

## Оглавление

Ультракompактный полевой спектрометр СЕГР-МСА527-СЗТ на основе CDZNTE с WINDOWS-планшетом и программой обработки спектров SPECTRALINETOUCH	
<i>Даниленко В.Н., Иванов В.И., Пономаренко Р.А., Шнейдер Г.</i> .....	5
Автоматизированный очг спектрометр для радионуклидного анализа	
<i>Мошак В.П., Ефремова Н.В., Ким С.А., Гостило В.В.</i> .....	7
Аппаратурное и методическое обеспечение для категорирования отходов уранового производства по классификации РАО	
<i>Антропов С.Ю., Ермилов А.П., Довиденко А.П., Минеев А.Н., Никулин Н.А., Тычков Б.В.</i> .....	8
Модернизация государственного первичного эталона активности ГЭТ 6-95	
<i>Алексеев И.В., Харитонов И.А., Сэпман С.В.</i> .....	9
Переносный дозиметр гамма-излучения ДКГ-АТ1129 для целей радиационного мониторинга	
<i>Быстров Е.В., Вороньков В.Н., Кожемякин В.А., Петров В.И., Семеняко А.Н.</i> .....	10
Интенсивности гамма-излучения <sup>235</sup> U	
<i>Берлизов А.Н., Даниленко В.Н., Кувыкин И.В., Кутний Д.</i> .....	12
Спектрометрические исследования радионуклидного состава технологических продуктов и проб окружающей среды	
<i>Прокопчик В.И., Рыжков Н.Н., Клочкова Н.В., Писаненко С.С.</i> .....	13
Рентгено-флуоресцентные измерители толщины функциональных покрытий с системами регистрации излучений на основе ППД	
<i>Харитонов Ю.П., Смирнов А.А., Федорков В.Г., Хрунов В.С., Кинжагузов И.Ю.</i> .....	14
Опыт практического использования термолюминесцентных дозиметров на основе LIF для индивидуальной дозиметрии в поле рассеянного нейтронного излучения	
<i>Петриченков М.В., Репков А.В., Чудаев В.Я., Шамакина Н.С., Экста В.В.</i> .....	15
Разработка и применение новых сцинтилляционных материалов	
<i>Поздняков Е.И., Пивнева С.П., Постолов В.С., Малышев Н.Е., Стенькин Ю.В., Щеголев О.Б.</i> .....	16
Гамма-нейтронный автоматизированный комплекс для калибровки и поверки дозиметрической и радиометрической аппаратуры	
<i>Гузов В.Д., Раскоша В.Л., Храмов В.В., Сеньковский К.Г., Николаев В.А., Быстров Е.В., Кожемякин В.А.</i> ..	18
Определение характеристик рао и обоснование их класса с использованием гамма-спектрометрической системы ISOCS	
<i>Ефремова А.А., Антипин А.В., Антушевский А.С., Андронников П.А.</i> .....	19
Влияние формы и размеров чувствительной поверхности детектора нейтронов на основе светосостава ZnS(Ag)/ <sup>6</sup> LiF на его эффективность	
<i>Гнездилов Ю.Ю., Кадиллин В.В., Мухин В.И., Самосадный В.Т.</i> .....	20
Дозиметрия в нормативных документах Роспотребнадзора	
<i>Нурлыбаев К., Мартынюк Ю. Н., Логинова С. В.</i> .....	22
Средства калибровки спектрометров антропоморфные радиодозиметрические фантомы тела и органов человека, производимые ООО «НТЦ «РАДЭК»	
<i>Брюхов Р. Е, Куруч Д.Д., Дмитриева Е.С.</i> .....	24
Особенности аналитического обеспечения при проведении мониторинга радиационной обстановки	
<i>Ивлиев М.В.</i> .....	25
Эталонные источники фотонного излучения, новые разработки (проблемы и решения)	
<i>Рогозов А.Б., Тычинкин Ю.А., Миронов М.В., Лобанов Ю.В., Коптев А.В., Харитонов И.</i> .....	27
Опыт использования сцинтилляционных детекторов в спектрометрических системах радиационной безопасности для АЭС, экологического контроля и мониторинга	
<i>Казимиров А.С.</i> .....	28
Универсальные свойства радиоактивного отложения и методы исследования загрязнения почвы	
<i>Грубич А.О.</i> .....	29

Быстро разворачиваемая автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки ФГУП АТЦ СПб. (БРАСМРО АТЦ)	
<i>Силантьев К.А.</i> .....	31
Контроль радиационной безопасности на предприятиях ядерно-энергетического комплекса.	
<i>Казимиров А.С., Казиминова Г.Ф., Иевлев С.М., Мартынюк Л.Б., Черный Е.В.</i> .....	32
Повышение квалификации специалистов по спектрометрии и радиометрии в СПб филиале НОУ ДПО «ЦИПК РОСАТОМА»	
<i>Бомбин Р.Н., Натха С.В.</i> .....	33
Бортовая аппаратура аэрогамма-съемки радиоактивно загрязненной местности для беспилотного вертолетного комплекса INDELA SKY/AT	
<i>Кожемякин В.А.</i> .....	35
Геоинформационная система ГИС-ЛСРМ	
<i>Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Федоровский С.Ю., Пономаренко Р.А.</i> .....	37
Анализ технологических продуктов передела медно-никелевой руды с помощью РФА метода	
<i>Соколов А.Д., Хасыкова Е.И., Титов В.Л.</i> .....	38
Моделирование и расчет чувствительности черенковского детектора галактических космических лучей к протонному излучению	
<i>Фоков Г.А., Кожемякин В.А., Гузов В.Д.</i> .....	40
Обеспечение прослеживаемости измерений активности радионуклидов в ядерной медицине	
<i>Коростин С.В., Божко Н.С., Сэмман С.В.</i> .....	41
Метрологическое обеспечение измерений активности радионуклидов в радиофармпрепаратах	
<i>Сэмман С.В., Алексеев И.В., Заневский А.В., Терещенко Е.Е., Харитонов И.А.</i> .....	42
Программное средство для оценки масштаба и плотности загрязнения местности радионуклидом <sup>137</sup> Cs по данным воздушной и наземной радиационной съемки	
<i>Быстров Е.В., Кожемякин В.А., Коновалов Е.А.</i> .....	44
Состояние разработок ядерно-физической аппаратуры в АО «ИФТП»	
<i>Газизов И.М., Смирнов А.А., Федорков В.Г., Хрунов В.С.</i> .....	46
Исследования радиационной обстановки в районах побережья и прилегающих акваторий Российского Дальнего Востока и Курило-Камчатского региона, а также северо-западной части тихого океана в связи с аварией на японской АЭС «ФУКУСИМА-1». Итоги экспедиций 2011, 2012 и 2014 гг.»	
<i>Тишков В. П., Анисович К. В., Бондаренко Л. Г., Важенина Е. В., Изотова А. В., Мокрова Е. Ю, Большаков В. А., Душин В. Н., Захаров Г. А., Осипов В. В., Осокин В. М., Перов А. В, Савоненков В. Г., Садыкин А. Д., Степанов А.В., Струков В. Н., Шабалев С. И.</i> .....	47
Нейтронный и гамма-детекторы на основе кремниевого фотоэлектронного умножителя	
<i>Кожемякин В.А., Коржик М.В., Лопатик А.Р., Федоров А.А.</i> .....	48
ПО для планшетных компьютеров SPECTRALINETOUCH	
<i>Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Пономаренко Р.А., Соловьева С.Л.</i> .....	49
Опыт разработки радиометрического и спектрометрического оборудования в области контроля радиационной обстановки, контроля уровня и концентрации технологических растворов	
<i>Хайло Л.Н., Солопенко М.М., Мухамеджанов И.Р., Ступацкий А.В., Дмитриев В.Ф., Солонин Д.С.</i> .....	50
Линейка интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения для использования в составе роботизированных и других систем	
<i>Кожемякин В.А.</i> .....	53
Программное обеспечение для паспортизации РАО	
<i>Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Суворов Д.А.</i> .....	56
Светосбор с помощью спектросмещающих волокон на примере сцинтилляционных пластмассовых детекторов	
<i>Гнездилов Ю.Ю., Мухин В.И.</i> .....	58
Определение бета-излучающих изотопов в 1 контуре АЭС	
<i>Малиновский С.В., Каширин И.А., Скакун Г.Е., Исаев В.Н.</i> .....	60

Линейка сцинтилляционных блоков детектирования для использования в составе рентгеновских досмотровых комплексов	
<i>Вороньков В.Н., Петров В.И., Кожемякин В.А., Семеняко А.Н., Алексейчук И.А.</i> .....	61
Новые возможности многофункционального спектрометрического программного обеспечения SPECTRALINE	
<i>Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Кувыкин И.В., Скубо Ю.В.</i> .....	63
Создание блоков-компараторов для метрологической аттестации полей фотонного излучения по мощности дозы на базе серийно выпускаемых блоков детектирования	
<i>Лукашевич Р.В., Антонов А.В., Антонов В.И., Барченко А.Г., Гузов В.Д., Коновалов Е.А., Кожемякин В.А., Фоков Г.А.</i> .....	64
Приборы и системы для контроля радиационного загрязнения окружающей среды	
<i>Казимиров А.С., Казимилова Г.Ф., Иевлев С.М., Мартынюк Л.Б., Черный Е.В.</i> .....	65
Реализация ФЗ № 102 «Об обеспечении единства измерений» в период 2008-2015 г.г	
<i>Харитонов И.А.</i> .....	66
Идентификация радионуклидов, индекс доверия, спектрометрическое МДА	
<i>Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Кувыкин И.В., Скубо Ю.В.</i> .....	83
Опыт применения счетчиков нейтронных совпадений для измерения массы плутония в скрапах сложного состава	
<i>Семенов М.А., Ефремова А.А., Левунин С.Л., Аникин А.В., Корнев В.Б.</i> .....	68
Мобильный высокочувствительный спектрометрический комплекс радиационного сканирования территорий и объектов МКС – АТ6103	
<i>Антонов А.В., Антонов В.И., Барченко А.Г., Быстров Е.В., Гуринович В.И., Кожемякин В.А., Лукашевич Р.В.</i> .....	69
Экспертная система SPECTRALINE	
<i>Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Пономаренко Р.А., Соловьева С.Л.</i> .....	70
Оценка достоверности данных дистанционных измерений при ведении воздушной дозиметрической съемки радиоактивно загрязненной местности	
<i>Кожемякин В.А.</i> .....	71
Основные направления деятельности ФГУП «ПО «МАЯК» по аппаратурно-методическому обеспечению: опыт, тенденции, продукция	
<i>Семенов М.А., Левунин С.Л., Афанасенко Д.В.</i> .....	72
Радиометр суммарных альфа- и бета-активностей	
<i>Горшков Д.В., Кожемякин В.А., Николаев В.А., Турончик Ю.Е.</i> .....	73
Ультеракомпактный носимый идентификатор на основе детектора из очг	
<i>Соколов А.Д.<sup>1</sup>, Гостило В.В.<sup>1</sup>, Пчелинцев А.Б.<sup>1</sup>, Лошевич Э.Л.<sup>1</sup>, Ковальский Е.А.<sup>2</sup>, Brutscher J.<sup>3</sup></i> .....	74
Таможенная технология проверки декларируемых данных ядерных и радиоактивных материалов, перемещаемых как товар через границу	
<i>Кравченко Н.Э.</i> .....	75
Сигнализатор аварийный дозиметрический ДРГ-АТ2331 для обнаружения самоподдерживающейся цепной реакции	
<i>Васильев П.Н., Николаев В.А., Попов Д.А., Лукашевич Р.В.</i> .....	77
Пакет программ математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения для разработки систем авиационного радиационного мониторинга поверхности земли	
<i>Новиков И.Э.</i> .....	79
Опыт использования рентгенофлюоресцентного анализатора CON-X 02 на горно-добывающих предприятиях	
<i>Хасыкова Е.И., Титов В.Л., Соколов А.Д.</i> .....	81
Спектрометрические сцинтилляционные блоки детектирования гамма-излучения для жестких условий эксплуатации	
<i>Антонов А.В., Антонов В.И., Барченко А.Г., Быстров Е.В., Кожемякин В.И., Лукашевич Р.В.</i> .....	82

Модернизация идентификаторов радионуклидов МКС – АТ6102 И МКС – АТ1321 с целью расширения эксплуатационных возможностей	
<i>Быстров Е.В., Ничпорчук А.О., Тищенко С.Н., Толкачев А.Н., Чирикало В.А.</i> .....	84
АТ6101DR gamma-spectrometer for soil radiation control and monitoring by "In situ" as a result of belarus and japan cooperation in overcoming the consequences of the accident at the nuclear power plant in Fukushima	
<i>A. Zhukousi<sup>1</sup>, A. Nichyparchuk, V. Chirikalo, V. Guzov, V. Kozhemyakin, S. Kutsen, A. Khrutchinsky, M. Mogi, K. Mogi, T. Fukuhara, T. Yajima, H. Ishi<sup>5</sup>, V. Chudakov</i> .....	85
6104DM gamma spectrometer for radiation monitoring water areas and bottom sediments. results of mathematical and experimental researches	
<i>A. Zhukouski, V. Chirikalo, V. Guzov, V. Kozhemyakin, S. Kutsen, A. Khrutchinsky, T. Fukuhara, T. Yajima, M. Mogi, K. Mogi, V. Chudakov</i> .....	88
<i>Опыт и перспективы применения тонких сцинтилляторов для поиска и идентификации источников низкоэнергетического фотонного излучения</i>	
<i>Андреев А.И., Андреев И.И., Андреюк А.Н., Полев Д.И. Васильев С.К., Филимонов Р.С., Рудин Н.В., Чуваев С.В.</i> .....	90
Развитие нормативной базы в области оценивания точности измерений	
<i>Чуновкина А.Г., Бурмистрова Н.А.</i> .....	92



[1]SpectralineTouch –настоящий сборник.

[2] V. Ivanov, P. Dorogov, A. Loutchansky, L. Grigorjeva, D. Millers, CdZnTe quasi-hemispherical detectors of volumes up to 4 cm<sup>3</sup> based "Improving the Performance of Quasi-Hemispherical CdZnTeon the use of IR illumination has been successfully applied; Detectors Using Infrared Stimulation", IEEE Trans. Nucl. Sci., vol.2382, 2012

Compact semiconductor spectrometer SEGR-MCA527-CZT based on CdZnTe with Windows tablet and spectroscopy software SpectralineTouch.

