

СБОРКИ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Руководство по эксплуатации

ИПИС.418260.002 РЭ

LN2O.E.D32.1.0JAA31.JAA11.073.KC.0001

Метрологическая экспертиза
по состоянию на 20.02.2013 г. проведена
Подпись *И.И.И.*



Для АЭС

Разработчик не несет ответственности за
содержание копии, не заверенной его печатью

Содержание

1	Описание и работа СВРД и их составных частей	4
1.1	Назначение и область применения	4
1.2	Общие сведения.	6
1.3	Характеристики СВРД и их составных частей	7
1.4	Надежность.	11
1.5	Комплект поставки.	12
1.6	Устройство и работа СВРД и их составных частей	14
1.7	Требования к измерительной аппаратуре и линиям связи.	25
1.8	Маркировка и пломбирование	27
1.9	Упаковка	27
2	Требования безопасности.	29
3	Использование СВРД по назначению	30
3.1	Устойчивость к внешним воздействующим факторам	30
3.2	Входной контроль.	32
3.3	Работа СВРД в условиях эксплуатации.	35
3.4	Проверка технического состояния СВРД в условиях эксплуатации.	43
4	Монтаж СВРД на реакторе, перегрузка, демонтаж	46
4.1	Общие положения	46
4.2	Первая установка СВРД в реактор.	46
4.3	Перегрузка СВРД.	47
4.4	Демонтаж СВРД.	48
5	Транспортирование, хранение и утилизация	49
5.1	Условия транспортирования.	49
5.2	Условия и срок хранения СВРД.	49
5.3	Утилизация СВРД	49
	Список сокращений	50
	Приложение А. СВРД для реакторов ВВЭР-440 (реакторные установки В-179, В-213, В-230)	51
	Приложение Б. СВРД для реакторов ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 (реакторные установки В-187, В-302, В-320, В-338, В-392М, В-491).	64
	Приложение В. Перечень средств измерений и оборудования, необходимых для контроля СВРД	80

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата				
6 - - - - -	25.03.2016							
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ			
Разраб	25.03.2016	Сборки внутриреакторных детекторов Руководство по эксплуатации			Литера	Лист	Листов	
Н. контр	25.03.2016				О1	2	84	
УТВ	25.03.2016				ИНКОР			

Настоящее руководство по эксплуатации распространяется на сборки внутриреакторных детекторов (СВРД) и предназначено для изучения и правильной эксплуатации изделий.

Руководство по эксплуатации содержит описание, технические данные, порядок монтажа, технического обслуживания и другие сведения, необходимые при использовании СВРД по назначению.

В процессе эксплуатации СВРД необходимо дополнительно руководствоваться инструкцией по эксплуатации ядерных реакторов, действующей на АЭС, правилами и нормами, действующими в атомной энергетике.

К обслуживанию СВРД допускаются лица, прошедшие обучение на знание «Правил и норм по безопасности в атомной энергетике» и допущенные к работе в качестве эксплуатационного персонала, согласно действующим на АЭС инструкциям.

Класс безопасности СВРД – 2НУ по НП-001-15.

СВРД в части требований к погружаемой части чехла относятся к группе В по НП-089-15.

Климатическое исполнение – В, категория размещения - 4 по ГОСТ 15150-69.

Категория сейсмостойкости СВРД – I по НП-031-01.

Программа обеспечения качества соответствует ГОСТ ISO 9001-2011 с учетом требований НП-090-11, международных стандартов серии ИСО 9000 и норм МАГАТЭ по безопасности.

Категория обеспечения качества СВРД указана в паспорте изделия.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6 - - - -	<i>СВ</i> 13 СЕН 2016			

66	Зам.		<i>СВ</i>	19.09.16.	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист 3
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

1 Описание и работа СВРД и их составных частей

1.1 Назначение и область применения

1.1.1 СВРД предназначены для контроля следующих параметров активной зоны реакторов типа ВВЭР атомных электростанций:

- плотности потока нейтронов (энерговыведения);
- температуры теплоносителя;
- температуры реактора (активной зоны) в аварийном состоянии;
- уровня теплоносителя в корпусе реактора.

1.1.2 СВРД в части контроля энерговыведения и температуры теплоносителя входят в состав системы внутриреакторного контроля – СВРК.

СВРД в части контроля уровня теплоносителя входят в состав системы контроля уровня теплоносителя в корпусе реактора – СКУТ.

СВРД в части контроля уровня теплоносителя в корпусе реактора и температуры могут входить в состав "аварийного КИПа" и соответствуют требованиям "Regulatory Guide 1.97".

1.1.3 СВРД предназначены для установки в теплоноситель первого контура, являются границей первого контура в местах их установки и обеспечивают на всех проектных режимах работы герметизацию корпуса реактора.

1.1.4 В зависимости от функционального назначения СВРД изготавливаются следующих наименований:

- КНИ — каналы нейтронные измерительные, предназначенные для внутриреакторного контроля распределения плотности потока нейтронов (энерговыведения) по высоте и радиусу активной зоны;

- КНИТ — каналы нейтронные измерительные температурные, предназначенные для внутриреакторного контроля распределения плотности потока нейтронов (энерговыведения) по высоте и радиусу активной зоны и температуры теплоносителя в одной точке;

- КНИТТ — каналы нейтронные измерительные температурные, предназначенные для внутриреакторного контроля распределения плотности потока нейтронов (энерговыведения) по высоте и радиусу активной зоны и температуры теплоносителя в двух точках по высоте;

- КНИТ2Т — каналы нейтронные измерительные температурные, предназначенные для внутриреакторного контроля распределения плотности потока нейтронов (энерговыведения) по высоте и радиусу активной зоны и температуры теплоносителя в трех точках по высоте;

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6 - - - - -	825 янв 2015			

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
50	34м.		601	15.01/5		4

- КНИТЗТ — каналы нейтронные измерительные температурные, предназначенные для внутриреакторного контроля распределения плотности потока нейтронов (энерговыведения) по высоте и радиусу активной зоны и температуры теплоносителя в четырех точках по высоте;

- КНИТУ — каналы нейтронные измерительные температурные с индикатором уровня теплоносителя в корпусе реактора, предназначенные для внутриреакторного контроля распределения плотности потока нейтронов (энерговыведения) по высоте и радиусу активной зоны, температуры теплоносителя в двух или трех точках по высоте и уровня теплоносителя в корпусе реактора;

- КИТУ — каналы измерительные температурные с индикатором уровня теплоносителя в корпусе реактора, предназначенные для внутриреакторного контроля температуры и уровня теплоносителя в корпусе реактора;

1.1.5 СВРД предназначены для использования на реакторах ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 с различными реакторными установками (далее – РУ). В зависимости от типа РУ, для которой они предназначены, СВРД присваиваются условные номера, указанные в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Наименование СВРД	Условный номер СВРД	Тип реакторной установки		Обозначение приложения
КНИ	3	ВВЭР-440		А
КНИ, КНИТ, КНИТТ, КНИТУ, КИТУ	1		РУ В-213	
КНИ, КНИТ, КНИТТ, КНИТУ, КИТУ	11		РУ В-230 РУ В-179	
КНИ, КНИТ, КНИТТ, КНИТУ	2	ВВЭР-1000	РУ В-187	Б
КНИ, КНИТ, КНИТТ, КНИТ2Т, КНИТУ	5		РУ В-302 РУ В-320 РУ В-338	
КНИТ2Т, КНИТ3Т, КНИТУ	19		РУ В-392М	
	16	ВВЭР-1200	РУ В-491	

1.1.6 СВРД должны эксплуатироваться совместно со шлейфом ШТ-1 по ШПИС.685611.001 ТУ/П и кабельной трассой ТК-1 по ШПИС.685694.001 ТУ/П.

Примечание – Допускается по согласованию с разработчиком эксплуатация СВРД с линиями связи других конструкций.

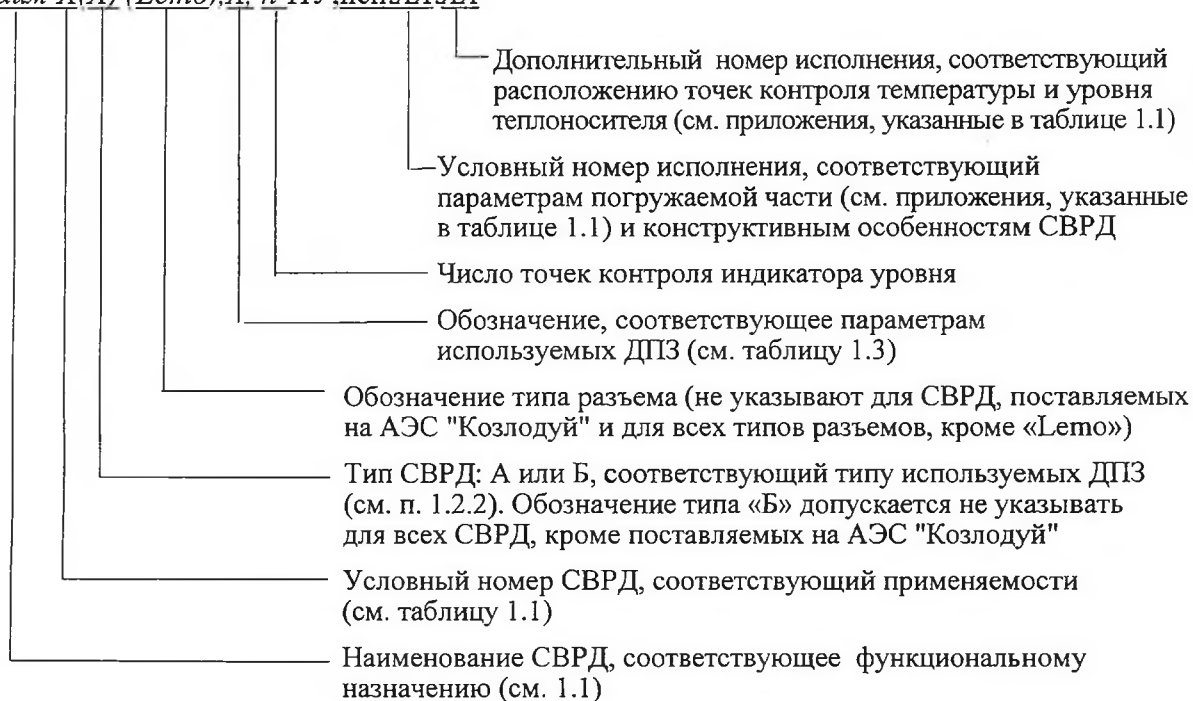
СВРД.КНИТУ и СВРД.КИТУ должны эксплуатироваться совместно с аппаратурой индикатора уровня (далее АИУ) ШПИС.408842.001 ТУ/П.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	30.03.2015			
53	Зам.			30.03.15
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1.2 Общие сведения

1.2.1 СВРД имеют условное обозначение:

СВРД.наим-Х(Х) (Lemo), Х, n-ИУ, исп.ХХ.ХХ



Примечание – При отсутствии каких-либо функций, соответствующая позиция в условном обозначении СВРД не указывается.

