период разгона 50 с.

При достижении РО АР концевика «60 %», РО КО1 и РО КО2 прекращают движение вверх, реактор ИРТ-Т при этом разгоняется, РО АР поддерживает период разгона 50 с.

Вывод на мощность заканчивается при отражении на индикаторе «Относительный уровень» задатчика мощности «Канал регулятора» значения 1. По достижении заданного уровня мощности стержень РО АР, опускаясь в активную зону, останавливает разгон реактора ИРТ-Т и продолжает регулирование по мощности, тем самым поддерживая заданную мощность реактора ИРТ-Т.

На заключительном этапе необходимо сообщить по громкоговорящей связи о выводе реактора ИРТ-Т на мощность. В оперативном журнале делается запись о достижении «критического» состояния, о положении стержней РО АР и РО КО, производится расчет запаса реактивности, фиксируются показания приборов контроля мощности.

5.3.3. Вывод реактора ИРТ-Т на мощность в ручном режиме

Перед выводом реактора ИРТ-Т на мощность необходимо выставить на ВИЗМ «Каналы защиты» по мощности уставки на 10 % больше мощности, чем мощность, на которую предполагается вывести реактор ИРТ-Т. Вывод реактора ИРТ-Т на мощность в ручном режиме может осуществляться только после взведения стержней аварийной защиты, как указанно в п. 5.3.1. После взвода стержней АЗ необходимо выполнить следующие действия:

- объявить по громкоговорящей связи о предстоящем пуске реактора ИРТ-Т на мощность;
- переключатель «РО АР Автомат/Ручной» перевести в положение «Ручной»;
- на ВИЗМ «Канал регулятора» выставить уставку, которая соответствует требуемому уровню мощности, на которую будет осуществляться вывод;
- ключом управления поднять стержень РО АР на 30 см согласно показанию УПЦ;
- далее начать извлекать стержень РО КО3, при этом необходимо постоянно вести контроль за уровнем мощности и периодом реактора по узкопрофильным приборам УПП-01 и РСО;
- если при извлечении стержня РО КО3 критическое состояние не достигнуто, равномерно и поочередно относительно друг друга извлечь стержни РО КО1 и РО КО2; извлечение стержня прекращается, как только замечено увеличение мощности по любому из каналов контроля мощности или период разгона становится менее 50 с;
- для уменьшения скорости разгона следует опустить на 5…7 мм РО СУЗ с помощью ключей АР, КО1–КО3, переведя эти ключи в положение «низ»;
- перемещая стержни РО АР, РО КО, добиться точного «критического» состояния;
- при приближении к заданному уровню мощности скомпенсировать положительную реактивность погружением стержня РО АР;
- как только мощность реактора ИРТ-Т достигнет заданной, т. е. индикация на индикаторе «Относительный уровень» задатчика мощности «Канал регулятора» достигнет значения 1, переключатель «РО АР Автомат/Ручной» перевести в положение «Автомат».

На заключительном этапе по громкоговорящей связи делается объявление о выводе реактора ИРТ-Т на мощность. В оперативном журнале делается запись о достижении «критического» состояния, о положении стержней РО АР и РО КО, производится расчет запаса реактивности, фиксируются показания приборов контроля мощности.

5.3.4. Изменение мощности реактора ИРТ-Т

Изменение мощности реактора производится в ручном или автоматическом режиме, при этом используемые органы управления и индикаторы те же, что при выводе реактора на мощность.

Последовательность действий при изменении мощности реактора ИРТ-Т:

- объявить по громкоговорящей связи о предстоящем изменении мощности реактора ИРТ-Т;
- при увеличении или уменьшении мощности необходимо переключатель «РО АР Автомат/Ручной» перевести в положение «Ручной»;
- на ВИЗМ «Каналы защиты» следует установить новое значение до увеличения мощности;

- на ВИЗМ «Каналы защиты» следует установить новое значение после снижения мощности;
- на ВИЗМ «Канал регулятора» выставить уставку, которая соответствует требуемому уровню мощности и на которую будет осуществляться вывод;
- после достижения требуемого уровня мощности переключатель «РО АР Автомат/Ручной» перевести в положение «Автомат»;
- объявить по громкоговорящей связи о выводе реактора ИРТ-Т на мощность.