Danilenko V., Ponomarenko R. LSRM , Russia, Ivanov V.A., ZRF RITEC SIA, G.. Schneider, GBS Electronics

Family of ultra-compact semiconductor spectrometers SEGR-MCA527-CZT based on not-cooled CdZnTe with semiconductor crystals 60, 500, 1500 mm<sup>3</sup> volumes with integrated digital multi-channel analyzer series MCA527 with 2048 channels and USB 2.0 interface and with USB 2.0/ Ethernet interface had been developed. Size of USB version is 25x25x63 mm and weight only 80 grams, size of USB / Ethernet version is 25x25x110 mm and only 110 grams, energy range 20 keV-3000 keV, integral non-linearity less then +/- 0.5%, energy resolution is better than 2.5% for volumes of crystals 60 and 500 mm<sup>3</sup> and better then 3.5% for 1500 mm<sup>3</sup> (for 662 keV). Maximum input is 1 10<sup>5</sup> pulses / s, time instability during 8 hours of continuous use not more than 0.05%.New software SpectralineTouch included nuclides libraries, basic measurement geometries using Windows compatible software for compact tablet. Possibilities for transferring accumulated spectra, configuration and measurement protocols to a remote computer have been included to Spectraline Touch. The compact semiconductor spectrometer for field applications SEGR-MCA527-CZT listed in the Russian Federation Register of Measurement Units №56759-14 and can be purchased with initial metrology verification (calibration).

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ОЧГ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОГО АНАЛИЗА

*Мошак В.П., Ефремова Н.В., Ким С.А., Гостило В.В.*  
**Baltic Scientific Instruments, Рига, Латвия**

Лабораторные ОЧГ спектрометры с защитой – самые распространенные приборы для прецизионного радионуклидного анализа объектов окружающей среды (почва, вода, воздух), медицинских и биологических объектов, материалов и продуктов. Высокое энергетическое разрешение и эффективность регистрации ОЧГ детектора, низкий уровень приборного и внешнего фона позволяют обеспечивать низкие пределы обнаружения радионуклидов в перечисленных материалах.

Вместе с тем, при проведении исследований низкоактивных проб время измерения может составлять несколько часов, а иногда и суток, а большое количество проб, их загрузка и выгрузка превращают процесс измерений в настоящую проблему для оператора.



**Рис. 1** Автоматизированный очг спектрометр для радионуклидного анализа

Представлены результаты разработки автоматизированного спектрометра для рутинных измерений при проведении радионуклидного анализа материалов. Спектрометр содержит ОЧГ детектор с эффективностью регистрации 40%, стандартный многоканальный анализатор, свинцовую защиту и автоматизированный загрузчик проб на основе промышленного манипулятора IRB120 фирмы ABB.

Программное обеспечение спектрометра включает программу SpectroLine для расчета активностей радионуклидов, а также программу управления манипулятором при перезагрузке проб. Автоматизированный спектрометр позволяет проводить радионуклидный анализ до 40 проб в одном цикле без вмешательства оператора.

## АППАРАТУРНОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ОТХОДОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО КЛАССИФИКАЦИИ РАО

*Антропов С.Ю.<sup>1</sup>, Ермилов А.П.<sup>1</sup>, Довиденко А.П.<sup>2</sup>, Минеев А.Н.<sup>2</sup>, Никулин Н.А.<sup>2</sup>, Тычков Б.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО «НТЦ Амплитуда», Россия, Зеленоград

<sup>2</sup>АО ЧМЗ

Снижение затрат на последующую утилизацию радиоактивных отходов возможно за счет выполнения процедур категорирования и сортировки образующихся отходов на этапе их образования, а в случае реабилитации территории – до демонтажа загрязненных конструкций и зданий.

В докладе представлены результаты работы по разработке, поставке и вводу в эксплуатацию аппаратурно-методического обеспечения для категорирования элементов РАО, образующихся на АО ЧМЗ. Источниками радиоактивных отходов на АО ЧМЗ являются:

- грунт, загрязненный урановой рудой, складываемой на территории АО ЧМЗ в начальный период деятельности, характеризующийся наличием природного урана и  $^{226}\text{Ra}$ ;
- отходы уранового производства, включая металлолом, элементы конструкций и зданий, характеризующиеся наличием природного или обедненного урана;
- отходы циркониевого производства, характеризующиеся наличием дочерних радионуклидов рядов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , не находящихся в состоянии радиоактивного равновесия.
- Разработанные для АО ЧМЗ методики категорирования отходов устанавливают набор операционных величин и критериев, позволяющих принимать решения по категорированию элементов отходов непосредственно в месте их образования по результатам измерений при помощи переносного сцинтилляционного спектрометра, регистрирующего бета и гамма излучение.



# МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА АКТИВНОСТИ ГЭТ 6-95

*Алексеев И.В., Харитонов И.А., Сэнман С.В.*

**ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.  
Д.И.Менделеева», Россия, Санкт-Петербург**

Государственный Первичный Эталон единиц активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников в настоящий момент проходит плановую модернизацию. В докладе представлены промежуточные результаты работ, проведенных во ВНИИМ за последние несколько лет по этой теме. В ходе работ были усовершенствованы отдельные модули и системы существующих установок, несколько установок обновлены полностью, также в состав эталона введены полностью новые установки.

При модернизации каналов регистрации была применена современная архитектура цифровой обработки зарегистрированных событий с полной фиксацией всех регистрируемых событий на системе хранения компьютера управления установкой. Оцифровка аналогового сигнала производится унифицированными приборами производства фирмы CAEN. Подобный подход позволяет многократно off-line обрабатывать один и тот же массив экспериментальных данных с различными настройками, что особенно важно при тонкой настройке параметров анализа совпадений и в методах, включающих в себя экстраполяцию по эффективности регистрации.

В состав эталона ГЭТ 6-95 впервые введена установка, реализующая метод TDCR на основе жидкого сцинтиллятора. Установка полностью создана во ВНИИМ, в каналах регистрации применена цифровая архитектура регистрации, а для реализации схемы совпадений создано программное обеспечение off-line обработки. Реализованный метод TDCR является абсолютным и позволяет определять удельную активность растворов чистых бета-распадчиков с низкими граничными энергиями, таких как  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  и других. Установка также оборудована  $\gamma$ -детектором на основе кристалла NaI(Tl) расположенным на оси камеры светосбора и подключенному к одному из каналов устройства оцифровки. Это позволяет использовать ее для измерений растворов радионуклидов методом  $\beta$ - $\gamma$  совпадений, где в качестве  $\beta$  детектора используется камера светосбора TDCR с тремя фотоумножителями.

В рамках модернизации эталона ГЭТ 6-95 в 2015 году создается установка  $4\pi\gamma$  регистрации на основе сцинтилляционных кристаллов NaI(Tl).  $4\pi$ -геометрия достигается путем комбинации двух сцинтилляционных кристаллов расположенных соосно, в одном из которых сделана цилиндрическая выемка для расположения исследуемого источника. Ключевой в реализации проекта установки  $4\pi\gamma$  счета является численная модель детектора. Численная модель установки разрабатывается на основе свободно распространяемой CERN библиотеки GEANT4.

В докладе также освещены некоторые детали модернизации других установок эталона.

# ПЕРЕНОСНЫЙ ДОЗИМЕТР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДКГ-АТ1129 ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

*Быстров Е.В., Вороньков В.Н., Кожемякин В.А., Петров В.И., Семеняко А.Н*  
Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск

Дозиметр гамма-излучения ДКС-АТ1129 предназначен для измерения амбиентного эквивалента дозы, мощности амбиентного эквивалента дозы и скорости счета зарегистрированных квантов. В состав прибора входит блок детектирования БДКГ-24Р и компактный компьютер NAUTIZ X8 со встроенным приемником GPS. В качестве детектора в блоке детектирования использована сцинтилляционная пластмасса (поливинилтолуол) объемом ~ 80 см<sup>3</sup>, что обеспечивает достаточно высокую чувствительность блока детектирования, составляющую для <sup>137</sup>Cs (662 кэВ) 530, а для <sup>241</sup>Am (59,5 кэВ) 3400 имп/с/мкЗв/ч.

Подобранный состав и концентрация добавок солей тяжелых металлов в детекторе позволило получить энергетическую зависимость не более 25 % в диапазоне регистрируемых энергий гамма-излучения от 30 до 3000 кэВ, а выбранная геометрия детектора и конструкция блока детектирования обеспечили хорошую анизотропию. Таким образом, зависимость показаний прибора от угла падения излучения на детектор не превышает 20 % в диапазоне углов ± 150 для <sup>137</sup>Cs (662 кэВ) и ± 120 – для <sup>241</sup>Am (59,5 кэВ).

Использование в качестве детектора пластмассового сцинтиллятора, устойчивого к жестким климатическим и механическим воздействиям, обеспечивает работу блока детектирования в широком диапазоне температур от минус 40 до плюс 55 С. Диапазон рабочих температур для КПК от минус 30 до плюс 60 С.

В блоке детектирования применена система светодиодной стабилизации измерительного тракта, благодаря чему обеспечивается незначительная температурная зависимость показаний, не превышающая 10 % во всем диапазоне рабочих температур.

Использование системы стабилизации измерительного тракта блока детектирования совместно с рядом схемотехнических решений сделало возможным производить измерение мощности дозы от 30 мЗв/ч до 1 Зв/ч с погрешностью не превышающей 20 %.

Связь между блоком детектирования и КПК может осуществляться по кабелю по интерфейсу RS232, либо по радиоканалу Bluetooth. Дальность связи по кабелю – до 25 м, по радиоканалу – до 10 м.

При работе прибора измеренные значения мощности дозы, а также статистической погрешности, наполненной дозы и скорости счета в режиме реального времени индицируются на экране КПК и вместе с координатами, датой и временем измерения записываются в его память.

Параметры автоматической записи: по установленному времени набора, по заданной статистической погрешности, в режиме скользящего среднего с задаваемой емкостью буфера – определяются оператором.

Габаритные размеры и масса:

- БДКГ-24Р – Ø76x335 мм, 1,1 кг;
- КПК – 191x80x35 мм, 0,5 кг.
- Защищенность от внешних воздействий:
- БДКГ 24Р – IP67, КПК – IP67.

Без затруднений прибор можно использовать как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Блок детектирования и КПК могут располагаться: непосредственно в руках или на поясе оператора, на штанге, на штативе, в рюкзаке. Сочетание хороших метрологических характеристик с устойчивостью к жестким внешним климатическим и механическим воздействиям, возможность передачи информации с блока детектирования в КПК, используя радиоканал или, где это невозможно, по кабелю, возможность записи результатов измерения с привязкой по времени и координатам делают дозиметр ДКГ-АТ1129 достаточно универсальным и современным средством для мониторинга радиационной обстановки.

## ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ $^{235}\text{U}$

*Берлизов А.Н.<sup>1</sup>, Даниленко В.Н.<sup>2</sup>, Кувыкин И.В.<sup>3</sup>, Кутный Д.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>МАГАТЭ, Вена, Австрия

<sup>2</sup>ООО «ЛСРМ», Россия, Зеленоград

<sup>3</sup>ВНИИФТРИ, Россия, Менделеево

<sup>4</sup>ХФТИ, Украина, Харьков

Точные значения интенсивностей линий гамма-излучения урана необходимы для решения практических задач измерения степени обогащения. Одним из наиболее точных и широко применяемых гамма-спектрометрических методов измерения степени обогащения от слабо экранированных равновесных образцов урана является метод, предложенный R. Gunnink [1]. Он основывается на измерении отношения скоростей счета от гамма-линий 92.38 и 92.80 кэВ  $^{234}\text{Th}$  (в предположении равновесия с  $^{238}\text{U}$ ) и характеристической линии  $\text{K}\alpha_1$  (Th) 93.35 кэВ из распада  $^{235}\text{U}$ . Отношения интенсивностей этих линий по данным ENSDF [2] на 2004 г составляют

$$\frac{I_{92.38}}{I_{93.35}} = 0.484(45) \frac{I_{92.80}}{I_{93.35}} = 0.477(45)$$

Эти отношения использовались для расчёта обогащения урана и их достоверность подтверждается сравнением результатов гамма-спектрометрических измерений с данными масс-спектрометрии [3]. Результаты недавних измерений интенсивностей линий  $^{234}\text{Th}$  [4], которые отличаются от предыдущих на величину  $\sim 30\%$ , заставляют усомниться в значении интенсивности характеристической линии  $\text{K}\alpha_1$  ( $^{231}\text{Th}$ ) 93.35 кэВ из распада  $^{235}\text{U}$ . Это обстоятельство побудило к проведению данного исследования, в котором выходы гамма- и рентгеновского излучения  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  были уточнены на основе измерений наборов стандартных образцов изотопного состава урана низкого SRM 696 и высокого CRM 146 обогащения.

Кроме того недостаточно надёжно известны интенсивности линий  $^{235}\text{U}$  в равновесии с  $^{231}\text{Th}$  с энергиями выше 205 кэВ. Это, на наш взгляд, связано с проблемой учёта пиков суммирования от интенсивных линий  $^{235}\text{U} + ^{231}\text{Th}$  с энергиями ниже 205 кэВ.

Выходы линий излучения были измерены по отношению к другим наиболее надёжным линиям изотопов урана и их дочерних радионуклидов, наблюдаемым в измеренных спектрах. Привлечение данных по относительным интенсивностям линий рентгеновской флуоресценции урана, а также гамма-линий из цепочки распада  $^{238}\text{Th}$  позволило с достаточно высокой точностью получить кривые относительной эффективности регистрации использованных детекторов в диапазоне энергий 50-1000 кэВ. Кроме интенсивностей линий урана в диапазоне ниже К-края поглощения, были также уточнены квантовые выходы гамма-линий из распада  $^{235}\text{U}$  с энергией выше 205 кэВ

[1] Abousahl, S.; van Belle, P.; Lynch, B.; Ottmar, H., New Measurement of the Emission Probability of the 63.290 keV  $^{234}\text{Th}$  Gamma Ray from  $^{238}\text{U}$  Alpha Decay. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A 517 (2004) 211-218.

[2] Nuclear structure & decay Data <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2>

[3] A.N. Berlizov, R. Gunnink, J. Zsigrai, C.T. Nguyen, V.V. Tryshyn, NIM A 575 (2007), p498.