1.2.2 Контроль плотности потока нейтронов осуществляется в СВРД одновременно в семи точках по высоте активной зоны с помощью детекторов прямого заряда (далее ДПЗ) с эмиттером из родия.

В зависимости от типа используемых ДПЗ, СВРД изготавливают следующих типов:

- тип А – с использованием ДПЗ без компенсации тока линии связи - ДПЗ.01 и фоновое ДПЗ (без эмиттера) - ДПЗ.03;

- тип Б - с использованием ДПЗ с компенсацией тока линии связи - ДПЗ.02.

1.2.3 Контроль температуры теплоносителя и контроль температуры реактора в аварийном состоянии в СВРД осуществляется с помощью термоэлектрических преобразователей (далее ТП) типа ТХА с неизолированным (заземленным) горячим спаем термопары. Точкой контроля температуры является место расположения горячего спая термопары термоэлектрического преобразователя.

1.2.4 Контроль уровня теплоносителя в СВРД с индикатором уровня (КНИТУ, КИТУ) осуществляется с помощью индикатора уровня (далее ИУ) дискретного действия, который содержит электронагреватель (далее ЭНИУ), нагреваемые (ТПИУ) и ненагреваемые (ТП) термоэлектрические преобразователи типа ТХА. Точкой контроля уровня теплоносителя является место расположения горячего спая термопары ТПИУ.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	СВ 24 APR 2013			
40	Зат.			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ШПИС.418260.002 РЭ				Лист
				6

1.2.5 Температура холодных спаев ТПИУ и ТП в СВРД контролируется термопреобразователем сопротивления (далее – ТС) в составе СВРД. Для выравнивания температуры чувствительного элемента ТС и холодных спаев ТП и ТПИУ в состав СВРД входит пассивный термостат.

1.3 Характеристики СВРД и их составных частей

1.3.1 Технические характеристики и состав СВРД

1.3.1.1 Внешний вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры, номинальный базовый размер (расстояние от нижнего конца чехла СВРД до центра эмиттера нижнего ДПЗ) и расчетная масса СВРД приведены в приложениях, указанных в таблице 1.1.

Фактический базовый размер приведен в паспорте на СВРД.

1.3.1.2 В состав СВРД входят:

- первичные измерительные преобразователи (ДПЗ, ТП, ТПИУ и ТС) типы и число которых для различных наименований СВРД приведены в таблице 1.2;

Таблица 1.2

СВРД	Тип ДПЗ	Количество, шт			
		ДПЗ	ТП	ТПИУ	ТС
КНИ-... (А)	ДПЗ.01	7	—	—	—
	ДПЗ.03	1	—	—	—
КНИ-... (Б)	ДПЗ.02	7	—	—	—
КНИТ	ДПЗ.02	7	1	—	1
КНИТТ	ДПЗ.02	7	2	—	1
КНИТ2Т	ДПЗ.02	7	3	—	1
КНИТ3Т	ДПЗ.02	7	4	—	1
КНИТУ (кроме КНИТУ-1(А)(Lemo), КНИТУ-5(Lemo), исп.02 и исп.04, КНИТУ-19(Lemo), КНИТУ-16(Lemo))	ДПЗ.02	7	2	не более 3	1
КНИТУ-1(А)(Lemo)	ДПЗ.01	7	2		1
	ДПЗ.03	1			
КНИТУ-5(Lemo), исп.02 и исп.04, КНИТУ-19(Lemo), КНИТУ-16(Lemo)	ДПЗ.02	7	3		1
КИТУ	—	—	2	не более 7	1

- чехол, обеспечивающий герметизацию корпуса реактора и предохраняющий детекторы от воздействия среды активной зоны;

- узел герметизации СВРД, обеспечивающий герметизацию корпуса реактора в случае разрушения погружаемой части чехла;

- электрический соединитель, обеспечивающий передачу сигналов от СВРД к шлейфу.

В состав СВРД, имеющих термопреобразователи (КНИТ, КНИТТ, КНИТ2Т, КНИТ3Т, КНИТУ и КИТУ), дополнительно входит пассивный термостат - термостатирующее устройство, обеспечивающее равенство температур чувствительного элемента ТС и холодных спаев термопар ТП и ТПИУ.

В состав СВРД, имеющих индикатор уровня (КНИТУ и КИТУ), дополнительно входит электронагреватель ЭНИУ.

Инов. № дубл.	Подпись и дата
Инов. №	Взам. инв. №
Инов. № подл.	Подпись и дата

1.3.1.3 Схемы расположения ДПЗ, ТП и ТПИУ по высоте СВРД приведены в приложениях, указанных в таблице 1.1.

1.3.1.4 Адреса внешних подключений выводов ДПЗ, ТП, ТПИУ, ТС и ЭНИУ на электрическом соединителе СВРД указаны на схемах электрических принципиальных, приведенных в соответствующих приложениях – см. таблицу 1.1.

1.3.1.5 Чехол СВРД герметичен и исключает утечку теплоносителя первого контура в течение всего срока службы.

1.3.1.6 В СВРД обеспечено отсутствие взаимного влияния ДПЗ друг на друга.

1.3.1.7 СВРД одного условного обозначения взаимозаменяемы.

1.3.1.8 Электрическое сопротивление изоляции между корпусом СВРД и электрически не связанными с ним контактами электрического соединителя, и между контактами, электрически не связанными друг с другом, составляет:

- 1) в нормальных климатических условиях – не менее $1,0 \cdot 10^9$ Ом;
- 2) в нормальных условиях эксплуатации:
 - для ДПЗ – не менее $1,0 \cdot 10^6$ Ом;
 - для ТС и ЭНИУ – не менее $1,0 \cdot 10^5$ Ом.

Допускается снижение сопротивление изоляции ДПЗ в нормальных условиях эксплуатации до $1,0 \cdot 10^5$ Ом при условии введения поправки на ток утечки в соответствии с 3.3.1.1.

1.3.2 Параметры и характеристики ДПЗ

1.3.2.1 В СВРД используются ДПЗ с эмиттером из родия. В качестве материала изоляции линии связи ДПЗ используется Al_2O_3 .

Номинальные размеры эмиттера ДПЗ и соответствующее обозначение в условном обозначении СВРД приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Обозначение	Номинальный диаметр, мм	Номинальная длина, мм
1	0,5	200
2; 2х	0,5	250
3	1,0	100
4	1,0	200
5	1,0	250

Примечание – Обозначение «2х» используется для изделий, поставляемых на АЭС «Козлодуй»

1.3.2.2 Характеристики ДПЗ, входящих в состав СВРД, в зависимости от номинального диаметра и номинальной длины эмиттера приведены в таблице 1.4.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
6	СР	20	ФЕВ	2013						
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ					Лист
										8

Таблица 1.4

Наименование характеристики		Значение параметра при размерах эмиттера				
		диаметр 0,5 мм		диаметр 1,0 мм		
		длина 200 мм	длина 250 мм	длина 100 мм	длина 200 мм	длина 250 мм
Начальная чувствительность к условной плотности потока нейтронов, $A \cdot m^2 \cdot c$	- полная	$2,40 \cdot 10^{-24}$	$3,00 \cdot 10^{-24}$	$2,50 \cdot 10^{-24}$	$5,00 \cdot 10^{-24}$	$6,25 \cdot 10^{-24}$
	- активационная	$2,26 \cdot 10^{-24}$	$2,83 \cdot 10^{-24}$	$2,25 \cdot 10^{-24}$	$4,50 \cdot 10^{-24}$	$5,63 \cdot 10^{-24}$
	- активационная, определяемая прямым образованием Rh^{104}	$2,08 \cdot 10^{-24}$	$2,60 \cdot 10^{-24}$	$2,07 \cdot 10^{-24}$	$4,14 \cdot 10^{-24}$	$5,18 \cdot 10^{-24}$
	- активационная, определяемая образованием Rh^{104m}	$0,18 \cdot 10^{-24}$	$0,23 \cdot 10^{-24}$	$0,18 \cdot 10^{-24}$	$0,36 \cdot 10^{-24}$	$0,45 \cdot 10^{-24}$
	- комптоновская	$0,14 \cdot 10^{-24}$	$0,17 \cdot 10^{-24}$	$0,25 \cdot 10^{-24}$	$0,50 \cdot 10^{-24}$	$0,62 \cdot 10^{-24}$
Изменение чувствительности за счет выгорания материала эмиттера, %/(А·с)		0,41	0,33	0,39	0,20	0,16
Чувствительность к мощности поглощенной дозы гамма-излучения Co^{60} , А·с/Гр		$1,6 \cdot 10^{-11}$	$2,0 \cdot 10^{-11}$	$1,9 \cdot 10^{-11}$	$3,8 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$

1.3.2.3 Начальная чувствительность к условной плотности потока нейтронов ДПЗ с эмиттерами одного номинального размера, различается не более, чем на 0,75 %.

Чувствительность к мощности поглощенной дозы гамма-излучения Co^{60} ДПЗ с эмиттерами одного номинального размера различается не более, чем на 2,0 %.

1.3.2.4 Чувствительность линии связи ДПЗ.02 для одной жилы длиной 1 м по абсолютному значению составляет:

- к условной плотности потока нейтронов - не более $2 \cdot 10^{-25} A \cdot m^2 \cdot c$;
- к мощности поглощенной дозы гамма-излучения Co^{60} - не более $4 \cdot 10^{-11} A \cdot c / Gr$.

Чувствительность к условной плотности потока нейтронов и чувствительность к мощности дозы гамма-излучения Co^{60} сигнальной и фоновой жил линии связи одного ДПЗ.02 различаются не более чем на 10 %.

1.3.2.5 Чувствительность фонового ДПЗ.03 и линии связи ДПЗ.01 в расчете на 1 м длины по абсолютному значению составляет:

- к условной плотности потока нейтронов - не более $4 \cdot 10^{-25} A \cdot m^2 \cdot c$,
- к мощности поглощенной дозы γ -излучения Co^{60} - не более $8 \cdot 10^{-11} A \cdot c / Gr$;

Чувствительность к условной плотности потока нейтронов и чувствительность к мощности дозы гамма-излучения Co^{60} фонового ДПЗ.03 и линии связи ДПЗ.01 в расчете на 1 м длины различаются не более чем на 20 %.

Интв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Интв. № дубл.	Подпись и дата
6	сбс 20 ФЕВ 2013			

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист 9

1.3.3 Параметры и характеристики ТП и ТПИУ

1.3.3.1 В СВРД используются кабельные термоэлектрические преобразователи с минеральной изоляцией в герметичном исполнении.

Материал термоэлектродных жил – сплав хромель и сплав алюмель или их аналоги.

Материал изоляции – MgO.

Горячий спай термопары ТП и ТПИУ – неизолированный (заземленный).