В оперативном журнале делается запись о достижении «критического» состояния, о положении стержней РО АР и РО КО, делается расчет запаса реактивности, записываются показания приборов контроля мощности.

При этом из-за ограничения скорости снижения количества запаздывающих нейтронов рекомендуется при работе в автоматическом режиме задавать значение уставки на понижение мощности не более чем в 100 раз за один приём. В противном случае возможно возникновение значительного перерегулирования. Дальнейшее уменьшение мощности рекомендуется проводить после завершения переходных процессов, вызванных ранее проведённым снижением мощности, т. е. через 5–7 минут после стабилизации мощности.

5.3.5. Контроль за системой при работе реактора ИРТ-Т на мощности

При работе реактора ИРТ-Т на мощности контроль за работой системы осуществляет персонал реактора.

Оперативный персонал смены контролирует:

- наличие и вид графиков изменения параметров на экранах РСО;
- исправное состояние показывающих приборов путем визуального наблюдения;
- исправность оборудования и отсутствие сигналов отказа на передних панелях блоков;
- взаимное отклонение однотипных параметров, а также частоты, амплитуды и характер колебаний значений параметров;
- отклонение текущих значений параметров от прогнозируемых;
- исправное состояние звуковой сигнализации нажатием кнопок проверки.

5.3.6. Плановый останов реактора ИРТ-Т

Начальник смены должен за 5 минут до остановки реактора ИРТ-Т оповестить по громкоговорящей связи об этом экспериментаторов и весь персонал.

Начальник смены и инженер по управлению делают записи в оперативных журналах о всех технологических параметрах, которые необходимы для предпусковой проверки при следующем пуске.

Останов реактора состоит из двух действий:

- перевод переключателя «РО АР Автомат/Ручной» в положение «Ручной»;
- сброс РО АЗ нажатием кнопки «Аварийная защита», которая находится на пульте управления. Также допускается нажатие других кнопок «Аварийная защита»: «КАЗ РЗ», находящейся на верхней площадке реактора ИРТ-Т, или «КАЗ РП» – на резервом пульте управления. Оперативный персонал обязан проследить за тем, чтобы все стержни РО (АЗ1, АЗ2, АР, КО1–КО3) дошли до крайнего нижнего положение.

После того как температура деминерализованной воды на входе в активную зону достигнет 25 °С, должны быть отключены насосы первого контура охлаждения и насос аварийного охлаждения (НАО), затем насосы второго контура охлаждения и насос

контура охлаждения бетона биологической защиты (НОЗ). В зимнее время сразу же после остановки реактора ИРТ-Т необходимо отключить вентиляторы градирни, а также перевести задвижку «ПЗ-ГО» в положение «открыто».

5.3.7. Неплановый останов реактора ИРТ-Т

Реактор ИРТ-Т может быть остановлен внепланово в результате срабатывания системы аварийной защиты или в результате действий персонала смены. Неплановую (аварийную) остановку реактора ИРТ-Т имеет право произвести любое лицо из сменного персонала, если создавшееся положение угрожает безопасности реактора ИРТ-Т и его персоналу. Остановка производится путем нажатия кнопки аварийной защиты «КАЗ ПО» на пульте управления реактора ИРТ-Т, или кнопки «КАЗ РЗ» на верхней площадке реактора ИРТ-Т, или «КАЗ РП» на резервном пульте управления. После нажатия кнопки аварийной защиты необходимо убедиться, что все стержни – РО АЗ, РО КО, РО АР – дошли до нижних концевиков. После неплановой остановки реактора ИРТ-Т начальник смены делает соответствующую запись в оперативном журнале.

