

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ CDTE (CdZnTe) ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ АЭС УКРАИНЫ

*Ю.А. Грибанов<sup>1</sup>, В.С. Рингис<sup>1</sup>, В.Г. Скоромный<sup>1</sup>,  
В.Е. Кутний<sup>2</sup>, А.В. Рыбка<sup>2</sup>, И.Н. Шляхов<sup>2</sup>*  
*<sup>1</sup>СФ ИНЭК, 61072, г. Харьков, Тобольская, 42;  
<sup>2</sup>ННЦ ХФТИ, 61108, г. Харьков, Академическая, 1*

Реконструкция систем радиационного контроля на АЭС Украины — актуальная задача, поскольку штатная аппаратура АКРБ–03, которой оснащены АЭС, разработана в конце 70-х и уже выработала свой ресурс. Кроме того, нормативная база по радиационной безопасности на объектах атомной энергетики претерпела значительные изменения — введены в действие НРБУ–98, ОПБ–88, СПАС–88 и т.д., что привело к несоответствию между эксплуатируемыми средствами радиационного контроля и требованиями этих документов. В связи с этим была разработана автоматизированная система контроля радиационной безопасности (АСКРБ), предназначенная для комплексного контроля радиационной безопасности АЭС. В процессе создания АСКРБ были разработаны проектные решения включающие: техническое, математическое, информационное, лингвистическое, программное, метрологическое и организационное обеспечение. Кроме того, разработаны решения по обеспечению требований электромагнитной совместимости и работоспособности аппаратуры АСКРБ в сложной радиационной обстановке. Все технические средства разработанной системы отвечают требованиям "Специальных условий поставки оборудования на АЭС", имеют гарантийное обеспечение качества, обладают высокой надежностью, сейсмостойкостью и пожаробезопасностью.

Ниже приведены общесистемные принципы построения АСКРБ.

**Принцип комплектности.** Предполагает полноту набора технических и программных средств контроля, автоматизацию всех этапов получения, сбора, обработки, анализа, отображения и документирования информации о радиационном состоянии объекта контроля.

**Принцип соответствия.** Предполагает соответствие системы в целом и её подсистем целям радиационного контроля АЭС, который должен осуществляться во всех режимах эксплуатации АЭС, включая аварийные.

**Принцип распределенности.** Предполагает организацию измерений большого количества пространственно-распределенных точек контроля, обработку информации на всех уровнях системы, передачу информации о параметрах радиационного контроля (в том числе о превышении пороговых

установок) лицам, работающим в радиационно-опасных условиях, персоналу службы радиационной безопасности на средства отображения и сигнализации всех уровней.

**Принцип автономности.** Предполагает возможность функционирования нижнего уровня системы независимо от верхнего уровня, возможности функционирования всей системы в целом независимо от работы её составных частей и самостоятельного решения возложенных на систему задач во всех режимах эксплуатации АЭС, включая аварийные.

**Принцип адаптивности.** Предполагает наличие гибкой структуры технических и программных средств, обеспечивающих возможность перестройки конфигурации системы и режимов её функционирования в зависимости от складывающейся на объекте контроля радиационной обстановки и возможной деградации свойств элементов системы.

**Принцип совместимости.** Предполагает информационную совместимость АСКРБ со смежными системами.

**Принцип унификации и модульности.** Предполагает применение в системах таких программно-технических средств, которые обеспечивают компоновку унифицированных функционально законченных модулей с согласованными интерфейсами.

**Принцип открытости.** Предполагает возможность развития системы путем наращивания или замены оборудования, расширение состава решаемых системой задач, направленных на усовершенствование как системы в целом, так и составляющих её частей, поэтапного ввода системы в эксплуатацию.

Архитектура разработанной системы представляет собой распределенную сеть сбора и обработки данных, характеризующих радиационную безопасность объекта контроля, функционирующую в реальном масштабе времени во всех режимах работы АЭС (режим нормальной эксплуатации, режим останова реакторной установки, аварийный режим, поставарийный режим).

Структурное деление АСКРБ АЭС определяют следующие подсистемы: АСКРБ энергоблоков и спецкорпусов и программно-технический комплекс информационно-вычислительной системы АСКРБ. Такая структура определяет функциональное деление системы на верхний и нижний уровни.

