

АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА ДЛЯ АЭС ПОКОЛЕНИЯ «3+», «4»

Автор: Ю.С. Коптелов

ЗАО «СНИИП-Систематом»

**Научно-техническая конференция АО «СНИИП»,
17-19 апреля 2017 года, Москва**

АЭС	№ эб.	Поставка	Ввод в опытно-промышленную эксплуатацию
Балаковская АЭС	1	2005	2007
	2	2010	2011
	3	2013	2013
	4	2014	2015
Белоярская АЭС	4	2013	2014
Калининская АЭС	1	2013	2014
	2	2016	2016
	3	2004	2005
	4	2010	2011
Кольская АЭС	1	1997	
	2	1999	
Ростовская АЭС	2	2008	
	3	2013	2014
	4	2016	вводится в эксплуатацию
Нововоронежская АЭС	3	2001	
	4	2002	
	5	2009	
АЭС «Бушер»	1	2003	2010
АЭС «Козлодуй»	5	2006	
	6	2005	
АЭС «Куданкулам»	1	2009	2013
	2	2010	вводится в эксплуатацию

Введение

Для обеспечения безопасной работы РУ используются системы управления и защиты (СУЗ).

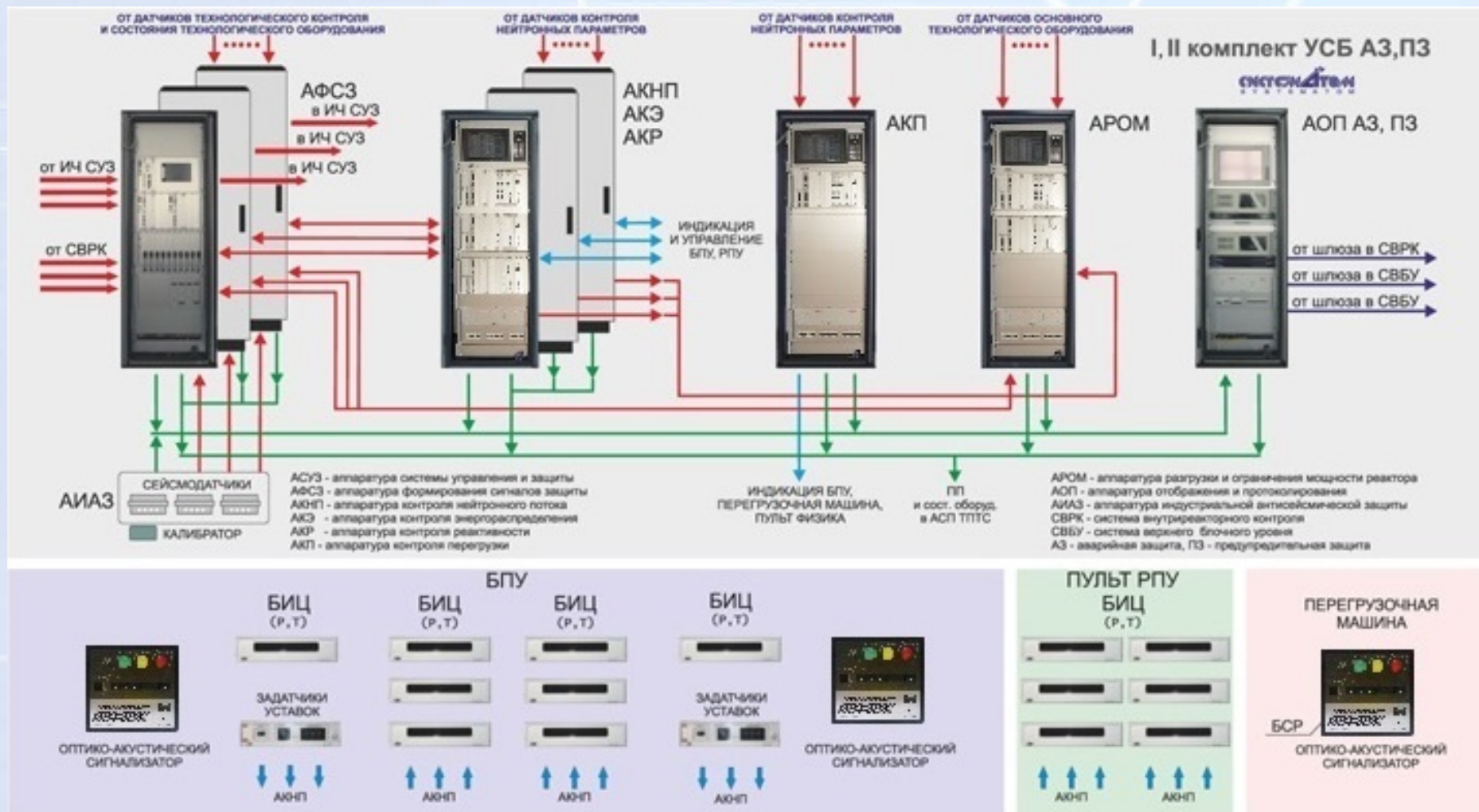
На реакторах функции УСБ по нейтронным и теплотехническим параметрам осуществляются комплексно, с помощью различных технических средств со специальным программным обеспечением. В их состав входят аппаратуры:

- контроля нейтронного потока (АКНП);
- защиты по технологическим параметрам (АЗТП);
- контроля реактивности (АКР);
- контроля энергораспределения (АКЭ);
- разгрузки и ограничения мощности (АРОМ);
- контроля перегрузки (АКП);
- отображения и протоколирования (АОП);
- контроля фиксации внутрикорпусных устройств (АК ВКУ).

Информацией о параметрах цепной реакции систему обеспечивает аппаратура контроля нейтронного потока, и является наиболее важной частью с точки зрения обеспечения ядерной безопасности. АКНП обеспечивает:

- контроль плотности потока нейтронов при пусках реактора, при перегрузке (загрузке) топлива;
- контроль реактивности;
- контроль физической мощности реактора и периода;
- формирование дискретных сигналов о превышении уставок срабатывания аварийной и предупредительной защит по мощности и периоду;
- формирования аналоговых токовых сигналов, пропорциональных мощности реактора (для регулирования и ограничения мощности реактора);
- расчёт формы высотного энергораспределения в активной зоне, его характеристик;

Структура автоматизированной системы управления и защиты (АСУЗ) РУ



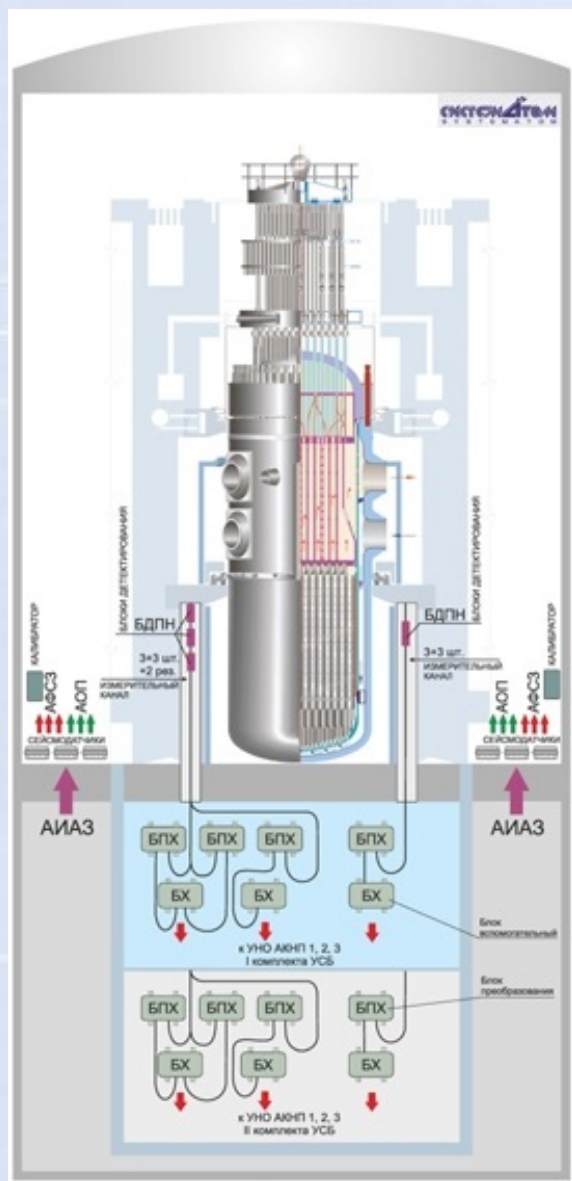
АКНП обеспечивает контроль мощности в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 150 % от $N_{ном}$, который разделен на четыре поддиапазона в пределах, указанных в таблице 1, с обеспечением автоматического выбора поддиапазона контроля