1.3.3.2 Номинальные статические характеристики преобразования ТП и ТПИУ (НСХ) соответствуют требованиям ГОСТ Р 50342-92 (МЭК 584-2-82) для ТП подгруппы ТХА с термопарой типа К класса допуска 2.

Допускается использовать термоэлектрические преобразователи класса допуска 1.

Класс допуска термоэлектрических преобразователей указывается в паспорте СВРД.

Отклонения от НСХ не превышают пределы допускаемых отклонений, установленные ГОСТ Р 8.585-2001 и ГОСТ Р 50342-92 (МЭК 584-2-82) для термоэлектрических преобразователей подгруппы ТХА с термопарой типа К соответствующего класса допуска.

1.3.3.3 Рабочий диапазон температур ТП и ТПИУ:

- для контроля температуры теплоносителя - от 0 до плюс 350 °С.

- для контроля температуры реактора в аварийном состоянии — до 1260 °С кратковременно (до 15 мин), при этом отклонение показаний термоэлектрических преобразователей от НСХ по температуре могут достигать ± 30 °С.

1.3.3.4 Термоэлектрические преобразователи с длиной погружаемой части 250 мм и более прокалиброваны при значениях температуры от 0 до плюс 350 °С с интервалом (50 ± 5) °С и погрешностью не более $\pm 0,5$ °С. Допускается по согласованию с заказчиком калибровать ТП и ТПИУ в трех точках: 250, 300 и 350 °С.

Калибровку термоэлектрических преобразователей с длиной погружаемой части менее 250 мм допускается по согласованию с Заказчиком проводить на образцах - термоэлектрических преобразователях с длиной погружаемой части 250 мм и более, изготовленных из той же бухты кабеля, что и термоэлектрические преобразователи, подлежащие калибровке.

Калибровка термоэлектрических преобразователей проводит организация, аккредитованная на проведение калибровочных работ в установленном порядке.

Результаты калибровки термоэлектрических преобразователей занесены в паспорт СВРД.

1.3.3.5 Показатель тепловой инерции ТП и ТПИУ, определяемый при коэффициенте теплоотдачи практически равном бесконечности, составляет не более 0,2 с.

1.3.3.6 Дополнительная погрешность контроля температуры за счет радиационного разогрева ТП и ТПИУ в СВРД, устанавливаемых в теплоноситель первого контура, составляет не более $+ 0,003$ °С·с / Гр.

1.3.4 Характеристики ТС и пассивного термостата

1.3.4.1 В СВРД используется ТС с платиновым чувствительным элементом с номинальным сопротивлением при температуре 0 °С, равным 100 Ом.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	СВРД 24 АПР 2013			

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
40	394		СВРД	24.04.13		10

Условное обозначение номинальной статической характеристики (НСХ) – 100П или Pt100 по ГОСТ 6651-2009 и IEC 60751(2008).

Рабочий диапазон температур ТС:

- в СВРД.КНИТУ-16(Lemo) - от 0 до 250 °С;
- в остальных СВРД – от 0 до 180 °С.

1.3.4.2 Номинальные статические характеристики чувствительного элемента ТС и отклонение от НСХ соответствуют классу допуска А по ГОСТ 6651-2009 и IEC 60751(2008).

По требованию заказчика чувствительные элементы ТС могут быть прокалиброваны в рабочем диапазоне температур с погрешностью не более $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Количество калибровочных точек и значения температуры в калибровочных точках оговариваются в контракте.

Результаты калибровки приведены в паспорте СВРД.

1.3.4.3 Градиент температуры в пассивном термостате при нормальных условиях эксплуатации – не более $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$.

1.3.5 Характеристики ИУ

1.3.5.1 Число точек контроля уровня ИУ: в КНИТУ – не более 3, в КИТУ – не более 7.

1.3.5.2 Зона разрешения ИУ относительно фиксированной точки контроля – не более ± 50 мм.

1.3.5.3 Инерционность ИУ – не более 30 с после прохождения уровня данной точки контроля, включая зону разрешения.

Электрическое сопротивление ЭНИУ в расчете на одну точку контроля уровня без учета сопротивления подводящих проводов составляет:

- в нормальных климатических условиях – от 3,3 до 6 Ом;
- в нормальных условиях эксплуатации – от 5,5 до 10 Ом.

Фактическое значение электрического сопротивления ЭНИУ в нормальных климатических условиях приведено в паспорте СВРД.

1.4 Надежность

1.4.1 СВРД относятся к категории невосстанавливаемых изделий и ремонту не подлежат.

1.4.2 Вероятность безотказной работы СВРД в течение 40000 ч – не менее 0,8 (по отношению к полному отказу).

1.4.3 Критерии отказа СВРД

1.4.3.1 Отказ СВРД различается по функциям:

- контроль плотности потока нейтронов;
- контроль температуры теплоносителя;
- контроль температуры реактора в аварийном состоянии;
- контроль уровня теплоносителя.

Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	19 мая 2015			
56	Зсн.			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ШПИС.418260.002 РЭ

Лист 11

1.4.3.2 Критерием отказа СВРД по функции контроля плотности потока нейтронов является отказ более двух ДПЗ, расположенных рядом (без учета фоновых жил или фонового ДПЗ).

Критерием отказа ДПЗ считается неустранимое отклонение измеряемого сигнала от наиболее вероятного значения более, чем на 20 %, при снижении величины сопротивления изоляции ниже $1,0 \cdot 10^5$ Ом, или отсутствие сигнала при наличии обрыва цепи.

1.4.3.3 Критерием отказа СВРД по функции контроля температуры теплоносителя считается отказ всех ТП или отказ ТС.

Критерием отказа ТП является обрыв или короткое замыкание электрической цепи вне горячего спая термопары ТП.

Критерием отказа ТС является обрыв, или короткое замыкание электрической цепи, или снижение сопротивления изоляции электрических цепей ТС ниже $1,0 \cdot 10^5$ Ом.

1.4.3.4 Критерием отказа СВРД по функции контроля температуры реактора в аварийном состоянии считается отказ всех ТП. Критерий отказа ТП – в соответствии с 1.4.3.3.

1.4.3.5 Критерием отказа СВРД по функции контроля уровня теплоносителя является отказ всех точек контроля ИУ (ТПИУ), или отказ всех ТП, или отказ ЭНИУ.

Критерием отказа ТПИУ, ТП является обрыв или короткое замыкание электрической цепи вне горячего спая термопары.

Критерием отказа ЭНИУ является обрыв или короткое замыкание электрической цепи или снижение сопротивления изоляции электрических цепей ЭНИУ ниже $1,0 \cdot 10^5$ Ом.

1.4.3.6 Полным отказом СВРД считается отказ по 1.4.3.2, 1.4.3.3, 1.4.3.4 и 1.4.3.5 одновременно.

1.4.4 Назначенный срок службы СВРД от ввода в эксплуатацию составляет:

- для СВРД, применяемых на ВВЭР-440 – 5 лет;
- для СВРД, применяемых на ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 – 4 года.

1.4.5 Средний срок сохраняемости СВРД в упаковке предприятия изготовителя составляет:

- для СВРД.КНИ-5(Б)(Lemo), исп.03, СВРД.КНИТУ-5(Б)(Lemo), исп.04, СВРД.КНИТ2Т-19(Lemo), СВРД.КНИТ3Т-19(Lemo), СВРД.КНИТУ-19(Lemo), СВРД.КНИТ2Т-16(Lemo), СВРД.КНИТ3Т-16(Lemo), СВРД.КНИТУ-16(Lemo) – 18 месяцев;
- для остальных СВРД – 1 год.

1.5 Комплект поставки

1.5.1 В комплект поставки СВРД входят:

- 1) СВРД в количестве, соответствующем контракту.

Наименования, исполнения и количество СВРД, необходимые для полного укомплектования РУ и рекомендуемое количество СВРД для ЗИП, в зависимости от типа РУ и места установки СВРД, выбираются, исходя из данных, приведенных в таблице 1.5. Количество СВРД каждого условного наименования и каждого исполнения, входящих в комплект поставки, включая ЗИП, определяет Заказчик при заключении договора на поставку.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6 - - - - -	31 MAR 2015			
53	ЗМН.			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ШПИС.418260.002 РЭ				Лист
				12

Таблица 1.5

Условное наименование СВРД и номер, соответствующий применяемости	Условный номер исполнения	Количество СВРД, шт		РУ	Место установки СВРД в РУ (номера ячеек)
		в комплекте	в ЗИП		
КНИ-1(А), КНИ-1(Б), КНИ-1(А) (Lemo), КНИ-1(Б) (Lemo), КНИ-3(А), КНИ-3(Б), КНИТ-1(Б),КНИТУ-1(Б), КИТУ-1, исп.01.03, КИТУ-1, исп.01.04, КНИТ-1(Б) (Lemo), КНИТТ-1(Б) (Lemo)	01	12	1	В-213	08-27, 16-27, 08-57, 01-42, 05-58, 17-58, 22-39, 15-56, 04-43, 20-31, 15-32, 21-48
	02	9	1		04-37, 08-53, 04-49, 19-46, 06-33, 13-60, 06-41, 21-54, 18-51
	03	7	1		11-32, 12-27, 11-54, 19-36, 09-36, 17-42, 16-37
	04	3	1		10-49, 07-48, 13-50
	05	2	1		16-47, 09-44
	06	3	1		13-40, 14-45, 11-42
	КНИТУ-1(А)(Lemo), КНИТУ-1(Б)(Lemo)	01	2		1
КНИ-2(А), КНИ-2(Б), КНИ-2(Б)(Lemo), КНИТ-2(Б), КНИТТ-2(Б), КНИТУ-2(Б),	01	8	1	В-187	01-25, 14-30, 10-38, 08-40, 09-37, 14-34, 15-25, 08-18
	02	5	1		13-29, 03-35, 12-24, 03-21, 13-21
	03	4	1		11-33, 06-22, 05-39, 10-16
	04	3	1		02-30, 11-19, 06-36
	05	4	1		12-38, 04-26, 04-22, 09-23
	06	2	1		10-28, 07-33.
	07	4	1		05-17, 07-27, 05-31, 08-32.
	08	1	1		08-28
КНИ-5(А), КНИ-5(Б), КНИТ-5(Б), КНИТ2Т-5(Б)	01	64	10	В-302 В-320 В-338	Место установки определяет заказчик
	02				
	03				
КНИТТ-5(Б), КНИТУ-5(Б)	01	12	2	В-179	
КНИТУ-5(Lemo)	02				
	04				
КНИ-11(Б), КНИ-11(Б)	03	12	2	В-230	
КИТУ-11	02				
КНИ-11(Б)	01, 02				
КНИТУ-11(Б)	01, 02	54	10	В-392М	
КИТУ-11	01				
КНИТ2Т-19(Lemo), КНИТ3Т-19(Lemo), КНИТУ-19(Lemo)	01				
КНИТ2Т-16(Lemo), КНИТ3Т-16(Lemo), КНИТУ-16(Lemo)	01	54	10	В-491	

2) Паспорт – 1 экз на каждый СВРД. Обозначения паспортов для различных наименований СВРД приведено в таблице 1.6.