Нижний уровень системы – АСКРБ энергоблоков

и спецкорпусов образует следующие структурные единицы: блоки и устройства детектирования (БД/УД) радиационных параметров; технологическое оборудование магистралей отбора проб радиационного контроля; устройства оптико-акустической сигнализации; комплексы сбора и обработки информации и периферийные процессорные станции.

Основополагающими устройствами в системе АСКРБ, определяющими объем контроля и достоверность полученных измерений, являются блоки и устройства детектирования ионизирующих излучений, работающих в сложных условиях (повышение температуры до 100°C, высокая влажность 95%, повышенный радиационный фон и др.).

Блоки и устройства детектирования ионизирующих излучений являются измерительными преобразователями, которые под воздействием ионизирующего излучения вырабатывают выходной нормированный электрический сигнал, характеризующий контролируемый параметр. Основным элементом в блоках и устройствах детектирования является детектор ионизирующего излучения (газоразрядный или сцинтилляционный счетчик, полупроводниковый датчик, ионизационная камера).

Все блоки и устройства, используемые на АЭС, по типу детектора можно разделить на две группы: основанные на газоразрядных или на сцинтилляционных счетчиках. К первой группе относятся блоки и устройства для измерений мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения, объемной активности инертных радиоактивных газов (ИРГ), объемной активности аэрозолей и паров йода. Ко второй относятся блоки и устройства детектирования для измерения объемной активности жидкости и «острого» пара.

Проведенный анализ обеспечения систем радиационного контроля датчиками показал, что при нормальной работе АЭС существующие блоки и устройства контроля объемной активности аэрозолей, ИРГ и йода не позволяют измерять фактические выбросы. Эти блоки и устройства были разработаны для контроля вышеуказанных нуклидов в диапазоне предельно допустимых выбросов и соответственно предельно допустимых концентраций, а это в настоящее время примерно в 100 раз больше величины фактических выбросов на АЭС. Кроме того, погрешности измерения эксплуатируемых БД/УД составляют ~ 50%.

ННЦ ХФТИ одновременно с созданием АСКРБ начал разработку БД/УД на основе полупроводниковых детекторов для контроля радиационной обстановки на АЭС. Полупроводниковые детекторы открыли новые возможности в области регистрации ионизирующих излучений. Эти возможности определяются преимуществом полупроводниковых детекторов перед сборками сцинтиллятор-ФЭУ и сцинтиллятор-фотодиод, которые выражаются в малых габаритах и весе, широком динамическом диапазоне до  $10^8$ , более высоком квантовом выходе, компактности и надежности в работе. В отличие от других детекторов в них осуществляется прямое преобразование энергии ионизирующего излучения

в электрический сигнал, они обладают большой радиационной стойкостью, лучшим энергетическим разрешением. По сравнению с газовыми ионизационными камерами полупроводниковые детекторы имеют ряд преимуществ. Из-за большой плотности вещества они позволяют резко снизить объем, в котором под действием излучения происходит образование заряженных частиц. Кроме того, из-за меньшей, чем в газах энергии образования электронно-дырочной пары (4,0...4,5 эВ против 20...50 эВ), улучшается отношение сигнал/шум и энергетическое разрешение. Полупроводниковые детекторы обладают линейностью характеристик, нечувствительностью к магнитным полям, высоким быстродействием.

Для получения высокой эффективности регистрации гамма-квантов необходимо выбрать такой полупроводниковый материал для изготовления детектора, который обладал бы высокой подвижностью носителей (для обеспечения высокого быстродействия детектора), высоким удельным сопротивлением, оптимальной шириной запрещенной зоны (при малой ширине запрещенной зоны — большие токи утечки, при слишком большой — падает чувствительность регистрации излучения).

ТАБЛИЦА 1

Диапазон измеряемой мощности дозы $\gamma$ -излучения	10 мкР/ч ... 1000 Р/ч
Диапазон регистрируемых энергий $\gamma$ -излучения	0.06... 3 МэВ
Основная погрешность измерений	+/- 10 %
Интерфейс связи	RS-485
Напряжение питания	12 В
Ток потребления не более	150 мА
Время установления рабочего режима	3 мин
Диапазон рабочих температур	-50 ... + 50 °С
Габаритные размеры блока	Ø60×200 мм
Масса не более	1,5 кг

Атомный номер вещества должен обеспечивать наибольшую эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов заданной энергии. С увеличением атомного номера полупроводника растет тормозная способность материала и сужается область локализации заряда. Таким образом, полупроводниковые детекторы в случае полного поглощения фотонов имеют примерно десятикратный запас по чувствительности перед системами с двухступенчатым преобразованием энергии. Однако, с увеличением энергии квантов электромагнитного излучения возрастает объем материала, обеспечивающий полное поглощение. Начиная с некоторого объема детектора шумы превышают полезный сигнал, что существенно ухудшает параметры детектора.