Наименование поддиапазона, обозначение	Пределы контроля мощности, % от $N_{ном}$
Поддиапазон источника ИД	От $1,0 \cdot 10^{-8}$ до $1,0 \cdot 10^{-4}$
Пусковой поддиапазон ПД	От $1,0 \cdot 10^{-6}$ до $1,0 \cdot 10^{-1}$
Рабочий поддиапазон РД1	От $1,0 \cdot 10^{-3}$ до 150
Рабочий поддиапазон РД2	От 1 до 150

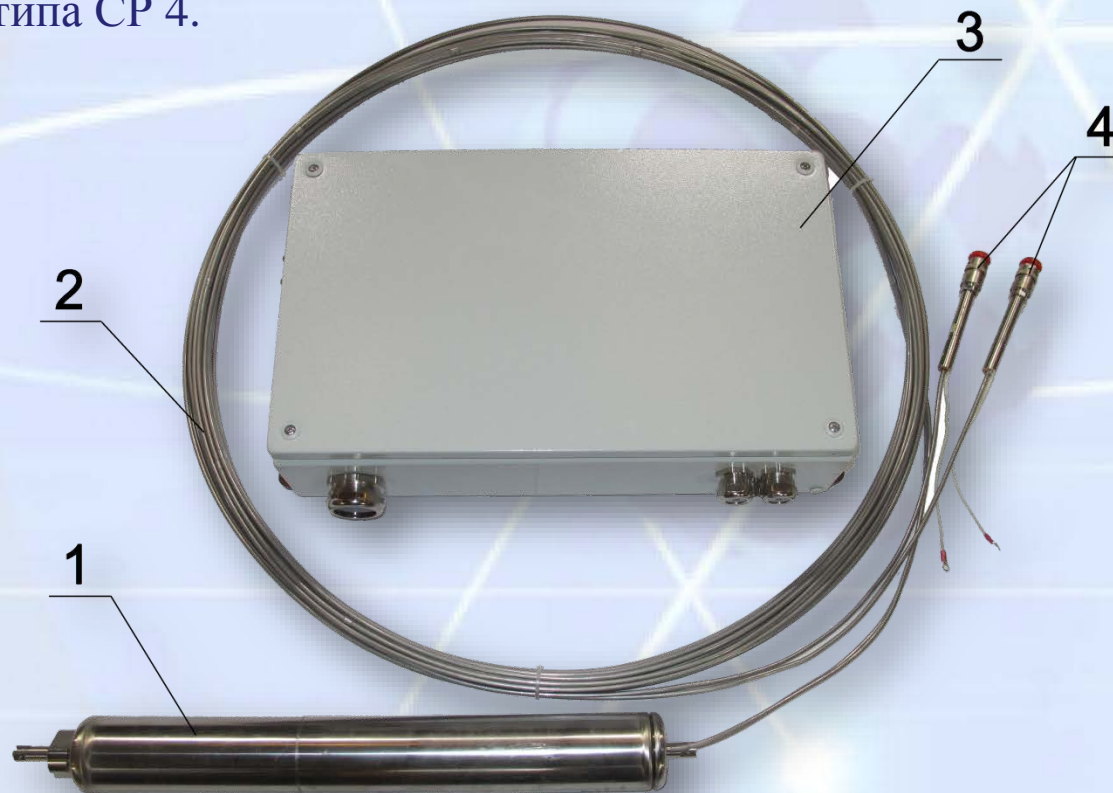
Неперемещаемый радиационно-стойкий блок детектирования

Отличительной чертой АКНП поколения «3+», «4», помимо усовершенствованной элементной и программной базы, является применение нового неперемещаемого БД диапазона источника. Данные БД исключают использование механизмов перемещения, что обеспечивает безопасность АЭС и исключает ошибки персонала при эксплуатации