3) Руководство по эксплуатации ШПИС.418260.002 РЭ (основная часть, приложение В и приложение, указанное в таблице 1.1) – копия, заверенная печатью разработчика, в количестве, соответствующем контракту.

4) Технические условия на поставку ШПИС.418260.001 ТУ/П - копия, заверенная печатью разработчика, в количестве, соответствующем контракту.

5) Копии паспортов на чехлы – 1 экз на комплект поставки.

6) Товаросопроводительная документация – 1 экз на каждое отгружаемое место.

Примечание - При поставке СВРД на экспорт перечень и количество экземпляров сопроводительных документов устанавливается в контракте на поставку.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
6	56	19	МАЙ 2015	

56	30.04.	Васильев	05.05.15
Изм	Лист	№ докум.	Подп.

ШПИС.418260.002 РЭ

Лист

13

Таблица 1.6

Наименование СВРД	Обозначение ПС	
	для российских поставок	для поставок на экспорт
КНИ	ШПИС.418260.003 ПС	ШПИС.418260.019 ПС
КНИТ	ШПИС.418260.004 ПС	ШПИС.418260.018 ПС
КНИТТ	ШПИС.418260.009 ПС	ШПИС.418260.025 ПС
КНИТ2Т	ШПИС.418260.013 ПС	ШПИС.418260.010 ПС
КНИТ3Т	ШПИС.418260.034 ПС	ШПИС.418260.014 ПС
КНИТУ	ШПИС.418260.005 ПС	ШПИС.418260.017 ПС
КНИТУ-1(А)(Lemo)	ШПИС.418260.024 ПС	ШПИС.418260.030 ПС
КИТУ	ШПИС.418260.032 ПС	ШПИС.418260.007 ПС

6) Прокладки, кольца (количество и наименования оговариваются в контракте).

1.5.2 При первой поставке СВРД должны поставляться:

- 1) Защитные заглушки в количестве, соответствующем количеству СВРД (кроме ЗИП).
- 2) Устройство для контроля СВРД в количестве, соответствующем контракту.
- 3) Установка для прогрева ДПЗ через арматуру в количестве, соответствующем контракту.

Поставка заглушек и указанного выше оборудования при последующих поставках СВРД оговаривается при заключении контракта.

1.6 Устройство и работа СВРД и их составных частей

1.6.1 Устройство СВРД

1.6.1.1 Устройство СВРД приведено на рисунке 1.

Чехол (поз.4) обеспечивает герметизацию корпуса реактора и предохраняет расположенные внутри него детекторы от воздействия среды активной зоны. Погружаемая часть чехла располагается в теплоносителе первого контура, непогружаемая часть находится вне корпуса реактора. Уплотнительное устройство (поз.3) обеспечивает уплотнение СВРД в реакторе.

Внутри чехла в его погружаемой части размещены на заданных уровнях по высоте чувствительные части ДПЗ (поз.5), горячие спаи термопар ТП (поз.9) и ТПИУ (поз.10) и нагреватель ЭНИУ (поз.11). Схемы расположения ДПЗ, ТП и ТПИУ приведены в приложениях, указанных в таблице 1.1.

В непогружаемой части чехла расположен узел герметизации (поз.2), в котором герметично зафиксированы линии связи всех ДПЗ, ТП, ТПИУ и ЭНИУ, входящих в состав СВРД. Узел герметизации обеспечивает герметизацию корпуса реактора в случае разрушения погружаемой части чехла. Выше узла герметизации находится пассивный термостат (поз.13), в котором расположены чувствительные элементы ТС (поз.12) и холодные спаи термопар ТП и ТПИУ.

Электрический соединитель (поз.1) обеспечивает передачу электрических сигналов первичных измерительных преобразователей СВРД (ДПЗ, ТП, ТПИУ, ТС) в линии связи по назначению и подачу тока в измерительную цепь ТС и цепь электропитания ЭНИУ.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6 - - - - -	11 ФЕВ 2016			

1.6.1 Устройство СВРД

1.6.1.1 Устройство СВРД приведено на рисунке 1.

Чехол (поз.4) обеспечивает герметизацию корпуса реактора и предохраняет расположенные внутри него детекторы от воздействия среды активной зоны. Погружаемая часть чехла располагается в теплоносителе первого контура, непогружаемая часть находится вне корпуса реактора. Уплотнительное устройство (поз.3) обеспечивает уплотнение СВРД в реакторе.

Внутри чехла в его погружаемой части размещены на заданных уровнях по высоте чувствительные части ДПЗ (поз.5), горячие спаи термопар ТП (поз.9) и ТПИУ (поз.10) и нагреватель ЭНИУ (поз.11). Схемы расположения ДПЗ, ТП и ТПИУ приведены в приложениях, указанных в таблице 1.1.

В непогружаемой части чехла расположен узел герметизации (поз.2), в котором герметично зафиксированы линии связи всех ДПЗ, ТП, ТПИУ и ЭНИУ, входящих в состав СВРД. Узел герметизации обеспечивает герметизацию корпуса реактора в случае разрушения погружаемой части чехла. Выше узла герметизации находится пассивный термостат (поз.13), в котором расположены чувствительные элементы ТС (поз.12) и холодные спаи термопар ТП и ТПИУ.

Электрический соединитель (поз.1) обеспечивает передачу электрических сигналов первичных измерительных преобразователей СВРД (ДПЗ, ТП, ТПИУ, ТС) в линии связи по назначению и подачу тока в измерительную цепь ТС и цепь электропитания ЭНИУ.

60	Зам.		СВ	11.02.16.
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ШПИС.418260.002 РЭ

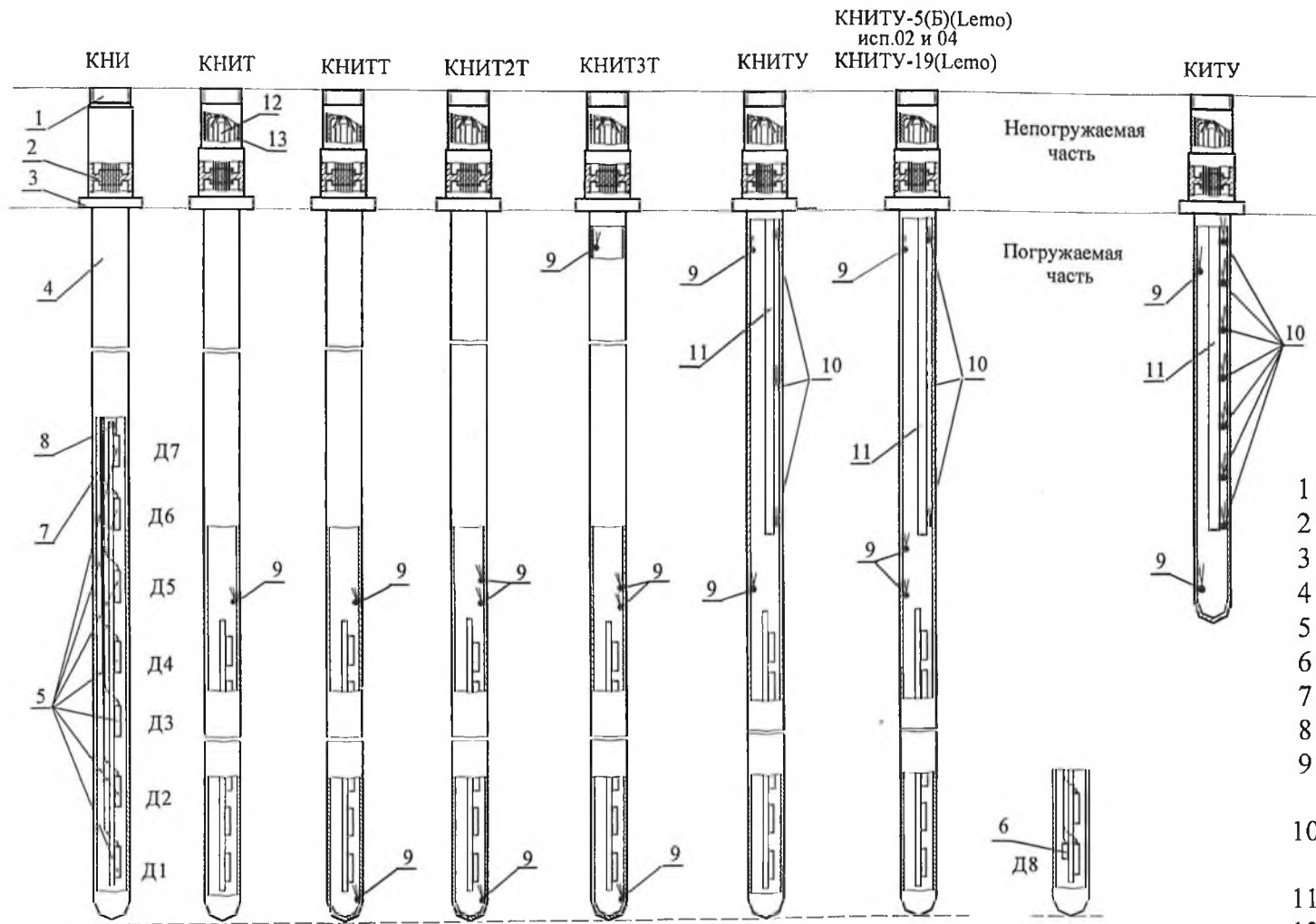
Лист 14

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6 - - - - -	15 ЯНВ 2015			

Изм.	50
Лист	38/М.
№ докум.	
Подп.	СБ/
Дата	15/01/15

ППИС.418260.002 РЭ

Лист	15
------	----



- 1 Электрический соединитель
- 2 Узел герметизации
- 3 Уплотнительное устройство
- 4 Чехол
- 5 Чувствительная часть ДПЗ
- 6 Фоновый ДПЗ
- 7 Линии связи ДПЗ
- 8 Защитный экран
- 9 Термоэлектрический преобразователь ТП
- 10 Термоэлектрический преобразователь ТПИУ
- 11 Электронагреватель ЭНИУ
- 12 Термометр сопротивления ТС
- 13 Пассивный термостат

СВРД тип Б

СВРД тип А
Остальное – см. СВРД тип Б

Рисунок 1 – Устройство СВРД

1.6.1.2 ДПЗ, обозначенные на рисунке 1: Д1, Д2, Д3, Д4, Д5, Д6 и Д7 (нумерация идет снизу вверх), закреплены на защитном экране (поз. 8) так, что их чувствительные части (поз.5) расположены вдоль одной оси на одной стороне защитного экрана, а линии связи (поз.7) выведены на другую сторону защитного экрана. Защитный экран обеспечивает отсутствие влияния на ток линии связи ДПЗ эмиттеров соседних ДПЗ.