[4] Abousahl, S.; van Belle, P.; Lynch, B.; Ottmar, H., New Measurement of the Emission Probability of the 63.290 keV  $^{234}\text{Th}$  Gamma Ray from  $^{238}\text{U}$  Alpha Decay. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A 517 (2004) 211-218.

## СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ И ПРОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Прокопчик В.И., Рыжков Н.Н., Клочкова Н.В., Писаненко С.С.

АО «ВНИИХТ», Россия, Москва

Задача ИЛРК АО «ВНИИХТ» – измерение методами спектрометрии и радиохимии для радиационного контроля твердых и жидких технологических материалов, готовой продукции и отходов производства, поверхностных и подземных вод, донных отложений, почв, грунтов, сточных вод, строительных материалов, удобрений и мелиорантов, минерального сырья. Оснащение ИЛРК позволяет осуществлять контроль активности природных и техногенных альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов на уровнях, соответствующих требованиям НРБ-99/2009, а также технических условий на сырье и готовую продукцию.

Тенденцией нынешнего этапа освоения минеральных ресурсов является снижение качества полезных ископаемых и ухудшение горногеологических условий их отработки. В настоящее время метод подземного выщелачивания (ПВ) – один из основных геотехнологических процессов добычи урана.

В процессе альфа-спектрометрического анализа проб при выщелачивании урана на промышленных участках выявлен эффект разделения изотопов  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ . На начальных стадиях выщелачивания в продуктивных растворах выносятся уран с повышенным содержанием изотопа  $^{234}\text{U}$ .

В результате альфа-спектрометрических измерений установлено:

– в начале процесса выщелачивания в продуктивных растворах отмечаются повышенные содержания изотопа  $^{234}\text{U}$ . В результате извлечение изотопа  $^{234}\text{U}$  (на примере далматовских руд) почти на восемь процентов опережает извлечение общего урана, несмотря на его равновесное содержание в технологической пробе;

– зависимости содержания изотопа  $^{234}\text{U}$  в продуктивных растворах от степени извлечения урана из блока позволяют прогнозировать качество получаемых концентратов. И в тоже время, по содержанию изотопа  $^{234}\text{U}$  в продуктивных растворах можно судить о степени отработки блока (извлечении урана).

Проведенные исследования в ИЛРК состава продуктов подземного выщелачивания Далматовского и Хиагдинского месторождений свидетельствуют о перспективности использования технологических растворов для получения  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{227}\text{Ac}$ , поскольку исключаются операции перевода руды в раствор и одновременно происходит очистка от  $^{226}\text{Ra}$ . Указанные радионуклиды накапливаются в растворах за счет возвращения их в процесс с маточными растворами после сорбции урана. В связи с широким использованием подземного выщелачивания, появляется возможность попутного получения ценных естественных радионуклидов.

# РЕНТГЕНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С СИСТЕМАМИ РЕГИСТРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ППД

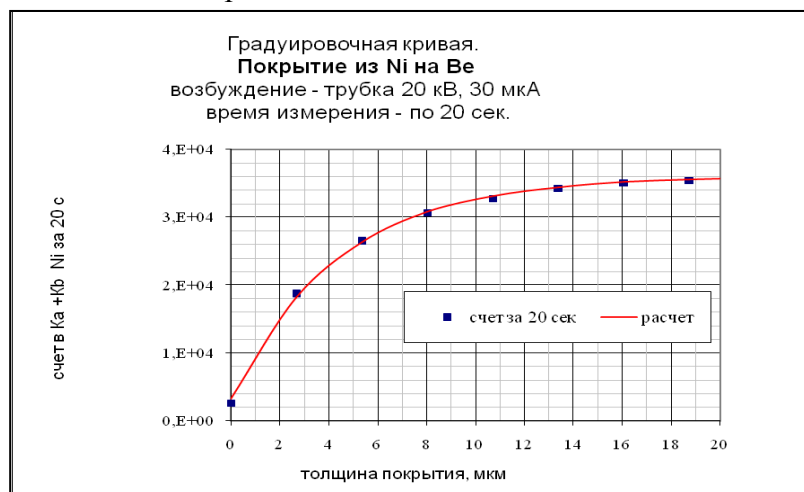
*Харитонов Ю.П., Смирнов А.А., Федорков В.Г., Хрунов В.С., Кинжагузов И.Ю.*  
АО «Институт физико-технических проблем», Россия, Дубна

Одним из направлений деятельности АО «ИФТП» является разработка рентгено-флуоресцентных толщиномеров функциональных покрытий для работы в составе технологического оборудования автоматического контроля деталей сложного профиля.

Толщиномеры предназначены для неразрушающего экспресс-измерения толщины (поверхностной плотности) металлических и диэлектрических покрытий на изделиях путём регистрации интенсивности характеристического рентгеновского излучения химического элемента покрытия и подложки, а также для идентификации элементного состава основы и многослойных покрытий (в частном случае полуавтоматического контроля серебряного покрытия на оребрённой поверхности деталей сложного профиля).

Для того чтобы исключить появление механических повреждений при контроле изделий, разработан специализированный толщиномер серебряного покрытия с возможностью бесконтактного измерения.

В докладе приведены результаты исследований толщиномером на базе полупроводникового р-и-п детектора на основных этапах разработки и испытаний в составе оборудования автоматического контроля.



## ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ НА ОСНОВЕ LiF ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗИМЕТРИИ В ПОЛЕ РАССЕЯННОГО НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Петриченко М.В., Репков А.В., Чудаев В.Я., Шамакина Н.С., Экста В.В.*

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН), Россия, Новосибирск**

При работе ускорителей, в том числе медицинских, нейтронное излучение может вносить существенный вклад в индивидуальные дозы, получаемые персоналом. Практическое осуществление мониторинга индивидуальных нейтронных вкладов вблизи ускорительных комплексов требует использования простых («пассивных») дозиметров, пригодных для работы в смешанных полях излучений, по крайней мере, в фотонно-нейтронных. Применение для этих целей термолюминесцентных дозиметров (ТЛД) в настоящее время становится обычным. Однако существенная зависимость показаний термолюминесцентных дозиметров от энергии нейтронов, создаёт трудности при использовании таких дозиметров в полях с энергетическими спектрами нейтронов, заметно отличающимися от спектра нейтронов калибровочного источника (например, Pu-Be). Термолюминесцентные детекторы на основе  ${}^6\text{LiF}$ , применяющиеся, в частности, в альбедном дозиметре ДВГН-01 комплекса АКЖДК-301, имеют повышенную дозовую чувствительность в нейтронных полях с низкоэнергетическими спектрами, в то время как реальный дозовый вес таких нейтронов невелик в сравнении с дозовым весом быстрых нейтронов того же Pu-Be источника. Это обстоятельство потребовало серьёзной коррекции показаний ДВГН-01 при осуществлении индивидуальной дозиметрии персонала, занятого обслуживанием регистрирующей аппаратуры на территории помещений, расположенных под электрон-позитронным коллайдером ВЭПП-2000. Сразу было очевидным, что в действующих нейтронных спектрах будут доминировать низкоэнергетические компоненты, поскольку нейтронное поле здесь формируется в основном многократно рассеиваемыми замедляющимися нейтронами, первоначально выходящими из ускорительных конструкций инжекционной части комплекса, отделённой от рассматриваемой территории барьерной защитой. Вклад же нейтронов, проникающих непосредственно через защиту, ожидался незначительным.

Определение поправочных коэффициентов для ДВГН-01 производили непосредственно на рабочих местах сравнением отклика дозиметров с показаниями «условно правильного» дозиметрического средства. В качестве последнего применялись пассивные мониторы с овальными замедлителями из полиэтилена диаметром 29 см. В центре замедлителя помещался слайд с LiF детекторами, извлечённый из корпуса ДВГН-01. Мониторы предварительно градуировались по Pu-Be источнику нейтронов. Непосредственно на рабочем месте монитор использовался одновременно как фантом: по его наружной поверхности равномерно размещались 5 дозиметров ДВГН-01.

Измерения, выполненные в поле рассеянного нейтронного излучения на упомянутой рабочей территории показали, что поправочные коэффициенты к отклику ДВГН-01 составляют 1/16 и 1/30 для индивидуального дозового эквивалента и для эффективной дозы при изотропном облучении, соответственно. Результаты же облучения дозиметров ДВГН-01, размещённых на поверхности мониторов, нейтронами Pu-Be источника показали вполне удовлетворительное согласие с калибровкой производителей.

## РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Поздняков Е.И.<sup>1</sup>, Пивнева С.П.<sup>1</sup>, Постолов В.С.<sup>1</sup>, Малышев Н.Е.<sup>1</sup>, Стенькин Ю.В.<sup>2</sup>,  
Щеголев О.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Закрытое акционерное общество, Научно-производственная фирма «Люминофор»,  
Россия, Ставрополь

<sup>2</sup>ФГБУН Институт ядерных исследований РАН, Россия, Москва

Детекторы ионизирующего излучения являются важными компонентами любых систем мониторинга, лимитирующими возможности временного и энергетического разрешения контрольных устройств.

При разработке люминофоров для сцинтилляционных детекторов, преобразующих энергию вторичных заряженных частиц в видимый свет, необходимо обеспечить:

- Высокий световыход кристаллофосфора. Под световыходом обычно понимается число фотонов, образовавшихся при взаимодействии гамма-кванта или частицы ионизирующего излучения с материалом сцинтиллятора и достигших фотоприемника, в расчете на единицу ионизационных потерь;
- Короткую постоянную спада сцинтилляционного импульса, обуславливающую высокое временное разрешение, при этом наличие нескольких временных компонент свечения позволяет производить селекцию сигналов по форме импульса;
- Высокое энергетическое разрешение или малую ширину фотопика;
- Хорошее согласование длины волны люминесценции с кривой чувствительности фотоприемника.

Люминофор ZnS:Ag – один из наиболее эффективных из ныне известных сцинтилляторов, имеющий эмиссионный спектр, идеально подходящий для высокочувствительных фотоумножителей. Несмотря на существование ряда ограничений, а именно то, что он не прозрачен для собственного излучения, и то, что большая часть энергии люминесценции излучается слишком медленно для использования в счетчиках импульсов, люминофор широко используется в системах детектирования тяжелых заряженных частиц, а также для счета быстрых и медленных нейтронов [1–3].

Сцинтиллятор ZnS:Ag/<sup>6</sup>Li представляет особый интерес и широко применяется в мировой практике благодаря огромному световыходу ( $1,6 \cdot 10^5$  фотонов/нейтрон), нечувствительности к гамма-излучению. Однако этот сцинтиллятор весьма дорог из-за необходимости обогащать природный литий изотопом <sup>6</sup>Li, а его непрозрачность делает проблематичным съём сигнала с толстых слоев.

Поэтому задача поиска более совершенных по техническим показателям дешевых поликристаллических сцинтилляционных композиций весьма актуальна.

В свое время в СССР выпускали светосоставы Н-1 и Н-2 на основе ZnS:Ag/<sup>10</sup>B. Сечение захвата нейтронов светосоставами на основе ZnS:Ag/<sup>10</sup>B почти втрое превышает таковое для ZnS:Ag/<sup>6</sup>Li и составляет около 3835-3850 барн [4], против 940 барн для литиевых светосоставов. Учитывая также то, что в природной смеси содержится около 19,6% изотопа <sup>10</sup>B, можно ожидать для борного светосостава на основе природной смеси изотопов высокой эффективности захвата тепловых нейтронов, не уступающей ZnS:Ag/<sup>6</sup>Li сцинтиллятору. Известны результаты современных японских исследователей [3], согласно которым эффективность регистрации тепловых нейтронов светосоставами, включающими <sup>10</sup>B, составляет 90-92 % от эффективности регистрации композициями, содержащими <sup>6</sup>Li.



По результатам проведенных исследований по совершенствованию композиций на основе природной смеси изотопов бора созданы рецептуры и технология получения новых сцинтилляционных материалов путем жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) тонкопленочных люминесцентных покрытий на мелкодисперсных носителях, обогащенных  $^{10}\text{B}$ . Учитывая тот факт, что длина пробега  $\alpha$ -частиц, генерируемых в ходе ядерной реакции в атомах бора, не более 5 мкм, созданная технология позволяет проводить контролируемый синтез частиц композиций, со средним размером около 5 мкм, что позволяет максимально эффективно собирать энергию заряженных частиц и переводить ее в свет сцинтилляций. Композиции, полученные по созданной технологии удается вводить в полимерный носитель с повышенной нагрузкой, что также позволяет увеличить эффективность регистрации нейтронов. Расположение люминесцентного слоя непосредственно на поверхности борсодержащих соединений минимизирует потери энергии излучения в части собственного поглощения.

Список литературы:

1. Koontz P. G. ZnS(Ag) phosphor mixtures for neutron scintillation counting / P. G. Koontz, G. R. Keepin, J. E. Ashley. // Review of Scientific Instruments. – 1955. – Vol. 26, No. 4. – P. 352-356.
2. Evaluation of the performance of a fibre-coded neutron detector with a ZnS/10B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic scintillator / T. Nakamura [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2009. – Vol. 600, No 1. – P.164–166.
3. Neutron scintillators with high detection efficiency / T. Kojima [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2004. –Vol. 529, No 1. – P.325–328.
4. Position-sensitive scintillation neutron detectors using a crossed-fiber optic readout array / D. P. Hutchinson. [et al.] // Penetrating Radiation Systems and Applications. – 1999. – Vol. 3769. – P. 88-91.
5. Справочник по редким металлам / под ред. В.Е. Плющева. – М.: Мир, 1965. – 931 с.

## **ГАММА-НЕЙТРОННЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КАЛИБРОВКИ И ПОВЕРКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ И РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ**

*Гузов В.Д., Раскоша В.Л., Храмов В.В., Сеньковский К.Г., Николаев В.А., Быстров Е.В., Кожемякин В.А.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

В течение ряда последних лет предприятие «АТОМТЕХ» разработало, изготовило и осуществило поставки автоматизированного метрологического оборудования для калибровки и поверки дозиметрических приборов:

- гамма-установка УДГ-АТ110 с максимальной активностью источника  $^{137}\text{Cs}$  до 87 Ки (до 2,7 Зв/ч);

- гамма-установка УДГ-АТ130 с максимальной активностью источника  $^{137}\text{Cs}$  до 2600 Ки (до 60 Зв/ч);

- нейтронная установка УПН-АТ140 с источниками нейтронов на основе Pu-Be и  $^{252}\text{Cf}$  (до 8,5 мЗв/ч).