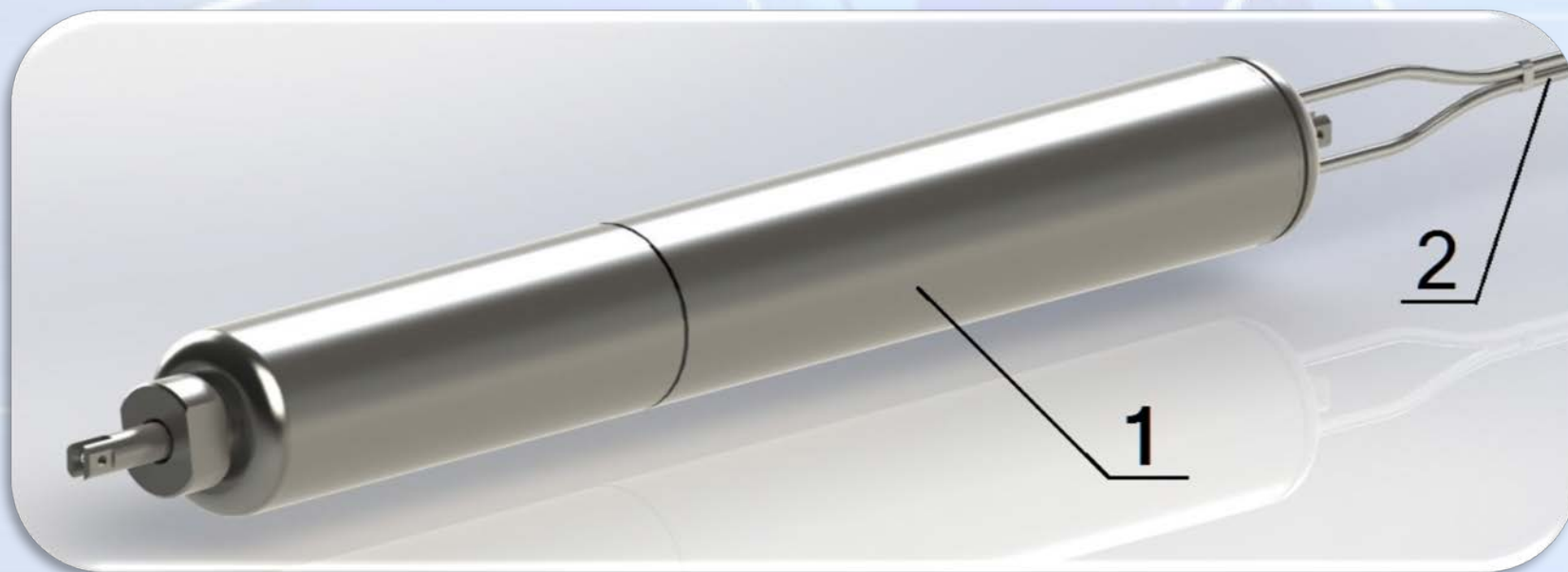
Блоки детектирования (БД) АКНП располагаются за корпусом реактора в канал биологической защиты. В зависимости от назначения БД размещаются в связке с другими блоками детектирования, что бы максимально контролировать нужные параметры, либо поодиночке.