В СВРД тип А для компенсации тока линии связи ДПЗ.01 используется фоновый ДПЗ (ДПЗ.03), обозначенный на рисунке 1 как Д8 (поз.6) и закрепленный на защитном экране рядом с линиями связи ДПЗ.01 на высоте, соответствующей длине линии связи нижнего ДПЗ (Д1).

1.6.1.3 Горячие спаи термопар ТП (поз.9) и ТПИУ (поз.10) размещены на разных уровнях по высоте СВРД. Горячие спаи термопар ТП имеют тепловой контакт с внутренней поверхностью чехла СВРД. Горячие спаи термопар ТПИУ имеют тепловой контакт, как с внутренней поверхностью чехла, так и с ЭНИУ (поз.11).

1.6.2 Устройство и работа ДПЗ

1.6.2.1 Устройство ДПЗ приведено на рисунке 2.

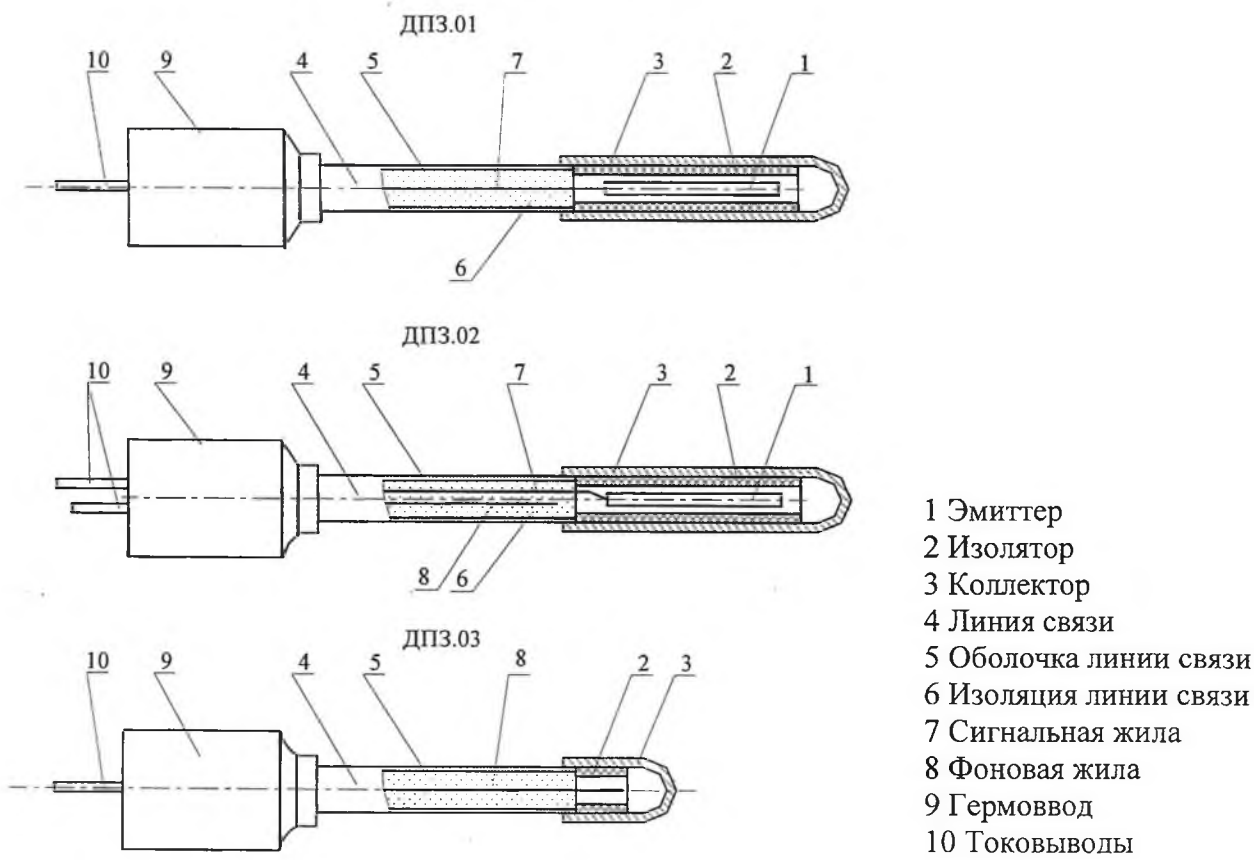


Рисунок 2 – Устройство детекторов прямого заряда

Инов. № подл.	Подпись и дата				Инов. № дубл.	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инов. № дубл.				Подпись и дата
	6 - - - - -					20 ФЕВ 2013									
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ										Лист
															16

1 Эмиттер

2 Изолятор

3 Коллектор

4 Линия связи

5 Оболочка линии связи

6 Изоляция линии связи

7 Сигнальная жила

8 Фоновая жила

9 Гермоввод

10 Токовыводы

Рисунок 2 – Устройство детекторов прямого заряда

ДПЗ.01 и ДПЗ.02 состоят из чувствительной части и линии связи (поз. 4). Чувствительная часть содержит родиевый эмиттер (поз.1), неорганический изолятор (поз.2) и металлический коллектор (поз.3). В качестве линии связи используется кабель с минеральной изоляцией (поз.6) в металлической оболочке (поз.5). Изоляцией кабеля служит Al_2O_3 .

Линия связи ДПЗ.01 имеет одну токоведущую жилу. Заканчивается линия связи гермоводом (поз.9) с токовыводом (поз.10). Для учета вклада в ток ДПЗ тока линии связи и введения соответствующей поправки используется фоновый детектор ДПЗ.03 отличающийся от ДПЗ.01 отсутствием эмиттера.

Линия связи ДПЗ.02 имеет две токоведущие жилы - сигнальную и фоновую. Сигнальная жила (поз.7) соединена с эмиттером, фоновая жила (поз.8) предназначена для измерения и компенсации тока линии связи. Заканчивается линия связи гермоводом (поз.9) с двумя токовыводами (поз.10): длинный токовывод соответствует сигнальной жиле, короткий - фоновой.

1.6.2.2 Основной токообразующий процесс в ДПЗ определяется реакцией радиационного захвата (n, γ), протекающей в материале эмиттера ($^{45}Rh^{103}$) с образованием и последующим распадом наведенного бета-активного изотопа $^{45}Rh^{104}$.

Схема ядерной реакции для родия (содержание изотопа $^{45}Rh^{103}$ в естественной смеси – 100 %) приведена на рисунке 3. На схеме указано микроскопическое сечение реакции (n, γ) на тепловых нейтронах (σ) и периоды полураспада ($T_{1/2}$) образующихся нуклидов.

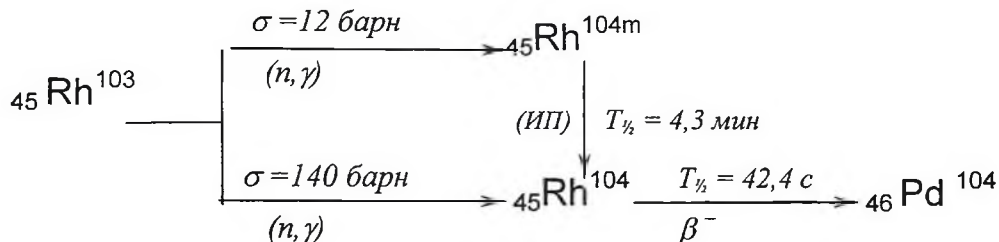


Рисунок 3 – Схема ядерной реакции для родия

Ток, обусловленный процессом распада наведенного радионуклида $^{45}Rh^{104}$, является активационной составляющей тока ДПЗ ($I_{акт}$). Время достижения активационной составляющей стационарного значения зависит от периода полураспада ($T_{1/2}$) бета-активного радионуклида эмиттера. Комптоновские и фотоэлектроны образуют комптоновскую (мгновенную) составляющую тока ДПЗ (I_{ny}).

Уравнение нейтронного тока ДПЗ (I_n) в нестационарном режиме имеет вид:

$$I_n + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{dI_n}{dt} + \frac{1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{d^2 I_n}{dt^2} = \eta_n \phi + \left[\frac{\eta_{ny} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} + \frac{\eta_{акт}}{\lambda_2} \right] \cdot \frac{d\phi}{dt} + \frac{\eta_{ny}}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \cdot \frac{d^2 \phi}{dt^2} \quad (1.1)$$

где: I_n – нейтронный ток ДПЗ;

ϕ – плотность потока нейтронов в месте установки эмиттера ДПЗ, $m^{-2} \cdot c^{-1}$;

Инв. № подл.	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6 - - - -	20 ФЕВ 2013		

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
						17

λ_1 – постоянная распада нуклида Rh^{104} , c^{-1} ;

λ_2 – постоянная распада нуклида Rh^{104m} , c^{-1} ;

η_n – нейтронная чувствительность ДПЗ, $A \cdot m^2 \cdot c$;

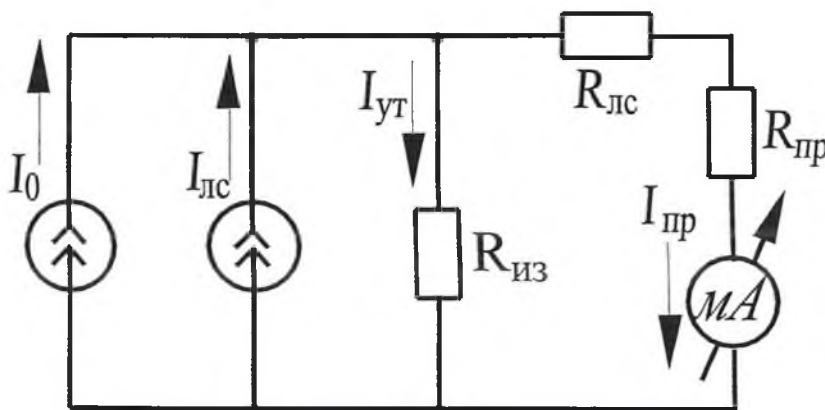
η_{ny} – мгновенная составляющая чувствительности ДПЗ, $A \cdot m^2 \cdot c$;

$\eta_{акт}$ – активационная составляющая чувствительности ДПЗ, определяемая прямым образованием Rh^{104} , $A \cdot m^2 \cdot c$.

Из уравнения (1.1) следует, что при быстрых изменениях плотности потока нейтронов изменяется, в основном, мгновенная (комптоновская) составляющая тока, а при медленных и в стационарном режиме – активационная, что позволяет практически безинерционно определять плотность потока нейтронов.

1.6.2.3 ДПЗ представляет собой источник тока, в котором измеряемый ток возникает за счет использования кинетической энергии заряженных частиц.

Эквивалентная электрическая схема ДПЗ.01 приведена на рисунке 4.