Кроме случаев срабатывания аварийной защиты неплановая остановка реактора ИРТ-Т должна производиться:

- при отказе автоматической аварийной защиты;
- неисправности сервоприводов РО АЗ, РО КО, РО АР и указателей положения компенсирующих стержней или стержня автоматического регулятора;
- увеличении мощности дозы гамма-излучения на всасывающем трубопроводе первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т в 2 раза;
- увеличении β-активности газов в воздухе, удаляемом из надреакторного пространства, более чем в два раза по сравнению с нормальным значением;
- повышении выброса газовой активности в атмосферу через трубу специальной вентиляции более чем в два раза;
- обнаружении утечек воды:
  – через горизонтальные экспериментальные каналы;
  – из трубопроводов первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т;
  – из трубопроводов очистки деминерализованной воды первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т;
- при сообщении о предстоящем отключении электроэнергии;
- выходе из строя системы радиационного и дозиметрического контроля;
- неисправности двух приборов технологического контроля, измеряющих:
  – перепад давления на активной зоне реактора ИРТ-Т;
  – давления на напоре насоса аварийного охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т;
  – температуру деминерализованной воды на входе в активную зону ректора ИРТ-Т;
  – перепад температуры на активной зоне реактора ИРТ-Т;
  – уровень деминерализованной воды в баке реактора ИРТ-Т;
- при исчезновении напряжения 110 В от аккумуляторных батарей;
- отключении обоих вентиляторов системы специальной вентиляции В1 – В1-1 или В1-2;
- неисправности насоса охлаждения бетона биологической защиты и шиберов ГЭК;
- всех других случаях, не предусмотренных данной инструкцией, но угрожающих безопасности реактора ИРТ-Т или его персонала.

5.4. Пределы нормальной эксплуатации реактора ИРТ-Т и значения параметров для срабатывания аварийной защиты

С целью повышения безопасности эксплуатации реактора ИРТ-Т установлены пределы нормальной эксплуатации и пределы безопасной эксплуатации реактора ИРТ-Т. Пределом нормальной эксплуатации реактора ИРТ-Т по уровню мощности являются значения мощности, равные **1,1 заданной мощности**. Эти значения являются уставками для срабатывания предупредительной сигнализации.

Значения уставок для срабатывания аварийной защиты по уровню мощности устанавливаются равными **1,2 заданной мощности.**

Пределом нормальной эксплуатации по скорости нарастания мощности является период реактора ИРТ-Т равный 20 с. Это значение является уставкой для срабатывания предупредительной сигнализации. Для срабатывания аварийной защиты по периоду удвоения мощности реактора значение уставки должно быть равно 10 с.

5.5. Проведение градуировки каналов контроля плотности потока нейтронов по тепловой мощности

5.5.1. Определение эффективности стержня АР по периоду удвоения мощности реактора ИРТ-Т

Перед пуском реактора ИРТ-Т необходимо включить насос аварийного охлаждения (НАО) для поддержания температуры теплоносителя во время проведения работы. Далее реактор ИРТ-Т приводится в критическое состояние. После того как реактор ИРТ-Т вышел на заданный уровень мощности, необходимо:

- установить переключатель «РО АР Автомат/Ручной» в положение «Ручной»;
- на ВИЗМ-1–4 выставить пределы срабатывания аварийной защиты, по мощности в 20 раз превышающие исходный уровень мощности реактора ИРТ-Т;
- провести перекомпенсацию положения рабочих органов КО и АР таким образом, чтобы рабочий орган АР опустился в крайнее нижнее положение, при этом важно поддерживать реактор в критическом состоянии на исходном уровне мощности;
- произвести извлечение части рабочего органа АР из активной зоны таким образом, чтобы вводимая положительная реактивность не превысила величину 0,3 $\beta_{эф}$. Реактор ИРТ-Т с новым положением рабочего органа АР выдерживается в течение времени, необходимого для увеличения мощности до 100 кВт;
- засечь время увеличения мощности реактора ИРТ-Т в 2 раза по четырем каналам измерения относительной мощности на РСО;
- при достижении значения уровня мощности примерно на 20 % меньше предела срабатывания аварийной защиты скомпенсировать избыточную положительную реактивность, введенную при извлечении рабочего органа АР, каким-либо рабочим органом КО. Затем, за счет дальнейшего погружения рабочего органа КО в активную зону, снизить уровень мощности реактора ИРТ-Т до исходного и привести реактор ИРТ-Т в критическое состояние;
- определить эффективность части рабочего органа АР, которая соответствует зафиксированному времени удвоения мощности (рис. 5.1);
- повторить предыдущие действия до полного извлечения органа АР для определения эффективности следующего участка рабочего органа АР;
- построить интегральную характеристику рабочего органа АР по результатам определения эффективности его отдельных участков.