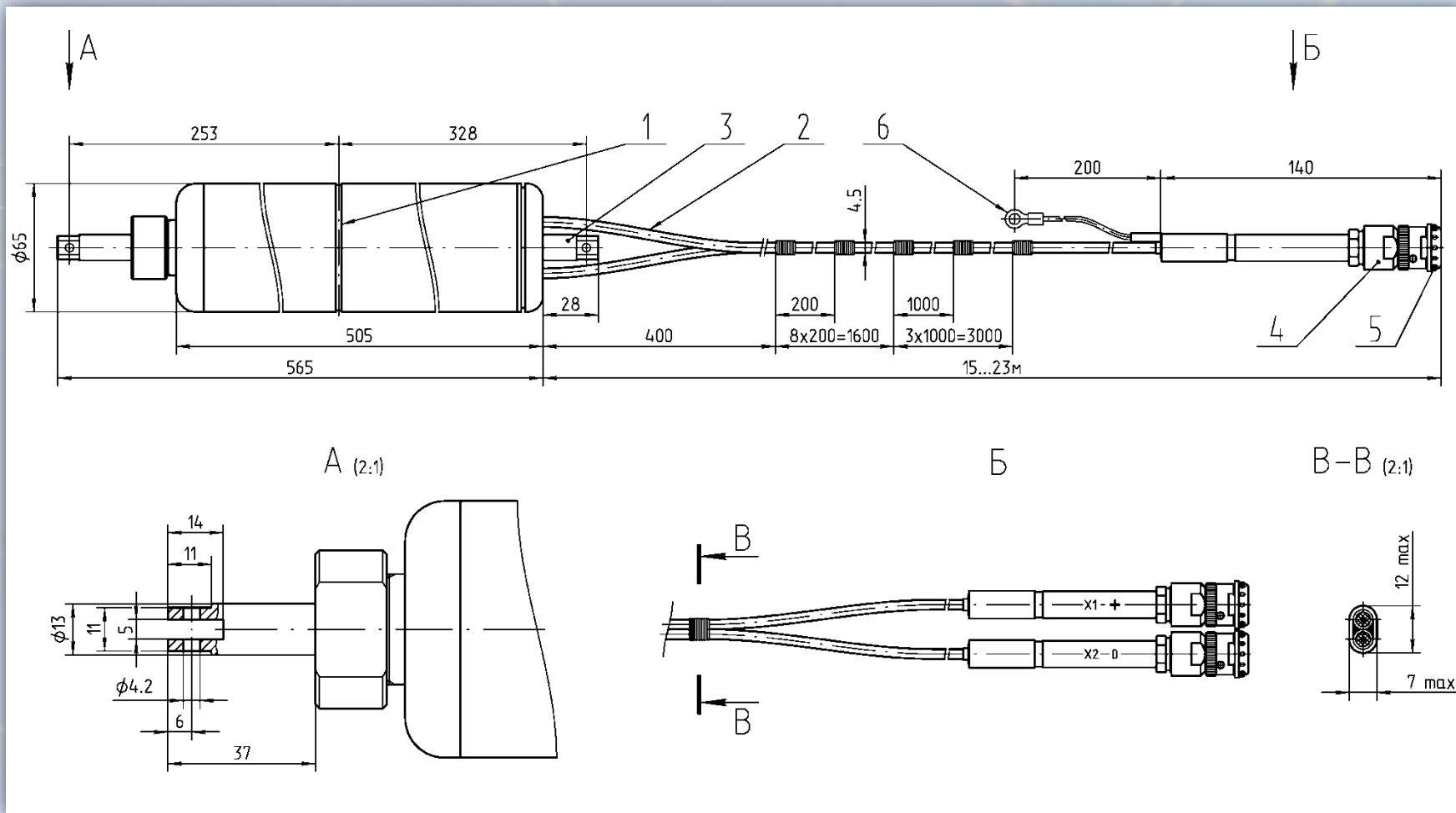
Конструктивно БД состоит из корпуса 1, выполненного в виде тонкостенного цилиндра из нержавеющей стали, внутри которого расположены счетчики нейтронов 5. Корпус отделен от счетчиков изоляторами, что исключает влияние внешних факторов на сигнал. В одну из торцевых поверхностей подсоединяются нагревостойкие кабели типа КНММС 2. БД соединяется с блоком преобразования 3 с помощью радиочастотных соединителей типа СР 4.



Конструкция блока детектирования БД неразборная и герметичная, термо- и радиационно-стойкая. А, следовательно, отсутствует необходимость в перемещении БД в канале ИК в процессе эксплуатации (вверх в рабочее положение перед перегрузкой топлива и, обратно, вниз в положение с минимальной плотностью потока нейтронов после завершения перегрузки топлива).