I_0 – ток заряженных частиц, образующихся в эмиттере (первичный ток);

$I_{пр}$ – ток измерительного прибора;

$I_{лс}$ – ток линии связи ДПЗ;

$I_{ут}$ – ток утечки;

$R_{пр}$ – сопротивление измерительного прибора;

$R_{лс}$ – распределенное сопротивление линии связи от ДПЗ до измерительного прибора;

$R_{из}$ – электрическое сопротивление изоляции ДПЗ;

C – распределенная емкость ДПЗ и линии связи до измерительного прибора.

Рисунок 4 – Эквивалентная электрическая схема ДПЗ.01

Определению подлежит первичный ток заряженных частиц I_0 , который в стационарном режиме определяется по формуле:

$$I_0 = I_{пр} + I_{ут} - I_{лс} \quad (1.2)$$

Ток утечки равен:

$$I_{ут} = I_{пр} \cdot (R_{лс} + R_{пр}) / R_{из} \quad (1.3)$$

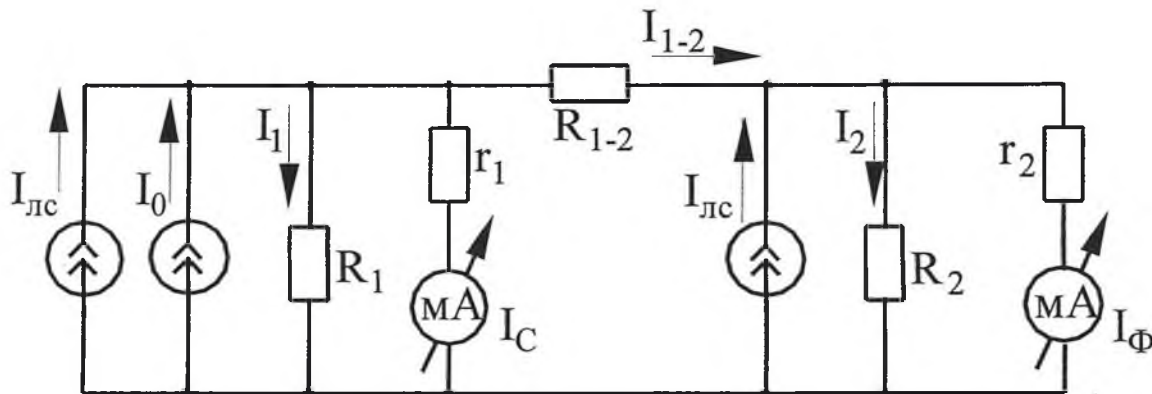
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	20 FEB 2013			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
						18

При работе ДПЗ в режиме короткого замыкания ($R_{из} \gg R_{лс} + R_{пр}$) вклад тока утечки невелик и первичный ток определяется по формуле:

$$I_0 = I_{пр} - I_{лс} \quad (1.4)$$

Эквивалентная электрическая схема ДПЗ.02 приведена на рисунке 5.



I_0 – ток заряженных частиц, образующихся в эмиттере;
 I_C и $I_Ф$ – токи сигнальной и фоновой жил, измеряемые приборами;
 $I_{лс}$ – ток линии связи;
 R_1 и R_2 – сопротивление изоляции между корпусом и сигнальной жилой и между корпусом и фоновой жилой ДПЗ соответственно;
 R_{1-2} – сопротивление изоляции между жилами.
 $r_1 \cong r_2 \cong r$ – последовательное сопротивление сигнальной и фоновой жил, включая входное сопротивление измерительного прибора;
 I_1, I_2, I_{1-2} – токи утечки.

Рисунок 5 – Эквивалентная электрическая схема ДПЗ.02

Первичный ток I_0 определяется по формуле:

$$I_0 = I_C(1 + r/R_1 + 2r/R_{1-2}) - I_Ф(1 + r/R_2 + 2r/R_{1-2}) \quad (1.5)$$

При работе ДПЗ в режиме короткого замыкания ($R_1 \cong R_2 \cong R_{1-2} \gg r$), вклад токов утечки невелик и первичный ток определяется по формуле:

$$I_0 = I_C - I_Ф \quad (1.6)$$

1.6.2.4 На показания ДПЗ могут оказывать влияние токи, образование которых непосредственно не связано с измеряемым нейтронным потоком:

1) Ток, обусловленный взаимодействием гамма-излучения реактора с элементами конструкции ДПЗ – гамма-ток (I_γ), который пропорционален мощности дозы гамма-излучения в реакторе в месте расположения эмиттера ДПЗ.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	24 АПР 2013			
40	Зан.			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
				24.04.13
ШПИС.418260.002 РЭ				
				Лист
				19

2) Ток от электронов, образующихся вне ДПЗ (I_e). Существенное влияние на токи линии связи ДПЗ могут оказывать электроны от эмиттеров соседних ДПЗ. Для уменьшения этого влияния используется поглощающий электроны экран, разделяющий эмиттеры и линии связи.

3) Ток смещения ($I_{см}$), который возникает при работе ДПЗ в переменных режимах, например, при изменении плотности потока нейтронов, температуры или входного сопротивления измерительного прибора. Этот ток определяется объемным зарядом, возникающим в изоляторе ДПЗ при поглощении электронов (радиоэлектретный эффект). Величина объемного заряда зависит от материала и толщины изолятора. При работе ДПЗ в режиме короткого замыкания на стационарном уровне мощности реактора вклад этих токов мал.

Указанные выше токи приводят к возникновению систематических погрешностей, которые необходимо выявлять, минимизировать и учитывать путем введения соответствующих поправок. Погрешности измерения рассмотрены в 3.4.2.

1.6.2.5 При работе ДПЗ в режиме короткого замыкания на стационарном уровне мощности реактора (без учета токов утечки и токов смещения) первичный ток ДПЗ равен:

$$I_0 = I_{акт} + I_{ny} + I_{\gamma} \quad (1.7)$$

Полезным сигналом ДПЗ является ток (I_n), обусловленный взаимодействием материала эмиттера с нейтронами, который равен:

$$I_n = I_{акт} + I_{ny} = I_0 - I_{\gamma} \quad (1.8)$$

1.6.2.6 Нейтронная чувствительность ДПЗ (η_n) определяется как ток, генерируемый ДПЗ в потоке нейтронов единичной плотности в стационарном режиме работы:

$$\eta_n = I_n / \phi, \quad (1.9)$$

где I_n – ток, обусловленный взаимодействием материала эмиттера с нейтронами;
 ϕ – плотность потока нейтронов.

Чувствительность ДПЗ можно выразить формулой:

$$\eta = e \cdot f \cdot N \cdot \sigma \quad (1.10)$$

где e – заряд электрона;

f – коэффициент, учитывающий возмущение нейтронного поля ДПЗ, поглощение β - частиц, комптоновских и фотоэлектронов в материале эмиттера и изолятора, поглощение γ - квантов радиационного захвата в материале эмиттера и изолятора и равный доле нейтронов, дающих в результате взаимодействия с материалом эмиттера вклад в ток ДПЗ;

N – число атомов нейтронно-чувствительного элемента в единице объема эмиттера;

σ – микроскопическое сечение реакции радиационного захвата.

Поскольку микроскопическое сечение реакции радиационного захвата σ зависит от энергии нейтронов, то и чувствительность ДПЗ зависит от энергии нейтронов.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	24 АПР 2013		
40	Зяич.		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.

40	Зяич.		СВ	24.04.13	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

Различают чувствительность ДПЗ к тепловым нейтронам, к эпитепловым нейтронам и к условной плотности потока нейтронов.

Чувствительность ДПЗ к тепловым нейтронам (η_T) – чувствительность при энергии нейтронов равной наиболее вероятной энергии максвелловского распределения ($E = kT$, где k - постоянная Планка, T - температура нейтронов).

$$\eta_T = I_n / \phi_T \quad (1.11)$$

где ϕ_T - плотность потока тепловых нейтронов.

Чувствительность к эпитепловым нейтронам (η_s), спектр которых можно представить в виде $\phi(E) = \phi_s / E$, определяется отношением:

$$\eta_s = \int_{E_{гр}}^{\infty} \frac{\eta_n(E)}{E} dE \quad (1.12)$$

где $E_{гр}$ – граничная энергия спектра тепловых нейтронов

Чувствительность (η_0) к условной плотности потока нейтронов (ϕ_0) – чувствительность при энергии нейтронов равной $E_0 = 0,025$ эВ:

$$\eta_0 = I_n / \phi_0 \quad (1.13)$$

Используя формализм Весткотта, в нейтронных полях с мягким спектром, нейтронный ток ДПЗ можно представить в виде:

$$I_n = \eta_0 \cdot \phi_0 \cdot [g(T) + r \cdot s(T)] \quad (1.14)$$

где $r = \phi_s / \phi_T$ – эпитепловой параметр нейтронного поля;

$g(T)$ и $s(T)$ – параметры Весткотта.

Значения начальной чувствительности η_0 приведены в таблице 1.4. Зависимости параметров $g(T)$ и $s(T)$ от температуры нейтронного газа при номинальном диаметре эмиттера ДПЗ 0,5 мм и 1,0 мм приведены на рисунках 6 и 7 соответственно.

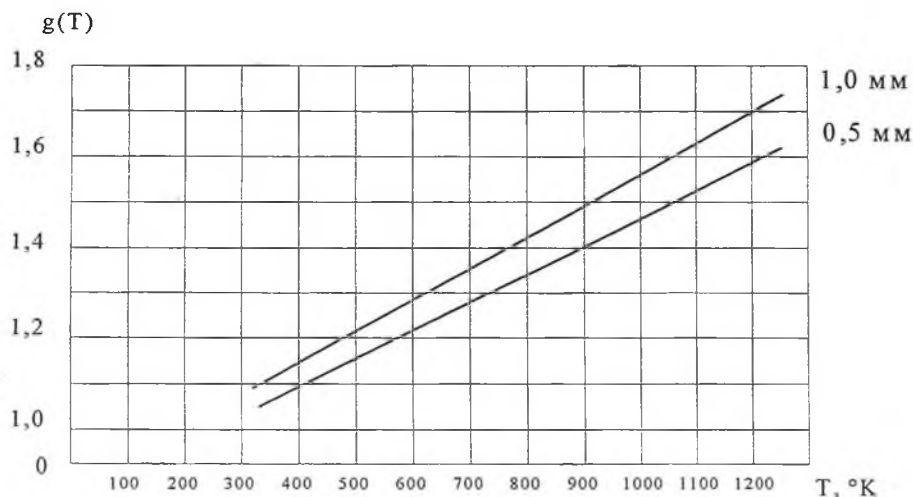


Рисунок 6 - Зависимость параметра Весткотта $g(T)$ от температуры нейтронного газа

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6 - - - - -	<i>В.Е.</i> 24 АПР 2013			

40	301М.		<i>180</i>	2404/3	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		21