Полупроводниковые детекторы на основе соединений с высоким атомным номером ( $Z=50$ ) — CdTe

и CdZnTe существенно более эффективны для регистрации высокоэнергетических излучений, чем германий и кремний.

На основе детектора из CdTe разработан и изготовлен блок детектирования, предварительное наименование БДРГ-Т-08, мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения (рис. 1.). Блок состоит из детектора (CdTe, CdZnTe), маломощного предусилителя и микропроцессорного контроллера, обеспечивающего высокую чувствительность, независимую от энергии излучения. Это компактный прибор с автоматической подготовкой к работе и контролем рабочих режимов в процессе эксплуатации. Он обеспечивает широкий диапазон измеряемых МЭД; устойчивую работу на линию связи до 500 м. В табл. 1 приведены основные технические характеристики блока детектирования.

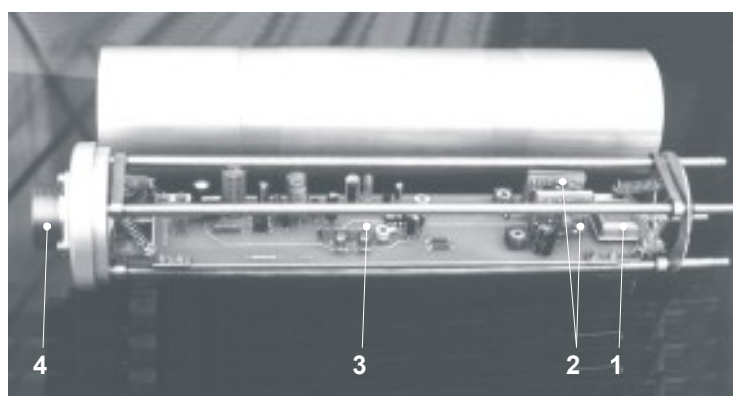


Рис. 1. Общий вид и функциональные узлы блока детектирования: 1 – чувствительный элемент; 2 – предварительный усилитель; 3 – контроллер; 4 – 2РМГ19

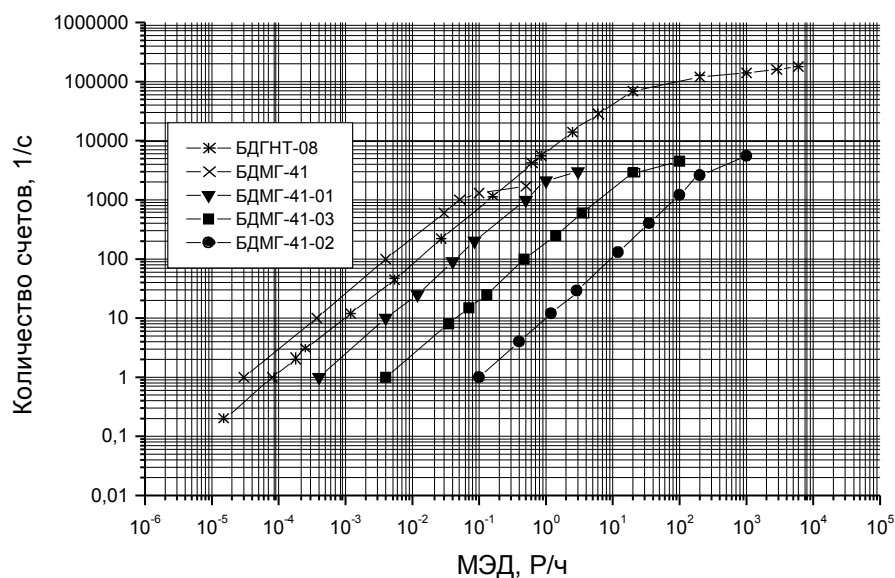


Рис. 2. Сравнительные характеристики различных блоков детектирования  $\gamma$ -излучения, применяемых на АЭС

Таблица 2.