Также разработан гамма-нейтронный автоматизированный комплекс, объединивший установки УДГ-АТ130 и УПН-АТ140 в единое образцовое средство I разряда.

Наличие такого комплекса позволяет осуществить модернизацию оснащения дозиметрических лабораторий в метрологических центрах, где используются установки КИС-НРД-МБм разработки 1969 года, значительно расширить рабочий диапазон мощности дозы и повысить точность градуировки, увеличить производительность работ, обеспечить повышенную безопасность и т.д.

Комплекс оснащен, удобным для пользователей, прикладным программным обеспечением.

Подобный гамма-нейтронный комплекс введен в эксплуатацию и на предприятии «АТОМТЕХ». Высокая надежность комплекса подтверждается общим временем наработки 11-ти установок УДГ-АТ110, 3-х установок УДГ-АТ130, одной установки УПН-АТ140, изготовленных с высокой степенью унификации и введенных в разные сроки в эксплуатацию в период с 2008 года по настоящее время.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАО И ОБОСНОВАНИЕ ИХ КЛАССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ISOCS

Ефремова А.А., Антипин А.В., Антушевский А.С., Андронников П.А.  
ФГУП «ПО «Маяк», Россия, Озерск

В соответствии с принятым в 2011 году Федеральным законом № 190 «Об обращении с радиоактивными отходами» основой системы безопасного обращения с РАО является знание их радиационных характеристик и вещественного состава. РАО должны быть охарактеризованы для определения их физических, химических и радиационных свойств, что дает возможность провести правильную классификацию РАО для выбора наиболее эффективного варианта их кондиционирования.

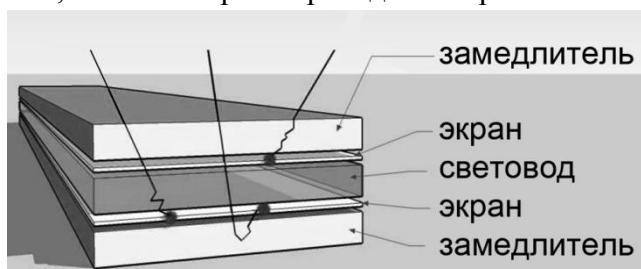
Для некоторых типов РАО до недавнего времени определение класса РАО проводилось на основании консервативных оценок радионуклидного состава и их удельной активности, и некоторые РАО, которые по факту относились к 3-4 классам, классифицировались как 2-ой, что приводило как к расчетному росту планируемых финансовых отчислений предприятия в специальный резервный фонд № 5 Госкорпорации «Росатом», так и могло привести к дальнейшему неэффективному кондиционированию и захоронению таких РАО. Одним из способов снижения степени консерватизма при классификации РАО является применение гамма-спектрометрических систем, которые позволяют получить информацию о количественном и качественном составе гамма-излучающих радионуклидов в РАО. Дальнейшее развитие этого метода может быть реализовано с применением методологии радионуклидного вектора для характеристики РАО не только по гамма-излучающим радионуклидам.

В данной работе представлены результаты практического применения гамма-спектрометрической системы ISOCS для классификации твердых РАО, упакованных в бочки, объемом до 200 см<sup>3</sup>, РАО в виде концевых деталей от переработки различных типов ОЯТ, контейнеров с облученными мишенями.

# ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ СВЕТОСОСТАВА $ZnS(Ag)/^6LiF$ НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

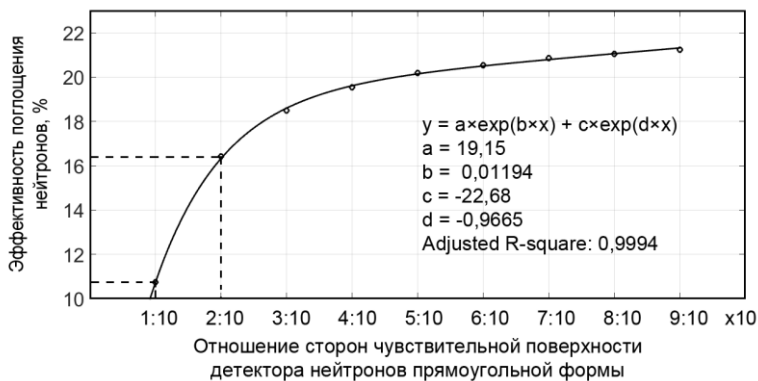
Гнездилов Ю.Ю., Кадилин В.В., Мухин В.И., Самосадный В.Т.  
НИЯУ МИФИ, Россия, Москва

Для создания нейтронного канала регистрации в порталных радиационных мониторах представляют практический интерес нейтронные детекторы на основе светосостава  $ZnS(Ag)/^6LiF$ . Светосостав диспергируют в оптически прозрачную среду, которую формируют в виде тонкой прямоугольной пластины — экрана [1]. С помощью пакета GEANT4 рассчитывалась эффективность поглощения нейтронов изотопа  $^{252}Cf$  детектором нейтронов, схема которого приведена на рис. 1.



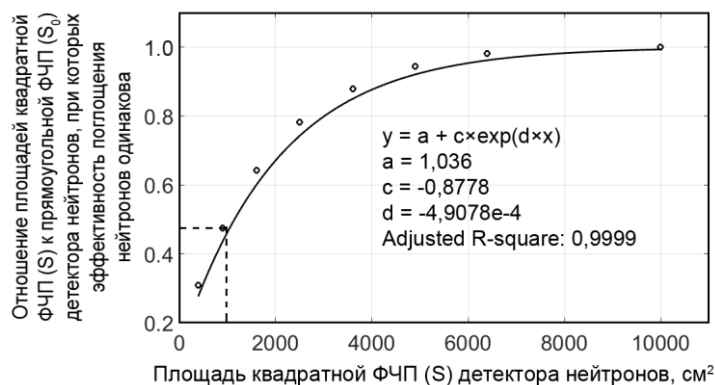
**Рис. 1.** Схема детектора нейтронов NNS:1000 с чувствительной поверхностью прямоугольной формы размером  $10 \times 100 \text{ см}^2$ , содержащего два слоя экранов: эффективность регистрации нейтронов  $\sim 3,8 \text{ имп./}(с \times \text{нг } ^{252}Cf)$  [2], расчетная эффективность поглощения нейтронов  $\sim 11\%$

Форма чувствительной поверхности (ФЧП) детектора нейтронов в виде вытянутого прямоугольника, традиционная для детекторов нейтронов на основе  $^3He$ -счетчиков, не является оптимальной из-за утечки нейтронов через его боковую поверхность. В тоже время, ФЧП детектора нейтронов на основе светосостава  $ZnS(Ag)/^6LiF$  может быть сделана практически любой. На рис. 2 представлена расчетная зависимость эффективности поглощения нейтронов с прямоугольной ФЧП, отношение сторон которой изменялось от 10 см: 100 см до 90 см : 100 см. Как следует из приведенных данных (пунктир), эффективность поглощения нейтронов детектором с площадью чувствительной поверхности  $20 \times 100 \text{ см}^2$  в  $1,5 = 16,4/10,9$  раза больше, чем эффективность двух разнесённых детекторов нейтронов с площадью чувствительной поверхности  $10 \times 100 \text{ см}^2$ .



**Рис. 2.** Зависимость эффективности поглощения нейтронов изотопа  $^{252}Cf$  при плоскопараллельном падении на чувствительную поверхность детектора нейтронов прямоугольной формы от отношения её сторон

Оптимальной ФЧП является поверхность, для которой минимизируется отношение её периметра к её площади, например, круг или квадрат. Указанный вывод подтверждают данные рис. 3.



**Рис. 3.** Зависимость отношения площадей чувствительных поверхностей детектора нейтронов квадратной и прямоугольной формы от отношения сторон чувствительной поверхности прямоугольной формы при равной эффективности поглощения нейтронов

Как следует из приведенных данных (пунктир), эффективность детектора с прямоугольной ФЧП, размером 10x100 см<sup>2</sup> не меняется при уменьшении площади в 2 раза при условии, его чувствительная поверхность имеет форму квадрата.

Литература

1. Thermal Neutron Detector EJ-426, <http://www.eljentechnology.com/>
2. Dallimore M., Giles C., Ramsden D., Dermody G.S. “The development of a scalable he-3 free neutron detection technology and its potential use in nuclear security and physical protection applications”. [http://www.inmm.org/source/proceedings/files/2011/a593\\_1.pdf](http://www.inmm.org/source/proceedings/files/2011/a593_1.pdf)

## ДОЗИМЕТРИЯ В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ РОСПОТРЕБНАДЗОРА

*Нурлыбаев К.<sup>1</sup>, Мартынюк Ю. Н.<sup>1</sup>, Логинова С. В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ООО НПШ «Доза», Россия, Москва

<sup>2</sup> РМАПО, Россия, Москва

В каждом нормативном документе Роспотребнадзора есть раздел «Радиационный контроль». В этом разделе спрятаны методики выполнения измерений и по этой причине они не проходят метрологическую аттестацию. В случаях дозиметрического контроля радионуклидных источников ошибки в методах выполнения измерения маловероятны. При контроле источников импульсного излучения нормативными документами Роспотребнадзора предписываются неправильные методы контроля.

Все нормативные документы Роспотребнадзора предписывают методы дозиметрического контроля основанные на измерениях мощности дозы фотонного излучения. Мощность дозы является производной величиной от дозы облучения и вычисляется делением измеренного значения дозы на время измерения электронной схемой дозиметра. Значение мощности дозы характеризует радиационную обстановку для непрерывных излучений.

К источникам импульсного излучения относятся аппараты рентгеновской дефектоскопии, рентгенодиагностические аппараты и ускорители электронов для терапии.

Операционной величиной в дозиметрии внешнего облучения импульсными излучениями является доза облучения. В связи с тем, что вышеприведенные источники излучения работают эпизодически, необходимы параметры работы источников, на которые можно нормировать измеренные значения дозы. Необходимо чтобы значение дозы было прямо пропорциональным значению данного параметра работы источников. Параметры работы вышеуказанных источников различны.

Например, параметром работы для медицинских рентгеновских аппаратов служит количество электричества. Отношение дозы на количество электричества является величиной характеризующей радиационные свойства аппарата. Данная величина в рентгенотехнике называется «радиационным выходом».

При смене авторов нормативных документов неизбежно меняются и приведенные в них методики выполнения измерений, например, в одном документе дозиметрический контроль основан на четырех измерениях мощностей поглощенных доз на разных высотах от пола, а в другом на одном измерении мощности амбиентного эквивалента дозы.

Правильная методика дозиметрического контроля одна, она должна быть приведена в документе высокого уровня между НРБ и нормативными документами. В данном документе должны быть приведены:

- определения величин в дозиметрии: нормируемые, физические и операционные;
- соотношения между дозиметрическими величинами для всех видов излучения (фотоны, нейтроны, бета-);
- методы и средства дозиметрического контроля рабочих мест и индивидуального дозиметрического контроля;
- особенности дозиметрического контроля импульсных излучений;
- метрологические и эксплуатационные требования к средствам дозиметрического контроля рабочих мест и индивидуального дозиметрического контроля на основе требований международных стандартов;

- требования по испытаниям, калибровке и контролю качества средств дозиметрического контроля;
- требования к неопределенностям результатов дозиметрического контроля.

Аналогами такого документа могут послужить Руководства по безопасности МАГАТЭ RS-G-1.2, RS-G-1.3.

**СРЕДСТВА КАЛИБРОВКИ СПЕКТРОМЕТРОВ АНТРОПОМОРФНЫЕ  
РАДИОДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ФАНТОМЫ ТЕЛА И ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА,  
ПРОИЗВОДИМЫЕ ООО «НТЦ «РАДЭК»**

***Брюхов Р. Е., Куруч Д.Д., Дмитриева Е.С.***  
**ООО «НТЦ «РАДЭК», Россия, Санкт-Петербург**

Чрезвычайные ситуации на объектах и территориях зачастую сопровождаются последствиями, требующими оказания медицинской помощи населению. При этом, особенности чрезвычайных ситуаций радиационного характера и возможные значительные масштабы их медицинских последствий диктуют необходимость поддерживать в готовности к их предупреждению и ликвидации специализированные системы.

Важной задачей является контроль внутреннего облучения персонала предприятий и населения, проживающего в зонах расположения объектов использования атомной энергии, в том числе предприятий ядерно-топливного и энергетического цикла.

Комплексы спектрометрии излучения человека, как техническое средство контроля внутреннего облучения, решают задачу прижизненного определения инкорпорированной активности техногенных и естественных радионуклидов в органах и теле обследуемого.

Особое место в ряду объемных мер активности специального назначения занимают фантомы тела человека и отдельных органов, предназначенные для калибровки спектрометров излучения человека, а также для дозиметрических исследований.

На сегодняшний день существует несколько центров разрабатывающих фантомы человека.

Наиболее известны следующие модели: Ливерморский фантом (The Lawrence Livermore Realistic Phantom), а также фантом японского исследовательского института атомной энергии (JAERI).

ООО «НТЦ «РАДЭК» является ведущим в России разработчиком и изготовителем фантомов тела человека.

Разработка фантомов в ООО «НТЦ «РАДЭК» проводится с конца 80-х годов прошлого века. Выпущены такие фантомы как унифицированный фантом тела человека УФ-02Т, фантомы торса человека ФТ-03, -04, антропоморфные радиодозиметрические фантомы тела человека АРДФ-10, АРДФ-11, АРДФ-11-С, фантом шеи серии ФШ, фантом головы со съемными глазами.

Фантомы выпускаемые ООО «НТЦ «РАДЭК» являются набором гигиенически безопасных твердотельных анатомических моделей органов, тканей и костей, изготовленных из тканеэквивалентных пластмасс - имитаторов мягкой (мышечной), легочной и костной биологических тканей, адекватных, в плане взаимодействия с ионизирующим излучением, тканям человеческого тела. Плотность и коэффициент ослабления излучения каждого тканеэквивалентного материала соответствует биологической ткани. Активность вносится в материал на стадии его изготовления и распределяется в материале равномерно по всему объему модели.

В настоящее время проводятся разработки:

- фантома тела беременной женщины;
- накладок на фантом торса имитирующих различное телосложение.