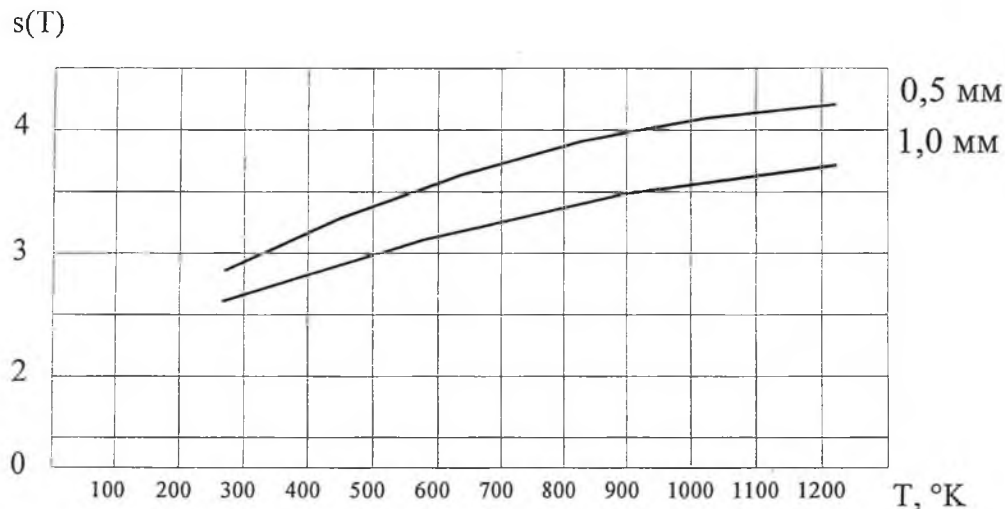


Рисунок 7 - Зависимость параметра Весткотта $s(T)$ от температуры нейтронного газа

1.6.2.7 В результате взаимодействия с нейтронами часть ядер эмиттера активируется и образует другие ядра, не принимающие участия в работе ДПЗ. Скорость уменьшения числа ядер эмиттера (N), принимающих участие в работе ДПЗ, в результате ядерной реакции равна:

$$dN/dt = f_n N \sigma \phi, \quad (1.15)$$

где f_n - коэффициент, учитывающий возмущение нейтронного поля ДПЗ.

Изменение чувствительности является функцией выработанного ДПЗ электричества (Q):

$$d\eta/dQ = f_n \sigma \quad (1.16)$$

Скорость изменения чувствительности, отнесенная к начальному значению чувствительности, равна: $B = d\eta/(\eta_0 dQ)$.

При этом чувствительность ДПЗ (η_t) в момент времени t уменьшается пропорционально количеству выработанного ДПЗ электричества (Q):

$$\eta_t = \eta_0 (1 - B \cdot Q/100) = \eta_0 \alpha \quad (1.17)$$

где η_0 - начальная чувствительность ДПЗ,

α - поправка на выгорание,

B - изменение чувствительности за счет выгорания материала эмиттера.

Значения η_0 и B приведены в таблице 1.4.

1.6.2.8 Воспроизводимость начальной чувствительности ДПЗ обеспечивается конструкцией и технологией изготовления ДПЗ.

Воспроизводимость чувствительности ДПЗ в процессе эксплуатации при прочих равных условиях зависит от точности введения поправок на выгорание материала эмиттера.

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	24 АПР 2013
Инв. № подл.	6

40	Зам.		СВ	24.04.13
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ШПИС.418260.002 РЭ

Лист
22

1.6.2.9 Чувствительность ДПЗ к гамма-квантам реактора (η_γ) определяется как ток, генерируемый ДПЗ в гамма-поле при единичной мощности дозы.

$$\eta_\gamma = I_\gamma / P \quad (1.18)$$

где P - мощность поглощенной дозы гамма-излучения.

Гамма-чувствительность ДПЗ зависит от энергии гамма-квантов. Для реакторных спектров со средней энергией гамма-квантов ≈ 1 МэВ можно принять чувствительность ДПЗ к гамма-квантам реактора равной чувствительности к мощности поглощенной дозы гамма-излучения Co^{60} , величина которой приведена в таблице 1.4.

1.6.2.10 Ток линии связи возникает в результате взаимодействия ионизирующего излучения реактора с линией связи ДПЗ и определяется разностью количества заряженных частиц, поглощаемых в токоведущей жиле и покидающих ее. Ток линии связи имеет нейтронную, электронную и гамма – составляющие. Значение вклада тока линии связи ($I_{\text{лс}}$) в ток ДПЗ можно оценить, исходя из условной плотности потока нейтронов и мощности поглощенной дозы гамма-излучения в месте расположения линии связи, по формуле:

$$I_{\text{лс}} = \eta_{\gamma \text{ лс}} \cdot \int_0^L P(x) \cdot dx + \eta_{0 \text{ лс}} \cdot \int_0^L \varphi(x) \cdot dx \quad (1.19)$$

где L – длина участка линии связи, находящегося в зоне облучения;

$\eta_{0 \text{ лс}}$ – чувствительность единицы длины линии связи к условной плотности потока нейтронов;

$\eta_{\gamma \text{ лс}}$ – чувствительность единицы длины линии связи к мощности поглощенной дозы гамма-излучения Co^{60} .

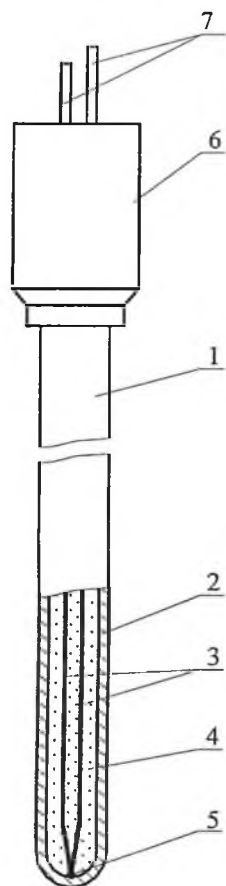
Значения $\eta_{0 \text{ лс}}$ и $\eta_{\gamma \text{ лс}}$ приведены в 1.3.2.4 и 1.3.2.5.

1.6.3 Устройство и работа ТП и ТПИУ

1.6.3.1 Принцип действия термоэлектрического преобразователя (ТП и ТПИУ) основан на использовании термоэлектрического эффекта, при котором в месте контакта двух разнородных проводников возникает термоэлектродвижущая сила (ТЭДС), пропорциональная разности температур горячего и холодного спая термопары термоэлектрического преобразователя. Устройство термоэлектрического преобразователя приведено на рисунке 8.

1.6.3.2 Термоэлектрический преобразователь состоит из термоэлектродов (3) (хромель – алюмель), металлической оболочки (2) и минеральной изоляции (4). Горячий спай термопары (5) не изолирован от корпуса. Герметизация термоэлектрического преобразователя со стороны свободных концов осуществляется гермовводом (6) с токовыводами (7).

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	СБ 24 АПР 2013			
40	3914			СБ 24.04.13
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ШПИС.418260.002 РЭ				
				Лист
				23



- 1 – Кабель
- 2 – Оболочка кабеля
- 3 – Термоэлектроды
- 4 – Изоляция кабеля
- 5 – Горячий спай термопары
- 6 – Гермоввод
- 7 – Токовыводы

Рисунок 8 – Устройство термоэлектрического преобразователя (ТП и ТПИУ)

Величина ТЭДС при температуре горячего спая термопары t °С и температуре холодного спая 0 °С, определяется по формуле:

$$E(t, 0) = E(t, t_{xc}) + E(t_{xc}, 0) \quad (1.20)$$

где $E(t, t_{xc})$ - ТЭДС при температуре горячего спая t и температуре холодного спая t_{xc} .

$E(t_{xc}, 0)$ – ТЭДС при температуре горячего спая термопары t_{xc} и нулевой температуре холодного спая.

Температуру холодного спая термопары t_{xc} определяют по показаниям термопреобразователя сопротивления ТС (см. 1.6.4).

Поправку на температуру холодного спая $E(t_{xc}, 0)$ определяют по НСХ (ГОСТ Р 8.585-2001) или по результатам градуировки термоэлектрического преобразователя, приведенным в паспорте на СВРД.

1.6.4 Устройство и работа ТС

1.6.4.1 Принцип действия термопреобразователя сопротивления основан на способности материалов изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. В СВРД используется ТС с чувствительным элементом из платины с номинальной величиной сопротивления (R_0) при температуре 0 °С равной 100 Ом.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	СВРД 24 АПР 2013			
40	Зам.			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
			СВРД	14.04.13
ШПИС.418260.002 РЭ				Лист
				24

1.6.4.2 Схема подключения чувствительного элемента ТС в СВРД (кроме КНИТУ-1, КНИТУ-2, КНИТУ-5, исп.01 и КНИТУ-11) - четырехпроводная, в КНИТУ-1(Б), КНИТУ-2(Б), КНИТУ-5(Б), исп.01, КНИТУ-11(Б) и КНИТУ-1 (Б) (Lemo) – двухпроводная с переходом на четырехпроводную схему на электрическом соединителе шлейфа, подключаемом к СВРД. При этом суммарное сопротивление проводников двухпроводной линии и контактного сопротивления электрического соединителя не превышает:

- для КНИТУ с электрическим соединителем типа «Lemo» - 15 мОм;
- для остальных КНИТУ – 90 мОм.

Схемы подключения ТС приведены в соответствующих приложениях – см. таблицу 1.1.

1.6.4.3 Порядок определения температуры с помощью ТС:

- 1) Измерить величину сопротивления R_t при температуре t ;
- 2) Определить температуру t_{xc} по НСХ, приведенным в ГОСТ 6651-2009 или ИЕС 60751(2008). Допускается определять температуру по результатам калибровки чувствительного элемента ТС, приведенным в паспорте на СВРД.

1.6.5 Устройство и работа индикатора уровня

Принцип действия индикатора уровня основан на зависимости коэффициента теплоотдачи наружной поверхности чехла СВРД от фазового состояния окружающей среды. ИУ содержит термопреобразователи (ТПИУ), расположенные на некотором расстоянии друг от друга по высоте, и нагреватель. Горячие спаи термопар ТПИУ имеют тепловой контакт, как с нагревателем, так и с чехлом СВРД. Температура горячего спая термопары ТПИУ зависит от мощности электронагревателя и фазового состояния среды, омывающей чехол СВРД в месте расположения горячего спая термопары ТПИУ.

В качестве критерия возникновения границы фаз теплоносителя в данной точке контроля используется величина разности температур горячих спаев термопар нагреваемого (ТПИУ) и ненагреваемого (ТП) термоэлектрического преобразователя. Увеличение разности температур при постоянной мощности нагревателя свидетельствует о том, что теплоотдача в месте расположения горячего спая ТПИУ уменьшилась, что указывает на наличие паровой фазы.