Наименование приборов и устройств радиационного контроля	Модификация прибора	Состояние разработки	Подготовка производства и изготовление опытной партии, год	Освоение производства, год
1	2	3	4	5
<p><b>Блок измерения МЭД гамма-излучения в широком диапазоне "БДРГ-Т-08"</b></p> <p><i>Состав:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- чувствительный элемент с ППД из CdTe (CdZnTe);</li> <li>- устройство контроля работоспособности прибора;</li> <li>- предварительный усилитель;</li> <li>- формирователь импульсов;</li> <li>- встроенный контроллер;</li> <li>- корпус Ø60x200 мм</li> </ul> <p><i>Краткая характеристика:</i></p> <p>20 мкР/ч ... 10<sup>3</sup>Р/ч; 60 кэВ ... 3 МэВ; Напряжение питания: 12 В, 100 мА</p>	<p><b>Устройство измерения МЭД гамма-излучения в аварийных ситуациях</b></p> <p><i>Состав:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- блок детектора (Ø80x150 мм), включающий в себя чувствительный элемент с ППД из CdZnTe;</li> <li>- блок, включающий в себя: предварительный усилитель, источник питания, формирователь импульсов, устройство связи с ЭВМ;</li> </ul> <p>соединение между блоками осуществляется кабелем длиной до 10 м</p> <p><i>Краткая характеристика:</i></p> <p>1 Р/час ... 10<sup>6</sup> Р/час; 60 кэВ ... 3 МэВ; 12 В, 100 мА</p>	Опытный образец	2000	2001
<p><b>Спектрометр гамма-излучения лабораторный</b></p> <p><i>Состав:</i></p> <p>спектрометрический CdTe (CdZnTe) ППД; малошумящий предусилитель; быстродействующий усилитель; АЦП. Выходной сигнал подается на ЭВМ или контроллер.</p> <p><i>Краткая характеристика:</i></p> <p>30 кэВ ... 1,5 МэВ Разрешение 1% (<sup>137</sup>Cs)</p>	<p><b>Спектрометр гамма-излучения портативный</b></p> <p><i>Состав:</i></p> <p>блок 1: спектрометрический CdTe (CdZnTe) ППД; малошумящий предусилитель;</p> <p>блок 2: быстродействующий усилитель; АЦП.</p> <p>Выходной сигнал подается на ЭВМ или контроллер.</p> <p>Соединение между блоками осуществляется кабелем длиной до 10 м.</p> <p><i>Краткая характеристика:</i></p> <p>30 кэВ ... 1,5 МэВ Разрешение 2% (<sup>137</sup>Cs)</p>	Опытный образец	2001	2002
<p><b>Пороговый сигнализатор МЭД гамма-излучения</b></p> <p><i>Состав:</i></p> <p>ППД из CdTe, усилитель-формирователь, вторичный источник питания, контроллер, блок силовых ключей.</p> <p>Обеспечивает автоматическую сигнализацию (световую и звуковую), а также выдачу команд на включение исполнительных механизмов средств защиты.</p> <p>Автоматическая проверка работоспособности</p> <p>Напряжение питания 24 В.</p>	—	Макетный образец	2000	2001

Для дальнейшего развития системы АСКРБ была создана программа разработки и постановки на производство приборов и устройств радиационного контроля на основе полупроводниковых детекторов для нужд АЭС Украины. Эта программа (табл. 2), при ее выполнении в указанные сроки позволит значительно повысить надежность работы системы контроля АЭС, время эксплуатации и снизить стоимость блоков детектирования в несколько раз. Производство блоков детектирования на предприятиях Украины позволит обеспечить бесперебойное снабжение АЭС приборами контроля.

## **ВЫВОДЫ**

1. Таким образом, полупроводниковые детекторы на основе соединений с высоким атомным номером ( $Z = 50$ ) – CdTe и CdZnTe существенно более эффективны для регистрации высокоэнергетических излучений. Кроме этого, полупроводниковые детекторы на основе CdTe и CdZnTe в случае полного поглощения фотонов имеют примерно десятикратный запас по чувствительности перед системами с двухступенчатым преобразованием энергии.
2. Разработанные блоки детектирования на основе CdTe позволяют обеспечить выполнение требований современных нормативных документов по радиационному контролю на АЭС.