## ОСОБЕННОСТИ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Ивлиев М.В.

ФГУП «РАДОН», Россия, Москва

Существующая законодательная база позволяет обеспечить радиационную безопасность и защиту окружающей среды на федеральном уровне: № 170-ФЗ от 21.10.1995 «Об использовании атомной энергии», № 3-ФЗ от 9.01.1996 «О радиационной безопасности населения и т.д.

Радиационный контроль, как правило, подразумевает сравнение измеряемого параметра с неким критерием безопасности – допустимой объемной (удельной) активностью, пределом годового поступления и т.д. с целью оценки непревышения заданного значения параметра.

Мониторинг радиационной обстановки осуществляется в целях своевременного выявления изменений радиационной обстановки, оценки, прогнозирования и предупреждения возможных негативных последствий радиационного воздействия для населения и окружающей среды, и информирования органов государственной власти. Кроме того, могут быть и другие задачи – оценка переноса веществ в атмосфере и воде и т.д.

Основными объектами контроля и мониторинга по показателям радиационной безопасности населения и состояния объектов окружающей среды являются атмосферный воздух, почва, вода, продовольственное сырье и пищевые продукты.

Таким образом, условно виды радиационного контроля и мониторинга можно разделить так:

- радиационный контроль и мониторинг по критериям НРБ-99/2009 и другим контрольным уровням и нормативам;
- радиационный контроль и мониторинг по критериям «глобальных выпадений» и «фоновым значениям».

Каждый из видов определяет применение соответствующего аналитического (как приборного, так и методического) обеспечения.

В качестве примера, рассмотрены допустимые объемные активности и уровни вмешательства для населения по НРБ-99/2009 и реальные концентрации. Очевидно, что содержание радионуклидов в окружающей среде существенно меньше допустимых значений для населения.

Выполнение исследований по критериям НРБ-99/2009 не вызывает проблем.

Однако, например, в соответствии с МУ 2.6.1.1868-04 «средства измерений и методики контроля показателей радиационной безопасности населения и характеристик окружающей среды должны обеспечивать достоверное определение содержания радионуклидов в объектах окружающей среды на уровне их фоновых значений».

Здесь основные проблемы выполнения исследований заключаются в следующем.

1. Понятие «на уровне их фоновых значений» («на уровне глобальных выпадений») носит характер некой неопределенности. В разных местах для различных радионуклидов указанные величины могут различаться на порядок. Кроме того, для многих заявляемых радионуклидов их содержание в объектах окружающей среды «чистых» территорий близко к нулю. Требования некоторых заказчиков практически невыполнимы, да и нецелесообразны.

2. Чувствительность современной измерительной аппаратуры во многих случаях не позволяет проводить «прямые» измерения. В этом случае требуются сложные и

дорогостоящие аттестованные методы пробоподготовки (физические, радиохимические и т.д.) с целью концентрации радионуклидов в измеряемом образце.

3. Требуется уникальное дорогостоящее аналитическое обеспечение (приборное и методическое) и, соответственно, специалисты.

Во многих случаях поставленные задачи по выбору параметров контроля, характеризующих радиационную безопасность населения и радиоактивное загрязнение объектов окружающей среды на наблюдаемых территориях, являются, на мой взгляд, необоснованными.

Необходимо в каждом конкретном случае обосновывать цели и задачи (обеспечение безопасности населения, исследовательские работы и т.д.) мониторинга радиационной обстановки на уровне разработки «Технологического регламента выполнения работ» с указанием требуемых объемов исследований, параметров контроля и минимально детектируемой (определяемой) величины исследуемого параметра (нижний порог обнаружения).

Так, например, проведение мониторинга территорий с целью определение плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  для соответствия перечню, утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 18.12.1997 № 1582 «Об утверждении перечня населённых пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» реально выполняется по критерию плотности загрязнения, не превышающей  $37 \text{ КБк/м}^2$  ( $1 \text{ Ки/км}^2$ ), а не по «фоновым значениям». Аналогичных примеров много.

## ЭТАЛОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ (ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ)

Рогозов А.Б.<sup>1</sup>, Тычинкин Ю.А.<sup>1</sup>, Миронов М.В.<sup>1</sup>, Лобанов Ю.В.<sup>1</sup>, Коптев А.В.<sup>1</sup>,  
Харитонов И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «РИТВЕРЦ», Россия, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.  
Д.И.Менделеева», Россия, Санкт-Петербург

Эталонные источники фотонного излучения имеют давнюю историю и многообразие выпускаемых типов. В России рынок этих источников поддерживается сразу несколькими предприятиями, которые в целом удовлетворяют потребности Пользователей источников.

В то же время, в отечественной номенклатуре отсутствует несколько позиций, которые выпускаются западными производителями, и которые, несомненно, расширяют возможности этого класса источников. Речь идет о варианте эталонных источников гамма-излучения, имеющих более прочную конструкцию в сравнении с источниками типа ОСГИ, что может быть важно при использовании этих источников в передвижных лабораториях, геологических партиях и т. д.

Другой тип эталонных источников, который не нашел должного места в отечественной номенклатуре, это – многореперные источники.

В настоящем докладе приводятся результаты разработки и постановки на производство двух типов эталонных источников гамма-квантов:

- Эталонный источник типа ОСГИ-П, который представляет собой пластмассовый диск с толщиной 3 мм, габаритным диаметром 25 мм и диаметром активной части 2 мм. Приводятся характеристики и номенклатура источников.

- Многореперный эталонный источник гамма-квантов типа ОСГИ-Р с радионуклидами Со-60, Y-88, Eu-152 и Am-241, который может быть использован для градуировки энергетической шкалы от 14 до 1800 кэВ и эффективности регистрации фотонного излучения полупроводниковых спектрометров в диапазоне от 26 до 1836 кэВ.

# ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ В СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ АЭС, ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА

*Казимиров А.С.*

**ООО Научно-производственное предприятие «АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР»,  
Украина, Киев**

На примерах из опыта эксплуатации спектрометрических систем собственной разработки оценивается достаточность контроля барьеров безопасности АЭС и делаются выводы о возможных путях улучшения состояния дел в области аппаратного обеспечения радиационного контроля. Представлены основные характеристики гамма, бета – спектрометров, спектрометров излучения человека, спектрометрических комплексов для АЭС.

Для изготовления большинства приборов преимущественно используются сцинтилляционные детекторы  $\beta$  – и  $\gamma$  – излучения, среди которых:

- Лабораторные спектрометры энергии  $\beta$  – и  $\gamma$  – излучения.
- Спектрометры излучения человека серии «СИЧ-АКП».
- Передвижные  $\gamma$  –спектрометрические установки для:
  - определения активности и радионуклидного состава твердых радиоактивных отходов (ТРО) первой и второй групп без проведения пробоотбора;
  - поиска радиоактивных источников и определения радиоактивного загрязнения территорий в зонах аварий (полевая спектрометрия);
  - определения состава радионуклидов в сухих и заполненных водой скважинах.
- Устройство детектирования типа УДЖГ для измерения объемной активности  $\gamma$  – излучающих нуклидов в жидкости технологических контуров АЭС.
- Программно-технический комплекс определения протечек в парогенераторах по активности  $^{16}\text{N}$  в остром паре «Азот-16-ПГ».
- Спектрометрический комплекс контроля активности теплоносителя первого контура СТПК-01 на основе полупроводникового детектора.

Рассмотрены возможности и перспективы использования приборов сцинтилляционной спектрометрии для решения широкого круга вопросов радиационного контроля техногенных и естественных радионуклидов в окружающей среде. Также описаны разработки для систем радиационного контроля (СРК) АЭС.

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА РАДИОАКТИВНОГО ОТЛОЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ

*Грубич А.О.*

**ЗАО «ТИМЕТ», Республика Беларусь, Минск**

Доклад посвящен краткому обзору истории воззрений на статистические и структурные свойства радиоактивных отложений. Приведены итоги исследований, выполненных в последние годы, в частности, рассмотрены следующие результаты:

- Распределение плотности активности,  $x$  (Бк/м<sup>2</sup>), является логнормальным [1-3], поэтому пространственная структура отложения представляет собой случайное мультифрактальное поле величины  $x$ , распределение которой логнормально [1].
- Распределение концентрации активности (Бк/кг) зависит от распределения плотности почвы (кг/м<sup>3</sup>) на участке [3].
- Плотность вероятности распределения величины  $x$  можно представить сложным распределением вероятностей (compound probability distribution)

$$\frac{dF(x)}{dx} = \int \frac{d\Lambda(x|\mu^*, \sigma^{*2})}{dx} p(\mu^*, \sigma^*) d\mu^* d\sigma^*,$$

где  $F(x)$  – распределение плотности активности;  $\Lambda(x|\mu^*, \sigma^{*2})$  – логнормальное распределение;  $p(\mu^*, \sigma^*)$  – функция плотности вероятности распределения гиперпараметров  $\mu^*$  и  $\sigma^*$  для данного участка.

Свойства радиоактивных отложений, определяющие вид функции  $p(\mu^*, \sigma^*)$ , были рассмотрены в [4] на ряде дискретных примеров. Функция  $p(\mu^*, \sigma^*)$  имеет специальный вид, такой что распределение  $F(x)$  наилучшим образом описывается логнормальным распределением. Приведенное сложное распределение вероятностей объясняет, каким образом, в случае разбиения участка на множество суб-участков, семейством логнормальных распределений может описываться как распределение величины  $x$  для каждого суб-участка в отдельности, так и для всего участка в целом.

В [4] построена простая модель для распределений плотности активности сухих и влажных выпадений, которая показывает, каким образом распределение плотности активности на территории с обоими типами выпадений оказывается логнормальным. Указанная модель сухих и влажных выпадений может быть существенно улучшена с учетом фактических характеристик обоих типов выпадений.

Мультифрактальная природа отложения обусловлена турбулентностью воздушных потоков, переносящих радионуклиды [5], поэтому минимальный размер пятнистости тонкой пленки свежего радиоактивного отложения должен определяться колмогоровским масштабом длины (значение которого, в зависимости от скорости ветра, порядка сантиметра и менее). На расстояниях больших колмогоровского масштаба пространственная структура радиоактивной пленки мультифрактальна, а значения плотности активности чрезвычайно переменны. Логнормальность распределения плотности активности, по-видимому, также объясняется осаждением пыли и аэрозолей в турбулентном воздушном потоке («с перемежаемостью турбулентности, обладающей персистентностью» [5]).

Адекватная природе радиоактивного отложения модель, учитывающая его основные свойства, не используется на практике. Применение такой модели приведет к существенному улучшению методов радиационного контроля и мониторинга почв.

## Литература

- [1] Grubich, A.O., 2012. Multifractal structure of the  $^{137}\text{Cs}$  fallout at small spatial scales. J. Environ. Radioact. 107, 51–55.
- [2] Grubich, A., Makarevich, V.I., Zukova O.M., 2013. Description of spatial patterns of radionuclide deposition by lognormal distribution and hot spots. J. Environ. Radioact. 126, 264–272.
- [3] Grubich, A., 2015. On the lognormality of radionuclide deposition. J. Environ. Radioact. 143, 47–51.
- [4] Grubich, A., 2014. Statistical and structural properties of radionuclide deposition. European Researcher, 73, No. 4-2, 720-735.
- [5] Барьяхтар В.Г., Гончар В.Ю., Яновский В.В., 1993. Природа сложной структуры пятна загрязнений радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. Укр. фіз. журн. 38 (7), стр. 967-975

## **БЫСТРО РАЗВОРАЧИВАЕМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ФГУП АТЦ СПб. (БРАСМРО АТЦ)**

**Силантьев К.А.**

**ФГУП АТЦ СПб, Россия, Санкт-Петербург**

Как правило, пост системы мониторинга радиационной обстановки (пост АСМРО) осуществляет измерение мощности дозы ионизирующего излучения и состоит из детектора ионизирующего излучения, блока обработки и устройства передачи информации. В качестве устройства передачи информации используются GSM/GPRS-модемы. Имеются модемы, которые могут выполнять программы пользователя. Это позволяет обрабатывать информацию внутренним микропроцессором модема, т.е. функции блока обработки может выполнять сам модем. Таким образом, можно создать пост АСМРО, который состоит только из детектора ионизирующего излучения, модема и блока питания. Реализация функций поста АСМРО осуществляется программой пользователя, записанной в память модема. Использование навигационного GSM-приёмника позволяет автоматически определять место положения поста, которое может изменяться. Это позволяет оперативно создавать и изменять конфигурацию сети постов быстро разворачиваемой системы мониторинга радиационной обстановки (БРАСМРО), тем самым проводить измерения на заданной территории или в районе места аварии ограниченным набором постов.

В АТЦ создан макет поста БРАСМРО. В нём используется модем TC65 Lite, датчик мощности дозы или спектрометрический датчик гамма-излучения производства фирмы «Атомтех», GSM-приёмник, аккумулятор 12. К посту может быть подключена солнечная батарея.

Модем через установленный период времени осуществляет запрос текущих значений мощности дозы детектора и координат GPS. Полученные значения сохраняются в памяти модема и в заданное время передаются с использованием GPRS соединения на внешний сервер. При превышении мощностью дозы одного из двух контрольных уровней автоматически отсылается «сигнальное» SMS-сообщение. Управление постом производится дистанционно с помощью CSD-соединения или SMS-сообщений. Начальные установки находятся в конфигурационном файле в памяти модема.

## **КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*Казимиров А.С., Казимирова Г.Ф., Иевлев С.М., Мартынюк Л.Б., Черный Е.В.*  
**ООО «Научно-производственное предприятие «АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР»,  
Украина, Киев**

В докладе представлены основные характеристики спектрометрических комплексов и приборов для АЭС. Рассмотрены возможности выпускаемых серийно приборов для контроля техногенных и естественных радионуклидов, включая последние разработки для систем радиационного контроля (СРК) АЭС:

- спектрометрический комплекс непрерывного контроля активности реперных радионуклидов теплоносителя основного (первого) контура ядерного реактора ВВЭР-1000 СТПК-01;

- программно-технический комплекс (ПТК) определения протечки в парогенераторах по активности  $^{16}\text{N}$  в остром паре „Азот-16-ПГ”.

Показаны возможности применения приборов марки «АКП», приведены методики измерений и пробоподготовки для различных систем радиационного контроля и мониторинга объектов ядерной энергетики. Обсуждаются опыт эксплуатации и актуальные направления дальнейшего внедрения спектрометрических методов в радиационном контроле АЭС, включая СТПК-01 и ПТК «Азот-16-ПГ». Новые разработки позволяют решать ряд проблем в области радиационной безопасности, задач охраны окружающей среды и здоровья человека.