1.7 Требования к измерительной аппаратуре и линиям связи

1.7.1 Для обеспечения работы ДПЗ измерительная аппаратура должна:

- обеспечивать непрерывное и безинерционное измерение и преобразование токов ДПЗ при любых режимах работы реактора;
- иметь величину входного сопротивления каналов измерения сигналов ДПЗ, обеспечивающую выполнение условия $R_{лс} + R_{пр} \ll R_{из}$;

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
56	Зелен			19.05.15		25
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

- обеспечивать при работающем реакторе замыкание электрической цепи ДПЗ на измерительную схему или ее эквивалент;
- обеспечивать контроль электрического сопротивления изоляции всех ДПЗ на работающем реакторе;
- обеспечивать измерение количества электричества, выработанного ДПЗ;
- обеспечивать введение поправок на ток линии связи ДПЗ, на выгорание и на токи утечки.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ в условиях эксплуатации оставлять ДПЗ в разомкнутом состоянии более, чем на 3 мин, и измерять электрическое сопротивление изоляции прибором, подающим на ДПЗ напряжение.

1.7.2 Для обеспечения работы ТП, ТПИУ и ТС измерительная аппаратура должна:

- измерять и обрабатывать сигналы термоэлектрических преобразователей;
- вводить поправку на температуру холодного спая термопары термоэлектрических преобразователей;
- обеспечивать электропитание измерительных цепей ТС;
- измерять сопротивление ТС и преобразовывать его значения в температуру;
- проводить диагностику ТП, ТПИУ и ТС.

1.7.3 Для обеспечения работы ИУ измерительная аппаратура должна:

- обеспечивать электропитание ЭНИУ;
- проводить вычисление для каждой точки контроля разницы между сигналом ТПИУ и сигналом ненагреваемого ТП;
- выдавать дискретный сигнал ИУ – "вода - пар";
- проводить диагностику ЭНИУ.

1.7.4 Измерительная аппаратура должна обеспечивать возможность отдельного подключения сигнальной земли и экранов для обеспечения надлежащей помехозащиты сигнальных цепей. Сигнальная земля, экраны сигнальных жил и общий экран должны соединяться на корпусе СВРД.

1.7.5 Шлейфы и кабельные трассы, используемые для подсоединения СВРД к измерительной аппаратуре, должны иметь общий экран и экраны на каждую жилу или пару жил.

Суммарное сопротивление жил шлейфа и кабельной трассы, предназначенных для электропитания ЭНИУ, не должно превышать 8 Ом.

Не допускается располагать шлейфы и кабельные трассы вблизи силовых кабелей.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	20.02.2013			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
						26

1.8 Маркировка и пломбирование

1.8.1 Место нанесения маркировки СВРД показано в приложениях, указанных в таблице 1.1.

1.8.2 Маркировка СВРД содержит:

- наименование, соответствующее функциональному назначению (см. 1.1.4);
- условный номер, соответствующий применяемости (см. таблицу 1.1);
- тип СВРД, соответствующий типу используемых ДПЗ (см. 1.2.2, обозначение типа «Б» допускается не указывать для всех СВРД, кроме поставляемых на АЭС "Козлодуй");
- условный и дополнительный (при наличии) номера исполнения;
- коды KKS для КНИТ2Т-19(Lemo), КНИТ3Т-19(Lemo) и КНИТУ-19(Lemo), приведенные в таблице 1.7 и коды KKS для КНИТ2Т-16(Lemo), КНИТ3Т-16(Lemo) и КНИТУ-16(Lemo), приведенные в таблице 1.8.

Таблица 1.7

СВРД	№ ячейки (координата)	Код KKS	СВРД	№ ячейки (координата)	Код KKS
КНИТ2Т-19 (Lemo)	010/14-27	m1JAA11JZ010	КНИТ2Т-19 (Lemo)	148/03-38	m2JAA11JZ148
	034/12-35	m1JAA11JZ034		002/15-26	m2JAA21JZ002
	039/11-22	m1JAA11JZ039		044/11-32	m2JAA21JZ044
	068/09-28	m1JAA11JZ068		054/10-27	m2JAA21JZ054
	101/07-40	m1JAA11JZ101		075/09-42	m2JAA21JZ075
	123/05-32	m1JAA11JZ123		112/06-35	m2JAA21JZ112
	132/04-27	m1JAA11JZ132		131/04-25	m2JAA21JZ131
	158/01-24	m1JAA11JZ158		139/03-20	m2JAA21JZ139
	016/13-20	m1JAA21JZ016		005/15-32	m2JAA31JZ005
	047/11-38	m1JAA21JZ047		018/13-24	m2JAA31JZ018
	076/08-17	m1JAA21JZ076		033/12-33	m2JAA31JZ033
	093/07-24	m1JAA21JZ093		070/09-32	m2JAA31JZ070
	097/07-32	m1JAA21JZ097		078/08-21	m2JAA31JZ078
	127/05-40	m1JAA21JZ127		106/06-23	m2JAA31JZ106
	150/02-23	m1JAA21JZ150		136/04-35	m2JAA31JZ136
	163/01-34	m1JAA21JZ163	КНИТ3Т-19 (Lemo)	090/07-18	m1JAA12JZ090
	014/14-35	m1JAA31JZ014		117/05-20	m1JAA32JZ117
	030/12-27	m1JAA31JZ030		145/03-32	m2JAA22JZ145
	050/10-19	m1JAA31JZ050	КНИТУ-19 (Lemo)	015/14-37	m2JAA32JZ015
	059/10-37	m1JAA31JZ059		031/12-29	m1JAA23JZ031
	109/06-29	m1JAA31JZ109		099/07-36	m1JAA33JZ099
	147/03-36	m1JAA31JZ147		079/08-23	m2JAA23JZ079
	160/01-28	m1JAA31JZ160		153/02-29	m2JAA33JZ153
	012/14-31	m2JAA11JZ012	ЗИП		
	052/10-23	m2JAA11JZ052	КНИТ2Т-19 (Lemo)	–	m0UJA40WW
	071/09-34	m2JAA11JZ071	КНИТ3Т-19 (Lemo)	–	m0UJA40WW
	094/07-26	m2JAA11JZ094	КНИТУ-19 (Lemo)	–	m0UJA40WW
	114/06-39	m2JAA11JZ114			
	118/05-22	m2JAA11JZ118			
	133/04-29	m2JAA11JZ133			
	141/03-24	m2JAA11JZ141			

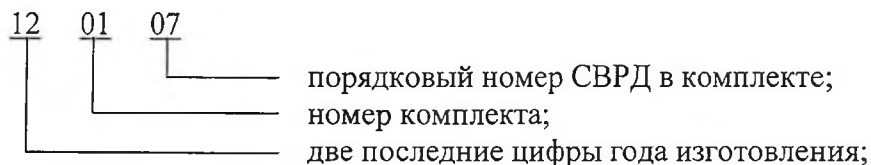
m – номер блока РУ-392М

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
6 - - - - -			19 ОКТ 2015

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
59	30м.	ИПИС.396-15	СБЗ	19.11.15

ИПИС.418260.002 РЭ

– заводской номер из шести цифр, в котором указываются две последние цифры года изготовления, номер комплекта и порядковый номер СВРД в комплекте, например:



- надпись "Для АЭС";
- надпись "Сделано в России".

1.8.3 Пломбирование СВРД проводится пломбами отдела технического контроля. Пломбы установлены на защитных транспортных колпачках СВРД.

1.8.4 Маркировка транспортной тары – по ГОСТ 14192-96 с нанесением манипуляционных знаков в соответствии с конструкторской документацией. Маркировка транспортной тары содержит надписи "Для АЭС" и "Сделано в России" или надписи «Для АЭС», "For NPP", «Сделано в России» и "Made in Russia" при поставке на экспорт.

1.8.5 При поставке на экспорт на транспортную тару наносится дополнительная маркировка в соответствии с контрактом.

1.8.6 Транспортная тара пломбируется пломбами отдела технического контроля.

1.9 Упаковка

1.9.1 Упаковка обеспечивает сохранность СВРД для условий транспортирования и хранения в соответствии с требованиями раздела 6.

1.9.2 Упаковке подлежат СВРД, проверенные представителем отдела технического контроля и опломбированные пломбами отдела технического контроля.

1.9.3 Упаковка СВРД проводится в закрытых вентилируемых помещениях с температурой окружающего воздуха от плюс 15 до плюс 40 °С, относительной влажностью воздуха до 80 % при температуре 25 °С и содержанием в воздухе коррозионных агентов, не превышающем установленное для атмосферы типа I по ГОСТ 15150-69.

1.9.4 Документация, отправляемая с изделиями, упаковывается в полиэтиленовый пакет и укладывается в отдельную ячейку упаковки, на которую наносится надпись: "Техдокументация здесь" или "Техдокументация здесь" и "Technical documentation here" при поставке на экспорт.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
6	19 МАЙ 2015				56	Зем.	Корич	190515	ШПИС.418260.002 РЭ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					28	

2 Требования безопасности

2.1 СВРД соответствует общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-91.

2.2 СВРД имеет пожаростойкое исполнение, соответствует требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и не содержит материалов, распространяющих горение.

2.3 По способу защиты человека от поражения электрическим током СВРД относится к классу III по ГОСТ 12.2.007.0-75.

2.4 При выполнении условий эксплуатации, изложенных в настоящем руководстве по эксплуатации, СВРД не является опасными в экологическом отношении. Специальных требований по утилизации при выводе СВРД из эксплуатации, кроме действующих на АЭС, не предъявляется.

2.5 СВРД до установки в реактор не является источником ионизирующего излучения.

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
6	20 ФЕВ 2013			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ШПИС.418260.002 РЭ				Лист
				29

3.1 Устойчивость к внешним воздействующим факторам

3.1.2 СВРД устойчивы к динамическим нагрузкам, вызванным ударом падающего самолета и воздушной ударной волной, и соответствующим ударам одиночного действия для изделий группы механического исполнения М38 по ГОСТ 17516.1-90.

1) Гибов направляющих блока защитных труб (БЗТ), радиусом не менее 1000 мм под углом не более 50°;

3) Усилий:

- при извлечении из реактора - не более 5 кН.

Таблица 3.1

Наименование параметра	Значение параметра для:		
	ВВЭР-440	ВВЭР-1000	ВВЭР-1200
Скорость теплоносителя, омывающего СВРД, м/с, не менее	3	3	10
Температура теплоносителя, °С, не более	330	350	
Максимальная концентрация борной кислоты, г Н ₃ ВО ₃ /кг Н ₂ О	16	16	20
Рабочее давление теплоносителя, МПа, не более	12,3	16,2	17,64
Испытательное давление в составе 1-го контура (1 раз в 4 года), МПа, не более	19,2	24,6	
Максимальная плотность потока тепловых нейтронов, м ⁻² ·с ⁻¹	1·10 ¹⁸		
Максимальная плотность потока быстрых нейтронов (Е > 1,0 МэВ), м ⁻² ·с ⁻¹	1·10 ¹⁸		
Мощность поглощенной дозы гамма-излучения, Гр/с, не более	4·10 ³		
Интегральный перенос тепловых нейтронов (флюенс), м ⁻² , не более	1·10 ²⁶		
Интегральный перенос быстрых нейтронов (флюенс), м ⁻² , не более	1·10 ²⁶		