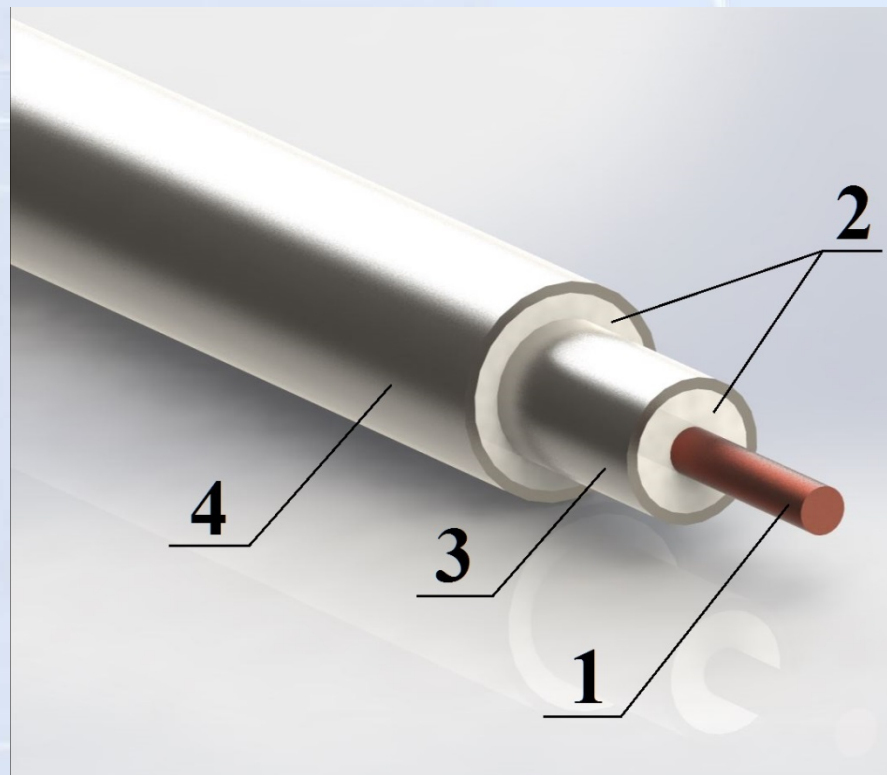


Габаритный чертеж БД



1 – Центр чувствительного объема, 2 – Кабель КНММС, 3 – Шток для подвески БД,
4 – Вилка СР-50-164ФВ, 5 – Защитная заглушка, 6 – Наконечник.

Кабель КНММС ТУ 16.К71-244-95



Кабель КНММС имеет одну однопроволочную токопроводящую жилу 1 из нержавеющей стали, плакированной медью, заключенную в две металлические оболочки, изолированные друг от друга и от токопроводящей жилы периклазом электротехническим 2. Внутренний слой внутренней оболочки 3 изготовлен из меди, внешний слой внутренней оболочки — из магнитомягкого материала (сталь 20). Наружная оболочка кабеля изготовлена из нержавеющей стали 4

Основные характеристики неперемещаемого радиационно-стойкого БД

- БД сохраняет свою работоспособность после пребывания в ИК под воздействием потока нейтронов с плотностью $4,0 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и гамма-излучения с интенсивностью $1,0 \cdot 10^3 \text{ Гр} \cdot \text{ч}^{-1}$ в течение 10 лет.
- БД работоспособен при воздействии температуры окружающей среды от минус 50 до + 155 °С.
- Устойчив в течение 24 ч в условиях аварии при температуре окружающей среды до 250 °С.
- Устойчив в течение 24 ч в условиях избыточного давления 0,46 МПа в месте расположения БД.
- БД обеспечивает контроль плотности потока тепловых нейтронов в каналах ионизационных камер в диапазоне от $2,0 \cdot 10^{-2}$ до $2,0 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при мощности поглощенной в воздухе дозы фонового гамма-излучения в месте размещения блока детектирования не более $1 \text{ Гр} \cdot \text{ч}^{-1}$ ($1,0 \cdot 10^2 \text{ Р} \cdot \text{ч}^{-1}$).
- Допускаемая основная относительная погрешность БД в диапазоне потока тепловых нейтронов от $5 \cdot 10^{-2}$ до $2,0 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ не превышает 25 % при доверительной вероятности 0,95.

Заключение

- Блок детектирования разработан на основе радиационно-стойкой модификации коронных счетчиков нейтронов, аналогичных счетчикам нейтронов типа СНМ-11 ОД0.339.070 ТУ, для применения в качестве неперемещаемого блока детектирования в составе канала аппаратуры контроля нейтронного потока АКНП, выполняющего функции контроля и формирования сигналов управления и защиты реакторной установки с водо-водяным энергетическим реактором ВВЭР в диапазоне источника в составе АСУ ТП энергоблока АЭС.
- Предназначен для регистрации тепловых нейтронов. Чувствительность БД к тепловым нейтронам составляет $4,0 \pm 1,0 \text{ см}^2$

Предназначением нового непереключаемого БД является повышение надежности и эксплуатационных характеристик канала контроля нейтронного потока АКНП.

- Повышение надежности канала контроля нейтронного потока АКНП достигается благодаря замене кабельной линии связи БД на основе полимерного кабеля КАГЭ-НФ, обладающего низкой радиационной стойкостью, на огнестойкие, термо-радиационностойкие и не распространяющие горение кабели типа КНММС с герметичной оболочкой из нержавеющей стали, внутренним электромагнитным экраном и минеральной изоляцией.
- Улучшение эксплуатационных характеристик, а также снижение себестоимости оборудования, размещаемого внутри герметичной защитной оболочки АЭС, достигается за счет устранения необходимости применения специальных механизмов перемещения блоков детектирования диапазона источника и соответствующих устройств для их управления.

Спасибо за внимание!

ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ»

**Россия, 123060, Москва,
ул. Расплетина д.5, стр.10**

**Тел: (495) 748-52-51
Факс: (495) 748-52-54**

www.systematom.ru