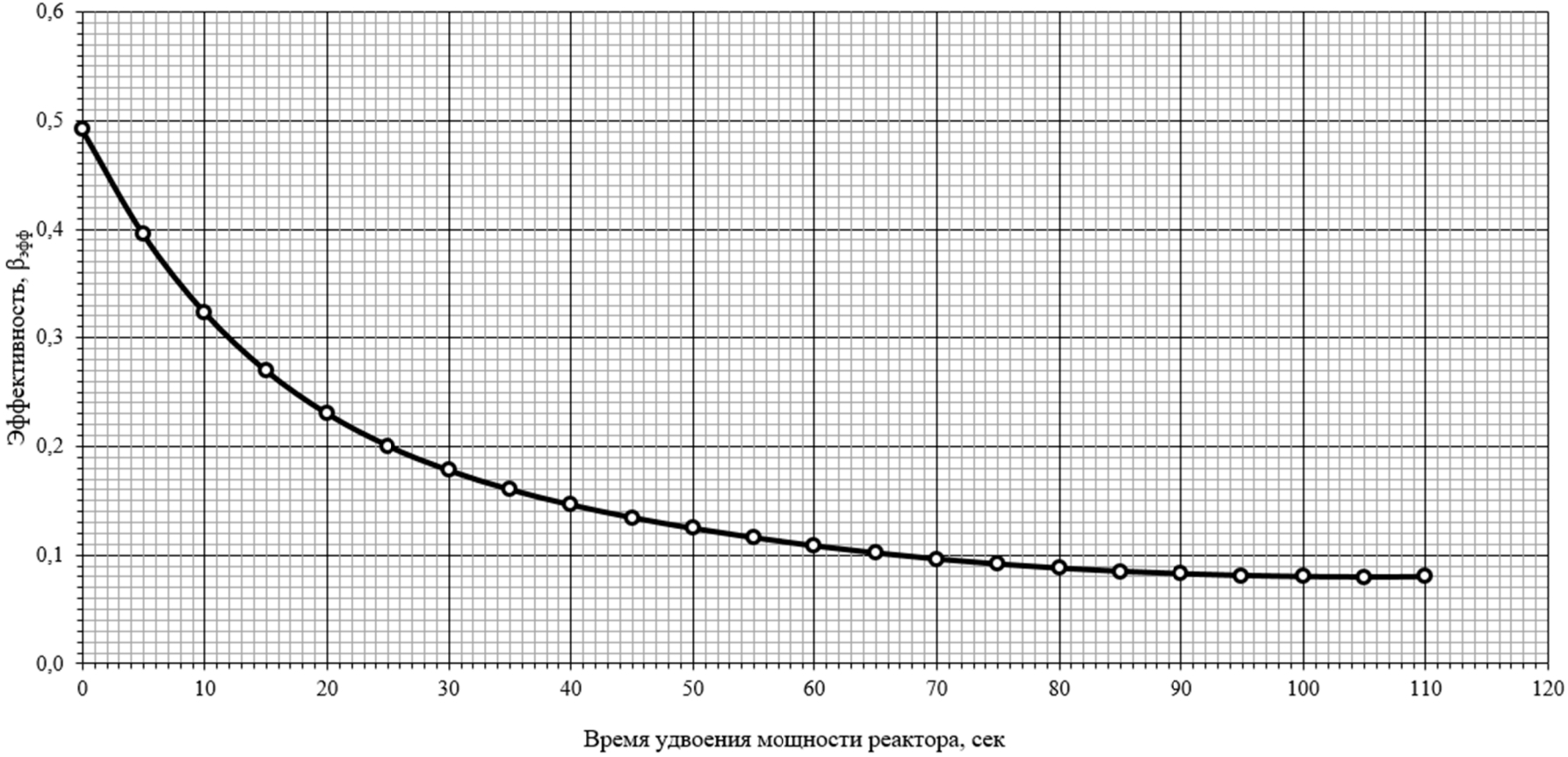

Рис. 5.1. Зависимость эффективности рабочего органа АР от времени удвоения мощности реактора ИРТ-Т

5.5.2. Определение эффективности рабочих органов КО реактора ИРТ-Т методом перекомпенсации

После определения эффективности стержня необходимо рабочие органы АР и КО-2 полностью погрузить в активную зону, рабочие органы КО-3 полностью извлечь из активной зоны, а критическое состояние реактора ИРТ-Т поддерживать с помощью рабочих органов КО-1.

Для определения эффективности рабочих органов КО реактора ИРТ-Т методом перекомпенсации производятся следующие операции:

- фиксируется положение рабочих органов КО-3 и АР, соответствующее критическому состоянию реактора ИРТ-Т;
- рабочий орган АР извлекается из активной зоны до верхнего крайнего положения, при этом вводимая положительная реактивность компенсируется рабочими органами КО-3 и производится запись положения рабочих органов КО и АР;
- рабочий орган АР опускается в крайнее нижнее положение в активную зону, при этом вводимая отрицательная реактивность компенсируется рабочими органами КО-2 и производится запись положения рабочих органов КО и АР;
- производится повторение предыдущих действий до полного извлечения рабочих органов КО-2 из активной зоны и полного погружения рабочих органов КО-3 в активную зону.

После проведения вышеперечисленных манипуляций необходимо рабочие органы АР и КО-3 полностью погрузить в активную зону, а рабочие органы КО-1 полностью извлечь из активной зоны, критическое состояние реактора ИРТ-Т поддерживать с помощью рабочих органов КО-2. Далее производится запись положения рабочих органов КО и АР, соответствующего критическому состоянию реактора ИРТ-Т.

По завершении проводятся те же манипуляции, что и ранее, только с другими РО:

- рабочий орган АР извлекается из активной зоны до верхнего крайнего положения, при этом вводимая положительная реактивность компенсируется рабочими органами КО-1 и производится запись положения рабочих органов КО и АР;
- рабочий орган АР опускается в крайнее нижнее положение в активную зону, при этом вводимая отрицательная реактивность компенсируется рабочими органами КО-3 и производится запись положения рабочих органов КО и АР;
- производится повторение предыдущих действий до полного извлечения рабочих органов КО-3 из активной зоны и полного погружения рабочих органов КО-1 в активную зону.

Интегральная характеристика каждого из рабочих органов КО строится по результатам определения эффективности его отдельных участков.

5.6. Действия оперативного персонала в нештатных ситуациях

5.6.1. Общие указания

При обнаружении неисправности в системе принимается решение о возможности дальнейшей работы реактора, об изменении режима или его остановке. Должны быть приняты меры для устранения неисправностей.

Если отказ или выход из строя приборов и оборудования аппаратуры системы управления и защиты привели к срабатыванию аварийной защиты или вынужденной остановке реактора, по окончании ремонтных работ проводится дополнительная предпусковая проверка.

После отказа или выхода из строя других приборов и оборудования необходимость проведения дополнительной предпусковой проверки определяется инструкцией, выпускаемой эксплуатирующей организацией.

5.6.2. Порядок действий сменного персонала при нарушении пределов и условий нормальной эксплуатации реактора ИРТ-Т

В табл. 5.1 указан алгоритм действий сменного персонала при отклонениях от нормальных условий эксплуатации реактора ИРТ-Т.