Рассматривается опыт предприятия в вопросах обучения операторов, работающих с оборудованием, и научно-методического сопровождения, исходя из поставок оборудования, его эксплуатации и ремонта.



## **ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО СПЕКТРОМЕТРИИ И РАДИОМЕТРИИ В СПб ФИЛИАЛЕ НОУ ДПО «ЦИПК РОСАТОМА»**

***Бомбин Р.Н., Намха С.В.***

**Санкт-Петербургский филиал Негосударственного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Центральный институт повышения квалификации Госкорпорации «Росатом», Россия, Санкт-Петербург**

Особенности атомной отрасли, связанной с принадлежностью к сфере высоких технологий, требуют определенного подхода к организации непрерывного образования специалистов, которые должны обладать большим количеством практических навыков и быть способными грамотно работать в такой сложной и потенциально опасной отрасли как атомная энергетика и промышленность. Возрастание роли интеллектуального капитала в современной корпорации делает необходимым превращение ее в «постоянно обучаемую организацию».

Накопленный Санкт-Петербургским филиалом НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» более чем 45-летний опыт работы в интересах отрасли показывает возрастающую потребность в услугах института. Растет качество обучения, совершенствуются учебные программы, внедряются новые технологии и средства обучения, улучшаются социально-бытовые условия. Сегодня особая роль ЦИПК в отраслевой системе подготовки персонала закреплена теперь и в его имени, включающем название Госкорпорации «Росатом».

Повышение квалификации в НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» выстроено в соответствии с процессной моделью отрасли и осуществляется по направлениям:

- Обеспечение безопасного использования атомной энергии, включая все элементы безопасности, начиная с ядерной и радиационной безопасности, специфичной не только для атомной отрасли, а также промышленной, экологической безопасности и охраны труда и ряд других.

- Обеспечение специальной безопасности, включая охрану государственной тайны, физическую защиту ядерных объектов, противодействие техническим разведкам, в том числе, защиту сетей, активов, а также обеспечение безопасности перевозки специальных грузов.

- Обеспечение компетенции персонала по операционным процессам, то есть по процессам, которые связаны с технологиями атомной отрасли, начиная с добычи урана и заканчивая генерацией электроэнергии, а также работа с радиоактивными отходами, с отработавшим ядерным топливом. В эту же категорию входят атомный флот и строительство АЭС.

Одним из перспективных направлений деятельности нашего филиала является подготовка специалистов в области спектрометрии. Для создания материально-технической базы такого обучения организована и оснащена вычислительной техникой, программным обеспечением, приборами радиационного контроля учебная лаборатория. Для проведения практических занятий по анализу сложных спектров, конфигурированию и настройке прикладного программного обеспечения ООО «ЛСРМ» семейства SpectraLine мы используем виртуальную спектрометрическую лабораторию GammaLab, программные пакеты LSRM EffMaker, NuclideMaster и другие.

Подготовка специалистов в области спектрометрии осуществляется с привлечением в качестве преподавателей опытных специалистов-практиков из ФГУП «АТЦ Минатома России», ФГУП «НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», ЗАО «Приборы», разработчиков

программного обеспечения из ООО «ЛСРМ», компаний - изготовителей и дистрибьюторов спектрометрической аппаратуры («Канберра Индастриз», ЗАО «Приборы» и др.).

Востребованными оказались программы повышения квалификации «Приборно-методическое обеспечение радиационного контроля воды», «Прикладная радиохимия и радиометрия на предприятиях атомной отрасли», «Водо-химический режим ядерных энергетических установок».

Учебно-методический центр «Ядерная и радиационная безопасность», входящий в отделение Центра компетенций по безопасности нашего филиала, также осуществляет подготовку по более чем 40 программам по направлениям:

- Ядерная и радиационная безопасность – по 19 программам (включая обращение с радиационными источниками, радиоактивными веществами, РАО и опасными отходами);
- Современные методы измерений (Радиационный и дозиметрический контроль, радиационный мониторинг объектов окружающей среды) – 8 программ;
- Аварийное реагирование -7 программ подготовки специалистов-спасателей.
- Гражданская оборона, защита персонала и населения - 7 программ повышения квалификации, охватывающие все категории от руководящего состава нештатных аварийно-спасательных формирований и спасательных служб, нештатных формирований до руководителей организаций.

Кроме того, Центр компетенций по безопасности проводит подготовку руководителей предприятий, специалистов подразделений по охране труда и промышленной безопасности.

К сожалению, мы вынуждены констатировать отсутствие собственной полноценной лабораторной базы для проведения практического обучения в области радиометрических измерений, радиохимической и химико-аналитической подготовки. В настоящее время такие занятия проводятся на базе лабораторий научно-исследовательских отраслевых организаций, расположенных в Санкт-Петербурге.

Для повышения эффективности обучения и усиления его практической направленности мы приглашаем руководителей и специалистов образовательных и научных организаций, производственных предприятий к более тесному сотрудничеству. Привлечение преподавателей к участию в учебном процессе осуществляется на договорной основе с почасовой оплатой.

Мы готовы принять предложения по расширению направлений образовательного процесса, постановке новых востребованных учебных программ.

Мы также организуем подготовку и проведение целевых курсов, выездных занятий по заявкам предприятий. Подробную информацию о процессе обучения можно найти на официальном сайте филиала: [www.rosatom-cipk.spb.ru](http://www.rosatom-cipk.spb.ru).

Приглашаем слушателей от Ваших организаций для повышения квалификации.

# **БОРТОВАЯ АППАРАТУРА АЭРОГАММА-СЪЕМКИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕСТНОСТИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ВЕРТОЛЕТНОГО КОМПЛЕКСА INDELA SKY/AT**

*Кожемякин В.А.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Создан экспериментальный образец бортовой аппаратуры, позволяющей решать следующие задачи:

- обнаруживать точечные и площадные источники гамма-излучения;
- осуществлять контроль радиационной обстановки в зоне промышленных предприятий по переработке и хранению радиоактивных отходов;
- определять радиационную обстановку, сложившуюся в результате техногенных аварий на радиационно опасных объектах;
- обеспечивать оценку радиационной обстановки, сложившуюся после радиоактивных выпадений при ядерных инцидентах.

Благодаря реализованным измерительным функциям аппаратура способна:

- осуществлять дистанционное измерение аппаратурных спектров на высоте полета;
- проводить идентификацию наиболее характерных радионуклидов;
- измерять мощность дозы гамма-излучения на высоте полета;
- определять значение мощности дозы гамма излучения на уровне 1 метра от загрязненной поверхности (маршрут, участки местности, кровля зданий и пр.);
- определять поверхностную плотность загрязнения площадных участков в Бк/м<sup>2</sup> и Ки/км<sup>2</sup> при известной глубине залегания радионуклидов.

Состав и принцип действия:

Аппаратура состоит из двух блоков детектирования гамма-излучения БДКГ-211М (спектрометр-дозиметр высокой чувствительности) и БДКГ-24 (широкодиапазонный дозиметр), а также блока сопряжения БС, обеспечивающего связь измерительных каналов с бортовым вычислителем. Блоки БДКГ-211М, БДКГ-24 и БС устанавливаются на общем основании и закрываются обтекателем.

Результаты измерений мощности дозы, полученные на высоте полета, приводятся к уровню 1 метра от поверхности радиоактивно загрязненной местности или площадки с использованием данных о высоте полета, высотных коэффициентов пересчета, их зависимости от температуры и давления воздушной среды. Обработанная информация в бортовом вычислителе (данные в точке измерения на высоте полета и данные приведенные к 1 м) передаются на наземную станцию управления комплекса INDELA, а также сохраняются в бортовом запоминающем устройстве с привязкой к координатам местонахождения вертолета.

В наземной станции управления при необходимости дополнительно реализуются режимы ввода оператором поправок в результаты измерений в зависимости от таких специфических факторов, как глубина залегания радионуклидов в почве, вид растительного покрова, локальность участка загрязнения с целью повышения достоверности результатов аэрогамма-съемки.

Разработанные и реализованные технические решения апробированы в ходе натурных летных испытаний экспериментального образца, установленного на борту вертолета МИ-2. Основным результатом испытаний явилось хорошее согласие между данными наземной

дозиметрической съемки и данными высотных измерений в диапазоне высот от 50 до 200 м, приведенными к уровню 1 м от поверхности земли.

Беспилотный вертолетный комплекс INDELA SKY/AT с аппаратурой аэрогамма-съемки был успешно продемонстрирован на МАКС-2015.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИС-ЛСРМ

*Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Федоровский С.Ю., Пономаренко Р.А.*  
ООО «ЛСРМ», Россия, Зеленоград

Геоинформационная система «ГИС-ЛСРМ» предназначена для экологического мониторинга радиационной обстановки в регионе и получения детальной информации для принятия решений в чрезвычайных ситуациях радиоактивного загрязнения. Система обеспечивает сбор, хранение и анализ информации о радиоактивном загрязнении с привязкой к точным географическим координатам, картографическое отображение данных измерений и результатов их обработки на экране монитора в реальном времени.

В систему входит программный комплекс SpectraLine, обеспечивающий гамма-спектрометрический анализ данных радиационного обследования, включающий идентификацию радионуклидов, расчет активности и мощности дозы

Радиационное обследование производится с использованием, как дозового датчика, так и спектрометра гамма-излучения. Имеется возможность подключения практически любого спектрометра, а также дополнительных измерительных устройств - газоанализаторов, дозиметров-радиометров, индивидуальных дозиметров. Результаты измерений записываются в базу данных. По полученным данным производится расчёт и вывод на экран поля радиоактивного заражения в виде цветовой карты с выбранными уровнями градации по мощности дозы гамма-излучения. При обнаружении источников гамма-излучения на карте также отображаются значения их активностей.

В целях тестирования и верификации работы комплекса, он дополнен компонентами, позволяющими моделировать загрязнение территории и имитировать процесс обследования. Это также позволяет организовать процесс обучения персонала эффективному использованию системы.

На базе ГИС-ЛСРМ разработано приложение «ГисЭкстремум», для сопровождения автомобильного комплекса радиационной и химической разведки.

Еще одно приложение, разработанное на базе ГИС-ЛСРМ - «BackPack», предназначенное для паспортизации территории с помощью переносных гамма-спектрометров с целью обнаружения возможных источников радиоактивного загрязнения. Результатом паспортизации является заключение об отсутствии на обследуемой территории источников выше заданного уровня, либо координаты и активности обнаруженных источников. Перед началом обследования оператору предлагается маршрут движения, который обеспечивает обнаружение источников при их наличии на обследуемой территории. В процессе обследования оператору поступают команды, позволяющие надежно локализовать обнаруженный источник.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕДЕЛА МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ С ПОМОЩЬЮ РФА МЕТОДА

*Соколов А.Д., Хасыкова Е.И., Титов В.Л.*  
**Baltic Scientific Instruments, Рига, Латвия**

На примере нескольких видов продуктов передела медно-никелевой руды было проведено лабораторное тестирование применимости конвейерного рентгенофлуоресцентного анализатора CON-X02 для анализа содержания Ni, Co, Cu, Fe и S на разных стадиях производства в режиме реального времени. Изучены образцы медно-никелевой руды, медного концентрата, никелевых штейнов и фэйнштейнов. Проведена калибровка анализатора для определения никеля, меди, кобальта, железа и серы и определены максимальные погрешности определения названных элементов, а также пределы обнаружения.



**Рис. 1.** Фото установки анализатора CON-X02 (Предприятие OMG, г. Коккола, Финляндия)

Погрешности определения Ni и Cu в огарке полувосстановленном, полученные в лабораторных испытаниях, составляют 0.1 и 0.2 % масс соответственно. Показана возможность определение содержания серы на конвейере при использовании анализатора с близкой геометрией измерений и уменьшении мощности первичного рентгеновского излучения. Абсолютная погрешность определения для серы составляет 0.3 % масс. Динамические лабораторные испытания показали статистически приемлемую корреляцию с данными

химического анализа. Проведенные исследования явились основой для внедрения рентгенофлуоресцентного анализатора CON-X02 на заводе OMC Kokkola (Финляндия) для контроля малых концентраций Со во флотационном железосодержащем кеке.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЧЕРЕНКОВСКОГО ДЕТЕКТОРА ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ К ПРОТОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

*Фоков Г.А., Кожемякин В.А., Гузов В.Д.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Целью настоящей работы является математическое моделирование функций отклика Черенковского детектора высокоэнергетического протонного излучения с целью обеспечения возможностей калибровки соответствующих измерительных каналов гелиофизического аппаратного комплекса для российского космического аппарата «Электро-Л» в лабораторных условиях.

Решение задачи математического моделирования включало два этапа:

1. Расчет чувствительности Черенковского детектора на основе полиметилметалрилата к протонному излучению в диапазоне энергий от 350 до 1200 МэВ, т.е. данных, необходимых для обеспечения его регистрации в космическом (рабочем) пространстве;

2. Расчет чувствительности данного детектора к электронам в диапазоне энергий от 0,4 до 2,5 МэВ и от 2,5 до 15 МэВ, результаты которых могут быть сопоставлены с физическим моделированием на установках, генерирующих электроны.

В результате выполненных исследований:

- построена математическая модель взаимодействия высокоэнергетических протонов галактического происхождения, а также электронов, вызывающих эквивалентный протонам эффект в лабораторных условиях в применяемом блоке детектирования;

- разработано программное обеспечение;

- рассчитаны эффекты генерации Черенковского излучения при взаимодействии протонов и электронов с материалом радиатора;

- определены пороговые значения количества Черенковских фотонов, генерированных протонами и электронами в материале радиатора;

- определена угловая зависимость чувствительности Черенковского детектора при регистрации протонов.



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ

*Коростин С.В.,<sup>1</sup> Божко Н.С.,<sup>1</sup> Сэмнан С.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО «НТЦ Амплитуда», Россия, Зеленоград

<sup>2</sup>ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии  
им. Д.И.Менделеева», Россия, Санкт-Петербург

Измерения активности радионуклидов, применяемых для диагностики и терапии относятся к области здравоохранения, то в соответствии с требованиями Федерального закона 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» и Приказа Минздрава РФ №81н подлежат государственному регулированию в области обеспечения единства измерений (ГРОЕИ). Это означает, что измерения должны проводиться поверенными средствами измерений утвержденного типа по аттестованным методикам и с обеспечением прослеживаемости, т.е. установлением и документальным подтверждением их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины посредством сличений, поверок или калибровок.

В докладе показано, что при использовании радиометров активности (дозкалибраторов) необходимо обеспечивать прямую передачу единицы измерения (Бк) с Государственного первичного эталона рабочим средствам измерений по каждому радионуклиду из применяемых в клиниках РФП как при градуировке, так и при поверке. До недавнего времени возможно было обеспечивать прослеживаемость косвенным методом через измерения активности аликвоты РФП методом компарирования с источником ОСГИ, поверенным в соответствии с Государственной поверочной схемой в качестве рабочего эталона 1 разряда. Более предпочтительным способом обеспечения прослеживаемости является прямое сличение радиометра с эталонным по всем медицинским радионуклидам, используемым в клинической практике. В настоящее время такой способ внедряется по радионуклидам F-18 и Tc-99m в соответствии с результатами ключевых сличений ВРМ.РИ(II)-К4.Tc-99m и ВРМ.РИ(II)-К4.F-18. В рамках этих работ во ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева» проведена калибровка по этим радионуклидам дозкалибратора РИС-А1Э в качестве рабочего эталона 1 разряда методом сличения; этот же метод (сличения) применяется для поверки рабочих дозкалибраторов на местах эксплуатации.

Одной из особенностей дозкалибраторов, является большой диапазон измеряемых активностей: от сотен кБк до сотен ГБк. В связи с этим, при испытаниях радиометров РИС-А была разработана методика определения предела допускаемой погрешности радиометров-дозкалибраторов при активностях до 10 Ки (370 ГБк). Методика основана на определении зависимости показаний измеряемой активности радиометра от объема радионуклида с использованием поверенных дозаторов и весов. Внизу диапазона активности было проведено сличение рабочего дозкалибратора с эталонным дозкалибратором. Экспериментальные исследования проводились с радионуклидами Tc-99m, I-123, F-18 и I-131 (до 18 ГБк) (до 370 ГБк). Энергетический диапазон проверялся с применением источников I-125 (минимальная энергия гамма-излучения – 27,2 кэВ) и Th-228 (максимальная энергия гамма-излучения – 2614 кэВ).

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время проводится модернизация метрологического обеспечения измерений активности радионуклидов в РФП в соответствии с современными требованиями.

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В РАДИОФАРМПРЕПАРАТАХ

*Сэлман С.В., Алексеев И.В., Заневский А.В., Терещенко Е.Е., Харитонов И.А.*  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева», Россия, Санкт-Петербург

Для метрологического обеспечения измерений активности радионуклидов в РФП необходимо выполнение следующих условий: воспроизведение единицы активности радионуклидов, применяемых в РФП, Государственным первичным эталоном и создание вторичных и рабочих эталонов для осуществления поверки доз калибраторов в радиологических лабораториях, а также наличие методов исследования метрологических характеристик радиометров (дозкалибраторов) при испытаниях в целях утверждения типа.

В настоящее время в позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) в основном используются ультра короткоживущие радионуклиды, такие как  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  и  $^{18}\text{F}$ . Из-за малого периода полураспада данных нуклидов использование ПЭТ требует наличия ускорителя или при ПЭТ-сканере (ПЭТ-центр), или на небольшом расстоянии от него.

С помощью короткоживущих радионуклидов проводится мониторинг лечебного процесса до лечения и после. Например, ПЭТ-обследование показано перед операцией и после операции шунтирования на сердце и в других случаях. При диагностировании онкологических заболеваний ПЭТ-томография дает информацию о стадии заболевания, которую невозможно получить никаким другим способом. Кроме того, радиофармпрепараты не приносят большого вреда организму, быстро распадаются и быстро выводятся из него. Но метрологическое обеспечение измерения активности РФП представляет значительные трудности именно из-за очень малых значений периодов полураспада этих радионуклидов. В частности, сложно обеспечить международную эквивалентность измерений активности и прослеживаемость результатов измерений внутри страны.

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева» (ВНИИМ) в рамках ключевых сличениях ВРМ.РИ(II)-К4.Тс-99m и ВРМ.РИ(II)-К4.Ф-18 (13 участников) провел измерения активности Тс-99m и F-18 методом 4π- счета высокой эффективности с расширенной неопределенностью 2%. Во «ВНИИМ им Д.И.Менделеева» создана установка для измерения активности Размеры кристаллов: диаметр 200 мм, высота 100 мм. В нижнем кристалле расположен колодец глубиной 10 мм и диаметром 40 мм для установки источника. Геометрия внутренней полости позволяет проводить измерения как в высушенных точечных источниках, так и в растворах в эпипендорфах объемом до 0,5 мл ( $^{18}\text{F}$  и  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ). Чувствительность установки к радионуклидам со сложными схемами распада рассчитана по методу Монте-Карло и достигает 95-99%. Неопределенность измерения активности радионуклидов составляет 0,5-2,0 % для  $K=2$ . В 2009-2014 гг. установка принимала участие в работах по измерению активности следующих радионуклидов: электронно-захватных радионуклидов  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{139}\text{Ce}$  и  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ . Предварительные итоги сличений подтвердили заявленные неопределенности измерений.

Для передачи единицы от Государственного первичного эталона активности радионуклидов во ВНИИМ используются вторичный и рабочий эталоны на базе радиометров-дозкалибраторов Fidelis и РИС-А1Э. Разработана и утверждена методика калибровки радиометров-дозкалибраторов в качестве рабочих эталонов 1 и 2 разрядов, что позволяет

оснастить ЦСМ рабочими эталонами для поверки рабочих дозкалибраторов, применяющихся в медицинских учреждениях по всей стране.

Таким образом, в настоящее время создано метрологическое обеспечение измерений активности радионуклидов в РФП на всех стадиях от испытаний средств измерений в целях утверждения типа до последующей поверки в процессе эксплуатации.

# ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ МАСШТАБА И ПЛОТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ РАДИОНУКЛИДОМ $^{137}\text{Cs}$ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОЙ И НАЗЕМНОЙ РАДИАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

*Быстров Е.В., Кожемякин В.А., Коновалов Е.А.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Проблема оценки масштаба и плотности загрязнения местности радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  все еще актуальна на территории стран, пострадавших от последствий Чернобыльской катастрофы, а также в Японии после аварии на АЭС Фукусима. В настоящий момент широкий спектр приборов и аппаратуры позволяет провести измерение мощности дозы и спектрального распределения гамма-излучения в полевых условиях с GPS-привязкой на местности. Но без соответствующего программного средства комплексный анализ полученных данных будет трудоемок и займет много времени.

Ранее нами было разработано программное обеспечение «GARM», которое служит инструментом визуализации и анализа данных радиационных измерений, выполненных приборами и аппаратурой с наличием функции GPS-привязки на местности. В процессе полевых испытаний оборудования радиационного контроля (использовался прибор МКС-АТ6101С) на зараженной местности совместно с МАГАТЭ, подготовительной комиссией Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ), Полесским государственным радиационно-экологическим заповедником (ПГРЭЗ) и другими организациями была выявлена необходимость в предоставлении пользователю аналитической информации о масштабе и плотности загрязнения местности радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  на основе данных наземной или воздушной радиационной съемки. Для оценки масштаба загрязнения был разработан и реализован алгоритм построения изолиний и градиентной заливки области по интересующему параметру. Для оценки мощности дозы гамма-излучения на уровне 1 м над поверхностью земли разработан и реализован соответствующий метод, который основывается на данных аэрогамма-съемки на высотах от 50 до 200 м, характере загрязнения и некоторых параметрах окружающей среды. Дополнительно, по значениям измеренной мощности дозы гамма-излучения на уровне 1 м над поверхностью земли при наземной гамма-съемке, а также оцененной мощности дозы для уровня 1 м при воздушной съемке для известных значений плотности почвы и глубины залегания радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  осуществляется оценка плотности загрязнения местности.

В 2012 году были проведены масштабные испытания аппаратуры аэрогамма-съемки в ПГРЭЗ совместно с ОДВЗЯИ. Получены большие массивы данных дозиметрического и спектрального распределения радиоактивного загрязнения территории на двух площадках. На первой проводились измерения мощности дозы гамма-излучения на уровне 1 м над поверхностью земли. На второй проводились измерения мощности дозы гамма-излучения на высоте 50, 100, 150 и 200 м над поверхностью земли с борта вертолета МИ-2.

Результатом обработки данных по двум площадкам в программе GARM является оценка мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м над поверхностью земли по значениям мощности дозы гамма-излучения, измеренным на высотах от 50 до 200 м. В результате обработки данных высотных измерений, сличения результатов дистанционной оценки и измерений на 1 м установлено их совпадение в пределах  $\pm 10\%$ .

С использованием базы данных ПГРЭЗ по удельной активности и плотности загрязнения почв радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  было проведено их сравнение с данными по оценке плотности загрязнения, полученными при наземной и воздушной съемке. Предварительный анализ данных показал, что расхождение в определении плотности загрязнения находится в пределах  $\pm 30\%$ .

## СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ В АО «ИФТП»

*Газизов И.М., Смирнов А.А., Федорков В.Г., Хрунов В.С.*  
АО «Институт физико-технических проблем», Россия, Дубна

Одним из направлений деятельности АО «ИФТП» является разработка детекторов и блоков детектирования с использованием различных полупроводниковых и сцинтилляционных материалов, а также создание на их основе устройств для дозиметрии, радиометрии и спектрометрии различных видов ионизирующих излучений.

На основе особо чистого германия разработано семейство блоков детектирования планарной и коаксиальной конструкции с азотным охлаждением или охлаждением с использованием компактных электромашинных охладителей. В комплекте с цифровым анализатором спектра АО «ИФТП» предлагает германиевые спектрометры гамма- и рентгеновского излучения типа СЕГ-1КП и СЕР-1КП. Эффективность регистрации гамма-излучения с энергией 1,33 МэВ составляет 10 – 60% по отношению к NaI(Tl) размером 3×3", энергетическое разрешение  $\leq 2,0$  кэВ по энергии 1,33 МэВ и  $\leq 1,0$  кэВ по энергии 122 кэВ.

На основе кремния созданы пассивированные имплантированные спектрометрические детекторы заряженных частиц с площадью чувствительной поверхности от 20 до 2000 мм<sup>2</sup> типа ПДПА-1К (в зависимости от площади энергетическое разрешение от 11 до 50 кэВ по энергии альфа-излучения 5,15 МэВ). С использованием этих детекторов разработаны: спектрометр энергии альфа-излучения СЕА-4К, включающий от 1 до 4-х каналов регистрации; носимый альфа-радиометр РЗА-2К; радиометрическая установка для контроля загрязнённости альфа-излучающими радионуклидами типа РЗА-1К. Разработаны кремниевые р-і-п-детекторы и линейка спектрометров рентгеновского излучения на их основе. С использованием кремниевых р-і-п-детекторов создан рентгено-флуоресцентный толщиномер функциональных покрытий с диапазоном измерения толщин от 0,01 до 30 мкм.

На основе полистирола создано семейство пластмассовых сцинтилляторов, предназначенных для регистрации потоков нейтронного и гамма-излучений. Разработана линейка блоков детектирования типа БДГС с пластмассовыми сцинтилляторами для работы в составе пешеходных и транспортных мониторов.

Новое направление в работах ИФТП – использование широкозонных полупроводниковых материалов CdTe и CdZnTe для создания компактных спектрометрических устройств и стриповых и пиксельных детекторов для медицинской и промышленной томографии. В докладе приведены результаты исследований характеристик отечественных и зарубежных исходных полупроводниковых материалов, приведены результаты измерений параметров созданных образцов спектрометрических устройств.

**ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНАХ ПОБЕРЕЖЬЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА, А ТАКЖЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В СВЯЗИ С АВАРИЕЙ НА ЯПОНСКОЙ АЭС «ФУКУСИМА-1». ИТОГИ ЭКСПЕДИЦИЙ 2011, 2012 И 2014 ГГ.**

***Тишков В. П., Анисович К. В., Бондаренко Л. Г., Важенина Е. В., Изотова А. В., Мокрова Е. Ю., Большаков В. А., Душин В. Н., Захаров Г. А., Осипов В. В., Осокин В. М., Перов А. В., Савоненков В. Г., Садыкин А. Д., Степанов А. В., Струков В. Н., Шабалев С. И.***  
**АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», Россия, Санкт-Петербург**

11 марта 2011 года, сразу после появления первых сообщений о катастрофическом землетрясении и вызванном им цунами у восточных берегов Японии, и последовавшими вследствие этого проблемами с охлаждением реакторных установок АЭС «Фукусима-1», Госкорпорация «Росатом» привлекла значительное количество своих научно-технических специалистов для мониторинга и оценки ситуации на аварийной АЭС.

В процессе развития событий контроль и управление основными технологическими процессами на аварийных блоках АЭС «Фукусима-1» были утрачены, что привело к выбросам в атмосферу и сбросам в гидросферу (северо-западную часть Тихого океана) радиоактивных веществ в последующие несколько суток.

Авария на АЭС «Фукусима-1» вызвала резонансную реакцию в обществе и потребовала оценить её возможные радиологические последствия. В этих условиях мониторинг загрязнения радионуклидами различных объектов внешней среды в районе размещения АЭС и за её пределами стал единственным надежным и достоверным инструментом анализа ситуации и прогнозирования возможных последствий.

Расчетные исследования распространения радионуклидов в атмосфере и океанической среде показывали, что при весьма консервативных подходах к оценке возможного загрязнения прибрежных вод в районе АЭС «Фукусима-1», аварийные выбросы и сбросы значимой радиологической опасности не представляют. Также не следует ожидать значимого повышения концентрации радионуклидов в морской воде и гидробионтах в районе Курильских островов и Камчатки.

Для подтверждения модельных прогнозов и оценок экспертов Госкорпорации «Росатом» о текущей и будущей радиологической обстановке, под эгидой Российского географического общества были организованы три экспедиции (в 2011, 2012 и 2014 гг.) для проведения полевых исследований и мониторинга содержания техногенных радионуклидов в гидросфере Тихого океана. В предлагаемом докладе представлены основные результаты экспедиционных исследований.