Таблица 5.1

Действия сменного персонала при нарушении пределов и условий нормальной эксплуатации реактора ИРТ-Т

1	Течь сальниковых уплотнений насосов первого и (или) второго контуров охлаждения	Убедиться в наличии течи. Устранить течь. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации
2	Наличие воды в приямках первого и второго контуров охлаждения, теплообменников, внешней задерживающей емкости	Выяснить причину появления воды. Устранить неисправность. Воду откачать: • из приямков первого контура, задерживающей емкости и теплообменников в специальную канализацию; • из приямка второго контура в фекальную канализацию
3	Повышение температуры на входе в активную зону реактора ИРТ-Т	Снизить уровень мощности до исчезновения сигнала. По приборам контроля температуры и расхода теплоносителя определить соответствие уровня мощности заданному. Проверить соответствие режима работы первого и второго контуров охлаждения заданному уровню мощности. Проверить соответствие параметров первого и второго контуров охлаждения нормальным значениям, указанным в пп. 3.2, 3.3. Проверить режим работы градирни, при необходимости изменить режим для увеличения теплообмена
4	Повышение перепада температуры на входе-выходе активной зоны реактора ИРТ-Т на 10 %	Снизить уровень мощности до исчезновения сигнала. Проверить соответствие уровня мощности заданному. Проверить соответствие параметров режима работы первого и второго контуров охлаждения данному уровню мощности. В случае несоответствия параметров работы контуров охлаждения данному уровню мощности отрегулировать работу контуров охлаждения. В случае неисправности каналов контроля температуры – реактор ИРТ-Т остановить. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации
5	Уровень воды в баке реактора ИРТ-Т ниже 7,20 м	Определить и устранить причину понижения уровня. Подпитать бак реактора ИРТ-Т. *Примечание:* понижение уровня деминерализованной воды в баке реактора ИРТ-Т за счет естественного уноса составляет не более 2 см за 12 часов

Продолжение табл. 5.1

6	Перелив воды в баке реактора ИРТ-Т	Проверить, закрыты ли подпиточные задвижки. Проверить уровень по показаниям приборов. Проверить качество деминерализованной воды в баке реактора ИРТ-Т. В случае определения попадания в бак реактора ИРТ-Т технической воды реактор ИРТ-Т остановить. Убедиться, что прекращено аварийное заполнение бака реактора ИРТ-Т технической водой. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации
7	Разрежение под верхним настилом бака реактора ИРТ-Т ниже нормального значения на 10 %	Убедиться в исправности прибора и системы специальной вентиляции В1-1, В1-2. Проверить, закрыты ли отверстия на верхнем настиле бака реактора ИРТ-Т. Если не удаётся восстановить необходимое разрежение, реактор ИРТ-Т остановить. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации
8	Снижение давления во втором контуре охлаждения	Убедиться в правильности показаний прибора, в исправности работы насосов. Проверить состояние приёмной сетки на градирне, при необходимости сетку почистить
9	Снижение расхода воды во втором контуре охлаждения	Убедиться в правильности показаний прибора и в исправной работе насосов второго контура охлаждения. Состояние арматуры должно соответствовать заданному режиму. В случае неисправности в работе насоса перейти на резервный насос
10	Снижение уровня деминерализованной воды в шахте-хранилище ОТВС	Убедиться в правильности срабатывания сигнализации. Подпитать деминерализованной водой шахту-хранилище ОТВС до номинального уровня. Деблокировать световой сигнал о снижении уровня. Убедиться в снятии светового сигнала
11	Увеличение β-активности газов в воздухе, удаляемом из надреакторного пространства и помещений	Определить, в каком помещении произошло увеличение β-активности воздуха. Определить причину повышения β-активности воздуха. Принять меры по защите персонала от воздействий β-активного воздуха, удалив персонал из помещения. По возможности устранить причину повышения β-активности воздуха. При увеличении β-активности в воздухе, удаляемом из надреакторного пространства более чем в два раза реактор ИРТ-Т остановить. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации
12	Увеличение мощности дозы гамма-излучения	Определить помещение и место повышения мощности дозы γ-излучения. Принять меры по защите персонала от переоблучения, удалив персонал из опасной зоны. Определить причину повышения мощности дозы γ-излучения и устранить её. В случае повышения мощности дозы γ-излучения от всасывающего трубопровода первого контура охлаждения в 2 раза, реактор ИРТ-Т остановить. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации

Окончание табл. 5.1

13	Отключение вентилятора системы специальной вентиляции В1-1, В1-2 здания реактора ИРТ-Т	Включить резервный вентилятор системы специальной вентиляции В1. Если включить систему специальной вентиляции В1 не удаётся, остановить реактор ИРТ-Т. Переключить систему приточной вентиляции П1-1,2 в аварийный режим работы. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации
14	Разгерметизация ТВС в активной зоне реактора ИРТ-Т. *Признаками разгерметизации ТВС являются:* • повышение радиоактивности деминерализованной воды первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т, обнаруживаемое в результате измерения активности «сухого» остатка пробы; • повышение мощности дозы γ-излучения на крышке бака реактора ИРТ-Т; • повышение β-активности воздуха, удаляемого из надреакторного пространства; • повышение мощности дозы γ-излучения от всасывающего трубопровода первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т	В случае разгерметизации ТВС в активной зоне реактора ИРТ-Т: • остановить реактор ИРТ-Т; • усилить контроль за содержанием аэрозолей и β-активности в воздухе, удаляемом из надреакторного пространства. Доложить главному инженеру реактора ИРТ-Т или его заместителю по эксплуатации. Принять меры по защите персонала реактора ИРТ-Т. Негерметичная ТВС извлекается из активной зоны реактора ИРТ-Т, помещается в шахту-хранилище ОТВС с помощью перегрузочного защитного контейнера УФФА и устанавливается в специальный контейнер для негерметичных ОТВС, препятствующий распространению продуктов деления в охлаждающей среде

Список литературы

1. Инструкция по эксплуатации комплекса аппаратуры системы управления и защиты реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2023. – 66 с.

2. Инструкция по эксплуатации исследовательского реактора ИРТ-Т. – Томск : НИ ТПУ, 2023. – 66 с.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие работы проводятся на реакторе ИРТ-Т?
2. Опишите процесс предпусковой проверки комплекса аппаратуры СУЗ реактора ИРТ-Т.
3. Как производится пуск реактора ИРТ-Т?

4. Как производится проверка хода стержней РО АР, КО1-КО3 и срабатывания аварийной защиты комплекса аппаратуры СУЗ реактора ИРТ-Т?

5. Как производится вывод реактора ИРТ-Т на мощность в автоматическом режиме?

6. Как осуществляется вывод реактора ИРТ-Т на мощность в ручном режиме?

7. Как изменяют мощность реактора ИРТ-Т?

8. Как производится контроль за системой при работе реактора ИРТ-Т на мощности?

9. Каков порядок действий при плановом и неплановом останове реактора ИРТ-Т?

10. Как определяется эффективность стержня АР по периоду удвоения мощности реактора ИРТ-Т?

11. Опишите процесс определения эффективности рабочих органов КО реактора ИРТ-Т методом перекомпенсации.

12. Каков порядок действий сменного персонала при нарушении пределов и условий нормальной эксплуатации реактора ИРТ-Т?

Учебное издание

НАЙМУШИН Артем Георгиевич
ОВСЕНЁВ Александр Евгеньевич
АНИКИН Михаил Николаевич
ЛЕБЕДЕВ Иван Игоревич
СМОЛЬНИКОВ Никита Викторович
ХУДОЛЕЕВ Петр Николаевич

СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т

Практикум

Учебно-методическое пособие

Корректура *Д.В. Заремба*
Компьютерная верстка *Д.В. Сотникова*
Дизайн обложки *И.И. Лебедев*

Подписано к печати 29.11.2024. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать CANON. Усл. печ. л. 10,35. Уч.-изд. л. 9,36.
Заказ 432-24. Тираж 100 экз.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