## НЕЙТРОННЫЙ И ГАММА-ДЕТЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ

*Кожмякин В.А.<sup>1</sup>, Коржик М.В.<sup>2</sup>, Лопатик А.Р.<sup>1</sup>, Федоров А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск

<sup>2</sup>Институт ядерных проблем БГУ, Республика Беларусь, Минск

В работе исследованы изготовленные нами экспериментальные образцы малогабаритных детекторов тепловых нейтронов и гамма-излучения на основе недавно разработанного кремниевого фотоэлектронного умножителя MicroFC 30035 SMT производства SensL с размером чувствительной области  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup> и сцинтилляционных элементов: из активированного церием литиевого стекла размерами  $4 \times 4 \times 10$  мм<sup>3</sup> (нейтронный детектор) и сцинтиллятора CsI(Tl)  $10 \times 10 \times 30$  мм<sup>3</sup> (гамма-детектор). Приведена простая методика привязки энергетической шкалы к числу сработавших пикселей SiPM. Исследованы шумовые характеристики детекторов в зависимости от температуры, а также влияние температуры в области минус 20°C– плюс 50°C на коэффициент усиления. Получены графики зависимости напряжения смещения от температуры для неизменного коэффициента усиления. Линейность гамма-детектора проверена на дозиметрической установке в диапазоне МЭД от 80нЗв/ч до 0,5мЗв/ч.

Полученные результаты, например, энергетическое разрешение FWHM=13% по тепловым нейтронам от Pu-Be для литиевого стекла и CsI(Tl) от источника <sup>137</sup>Cs, позволяют сделать вывод о перспективности применения подобных детектирующих элементов в малогабаритных персональных радиационных детекторах.



## ПО ДЛЯ ПЛАНШЕТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ SPECTRALINETOUCH

*Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Пономаренко Р.А., Соловьева С.Л.*  
ООО «ЛСРМ», Россия, Зеленоград

Программное обеспечение SpectraLineTouch разработано для использования на планшетных компьютерах под управлением операционных систем семейства Windows. Программа имеет облегчённый интерфейс адаптированный к управлению касаниями экрана (touchscreen) и позволяет производить набор и обработку спектров с ограниченным набором функций, аналогично режиму «оператор» в стандартном SpectraLine. SpectraLineTouch использует те же расчетные модули и конфигурационные файлы, что и все программы семейства SpectraLine. Как правило, одновременно со SpectraLineTouch устанавливается стандартное ПО SpectraLine, имеющее полноценный интерфейс, которое позволяет при необходимости произвести настройку конфигурации, или обработать спектр в интерактивном режиме. Благодаря использованию сценариев обработки, функциональные возможности SpectraLineTouch могут быть существенно расширены. Поддерживается экспертный режим работы [1], позволяющий автоматически отправлять по почте спектры и конфигурационные файлы на удалённый компьютер.

[1] Настоящий сборник, В.Н.Даниленко, Е.А.Ковальский, Р.А.Пономаренко, С.Л.Соловьева  
Экспертная система SpectraLine.

# ОПЫТ РАЗРАБОТКИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО И СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ, КОНТРОЛЯ УРОВНЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

*Хайло Л.Н., Солопенко М.М., Мухамеджанов И.Р., Ступацкий А.В., Дмитриев В.Ф.,  
Солонин Д.С.*

ФГУП «ПО «Маяк» ОКБ КИП и А, Россия, Озёрск

ФГУП «ПО «Маяк» является одним из предприятий Госкорпорации «Росатом», где разрабатываются и изготавливаются средства измерений ионизирующих излучений, обеспечивающие радиационный контроль, контроль технологических процессов ядерно- и радиационно-опасных объектов и производств. К приборам непрерывного технологического контроля помимо метрологических требований предъявляются жесткие требования к быстродействию, устойчивости к высокоагрессивным средам, дезактивации и электромагнитной совместимости без потери эксплуатационных качеств. Зачастую требования противоречат друг другу. Большой опыт разработки и эксплуатации приборов в тяжелых условиях был учтен в новом поколении датчиков ионизирующих излучений, разработанных ОКБ КИП и А ФГУП «ПО «Маяк».

Разработан блок детектирования БДБГ-10И [1] с расширенным диапазоном измерения. БДБГ-10И предназначен для непрерывного измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МЭД) (класс безопасности ЗН по НП-001-97, НП-016-05, ПОБ КПРУ-98) в составе систем радиационного контроля. Диапазон измерения МЭД от  $4 \cdot 10^{-7}$  до 10 Зв/ч. Диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения от 0,05 до 3 МэВ. Предусмотрены два типа выхода: частотный и цифровой (RS-485).

В качестве детекторов ионизирующего излучения используются два газоразрядных счетчика Гейгера-Мюллера. БД имеет два режима работы: режим измерения скорости счета (ИССЧ) и режим измерения временных интервалов (ИВИ). В обоих режимах при обработке информации используется адаптивный алгоритм, позволяющий оперативно отслеживать резкие изменения значения МЭД. Основное достоинство режима ИВИ в том, что данный режим обеспечивает линейность характеристики счетчиков Гейгера-Мюллера в большем диапазоне измерения и значительно увеличивает их временной ресурс работы. Таким образом, возможно использовать БД в полях с высокими значениями МЭД, в особенности в аварийной радиационной обстановке.

Зачастую измерение нейтронного потока необходимо вести при наличии высокого гамма-фона. Для реализации измерения в таких условиях был создан прибор УДКС «ПНГК-1» [2] (класс безопасности ЗН по НП-016-05). Способ измерения защищен патентом [3].

УДКС предназначен для измерения плотности потока тепловых нейтронов и МЭД гамма-излучения. Выходной сигнал передается по интерфейсу RS485. В качестве детектора используется счетчик нейтронов СНМ16, СНМ17, СНМ18. Применение поэтапного измерения плотности потока тепловых нейтронов и МЭД гамма-излучения позволило уменьшить погрешность.

Диапазон измерений плотности потока тепловых нейтронов: от 7 до  $60 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ . Пределы допускаемой основной относительной погрешности устройства при измерении плотности потока тепловых нейтронов не более  $\pm 30 \%$ .

Диапазон измерений мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе (МПД) от 1,1 до 43650 мГр·ч<sup>-1</sup> (от 0,13 до 5000 Р·ч<sup>-1</sup>). Пределы допускаемой основной относительной погрешности устройства при измерении МПД гамма-излучения не более  $\pm 20\%$ .

Принцип измерения малых значений плотности потока нейтронов при наличии высокого гамма-фона позволил создать Радиоизотопный индикатор уровня РИУ-ПНГК [3] технологического раствора в выпарном аппарате комплекса цементирования среднеактивных отходов ФГУП «ПО «Маяк». В данной задаче необходимо контролировать отклонение уровня жидкости от заданного порогового значения от минус 140 до плюс 140 мм. Задача осложняется наличием кипящего слоя, кристаллизационными процессами, наличием сильного гамма-излучения и геометрией проходок через биологическую защиту аппарата.

Принцип сигнализатора основан на измерении плотности потока тепловых нейтронов, получаемых в результате замедления водородсодержащей средой быстрых нейтронов от источника, встроенного в датчик сигнализатора. Таким образом, на базе устройства УДКС «ПНГК-1», в датчик которого дополнительно встроен плутоний-бериллиевый источник быстрых нейтронов типа ИБН-6, стало возможным быстрое и эффективное решение поставленной задачи по контролю уровня в выпарном аппарате. Характеристика зависимости скорости счёта от уровня раствора, в пределах габаритных размеров счётчика СНМ-11, имеет значительную крутизну, позволяющую контролировать уровень среды.

Одной из ключевых задач при ведении технологического процесса на радиохимическом производстве является определение концентрации тяжелых элементов в органических и неорганических технологических растворах. Контроль необходимо вести непрерывно и с высокой точностью. Решить данную задачу позволил спектрометрический метод. На основе ранее зарегистрированного изобретения [5] был разработан измеритель концентрации урана СГА [6] нового поколения (класс безопасности ЗН по НП-016-05). Он основан на гамма-абсорбциометрическом методе и предназначен для внутриаппаратного непрерывного измерения массовой концентрации урана и других тяжелых элементов в технологических растворах. Прибор СГА отличается простотой конструкции, повышенной надежностью и полным отсутствием сложных механических узлов.

Измеритель содержит погружаемый в аппарат корпус с полостью для прохождения анализируемой жидкости, источник гамма-излучения и спектрометрический детектор гамма-излучения, расположенные друг против друга. Излучение от источника ослабляется анализируемой жидкостью и попадает на детектор, снятый спектр несет информацию о концентрации контролируемого элемента. В качестве детектора гамма-излучения используется спектрометрическое сцинтилляционное устройство детектирования. Диапазон измерения массовой концентрации урана в водных растворах от 0 до 120 кг/м<sup>3</sup>.

Другим примером применения элементов спектрометрических методов в технологическом (дозиметрическом) контроле является Установка радиометрическая РАА-02 [7]. РАА-02 применяется для оперативного измерения суммарной объёмной активности долгоживущих альфа-активных аэрозолей (ДЖА) в воздухе рабочей зоны и в выбросах в атмосферу из воздухопроводов технологических и вентиляционных систем предприятия на фоне присутствия естественных короткоживущих аэрозолей (КЖА) (класс безопасности ЗН по НП-016-05).

Принцип контроля построен на измерении приращения поверхностной активности альфа-излучающих аэрозолей, осевших на фильтре, за определённый промежуток времени; вычислении объёма прокаченного через фильтр воздуха и соответственного вычисления объёмной активности альфа-излучающих аэрозолей. В качестве детектора используется кремниевый спектрометрический модуль детектирования альфа-излучения. Детектирование альфа-излучения

осуществляется кремниевой планарной ионно-имплантированной детектирующей структурой (полупроводника n-типа). Процессорный модуль, выполняет функции амплитудного отбора импульсов, регистрации скорости счета, вычисления физической величины, преобразования информации в сигнал интерфейса RS485. Диапазон измерений объёмной активности ДЖА от  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $1 \cdot 10^5$  Бк·м<sup>-3</sup>. Диапазон регистрируемых энергий альфа-частиц ДЖА от 4,5 до 6,0 МэВ.

Приборы БДБГ-10И, СГА и РАА-02 прошли полный цикл испытаний на соответствие требованиям современных норм и правил в области использования атомной энергии, были подтверждены метрологические характеристики и утверждены как тип средства измерения.

Таким образом радиометрические методы продолжают находить применение в смежных областях, таких как контроль уровня растворов, а спектрометрические методы все больше начинают применяться для технологического контроля.

#### Список литературы

1. Блок детектирования БДБГ-10И ЖГИЦ.412113.001РЭ.
2. Устройство УДКС "ПНГК-1" ЖГИЦ.412125.014 РЭ.
3. Патент «Способ регистрации нейтронов в присутствии гамма-излучения» RU2351953С1.
4. Радиоизотопный индикатор уровня РИУ-ПНГК Инструкция ЖГИЦ.407764.001.
5. Изобретение "Погружной гамма-абсорбционный зонд" (№ 2334218).
6. Концентратомер урана СГА ЖГИЦ415311.001-01 РЭ.
7. Установка радиометрическая РАА-02 ЖГИЦ.412123.003 РЭ.

## ЛИНЕЙКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ БЛОКОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ И ДРУГИХ СИСТЕМ

*Кожемякин В.А.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Предложен ряд различных по техническим характеристикам блоков детектирования, предназначенных для применения в спектрометрических и (или) дозиметрических робототехнических системах наземного, воздушного и морского применения.

В блоках детектирования используются сцинтилляционные метрологические кристаллы NaI(Tl), сцинтилляционная пластмасса со свинцовыми добавками и гейгеровские счетчики.

Основные технические характеристики блоков детектирования приведены в таблице.

Дозиметрические блоки детектирования:

Блок детектирования	БДКГ-24	БДКГ-30	БДКГ-04	БДКГ-204	БДКГ-25	БДКГ-22	БДКГ-23
Детектор	Сцинтилляционная пластмасса Ø50x40 мм		Сцинтилляционная пластмасса Ø30x15 мм		Сцинтилляционная пластмасса Ø10x5 мм	Счетчик Гейгера-Мюллера с энергокомпенсирующим фильтром	Два счетчика Гейгера-Мюллера с энергокомпенсирующим фильтром
Диапазон энергий	30 кэВ – 3 МэВ	50 кэВ – 3 МэВ	15 кэВ – 3 МэВ	20 кэВ – 3 МэВ	60 кэВ – 3 МэВ	60 кэВ – 3 МэВ	
Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы	20 нЗв/ч – 1 Зв/ч	–	50 нЗв/ч – 10 Зв/ч		–	0,1 мкЗв/ч – 10 Зв/ч	–
Диапазон измерения мощности поглощенной дозы	–	20 нГр/ч – 1 Гр/ч	–		0,1 мкГр/ч – 1 Гр/ч	–	0,1 мкГр/ч – 100 Гр/ч
Предел основной относительной погрешности измерения мощности дозы	±20 %		±20 %		±30 %	±20 %	
Энергети-	±25 %	±25 %	±35 %	±35 %	±35 %	от -25 % до +35 %	

ческая зависимость чувствительности относительно энергии 662 кэВ ( $^{137}\text{Cs}$ )	(30 кэВ – 3 МэВ)	(50 кэВ – 3 МэВ)	(15 кэВ – 60 кэВ) $\pm 20\%$ (60 кэВ – 3 МэВ)	(20 кэВ – 60 кэВ) $\pm 20\%$ (60 кэВ – 3 МэВ)	(60 кэВ – 3 МэВ)	(60 кэВ – 3 МэВ)	
Радиационный ресурс	не менее 100 Зв	не менее 100 Гр	не менее 100 Зв		не менее 100 Гр	не менее 100 Зв	не менее 100 Гр
Степень защиты	IP64		IP64	IP57	IP57	IP67	
Интерфейс	RS232		RS232	RS485	RS485	RS422/ RS485	
Диапазон рабочих температур	от -40 °С до +50 °С		от -30 °С до +50 °С		от -40 °С до +50 °С	от -40 °С до +70 °С	
Относительная влажность воздуха при температуре $\leq 35$ °С без конденсации влаги	до 98 %		до 95 %		до 95 %	до 98 %	
Габаритные размеры, масса	Ø60x200 мм, 0,65 кг	Ø60x200 мм, 0,65 кг	Ø60x205 мм, 0,5 кг	Ø60x230 мм, 0,55 кг	Ø60x210 мм, 0,6 кг	Ø60x255мм, 1 кг	

Спектрометрические блоки детектирования:

Блок детектирования	БДКГ-201М	БДКГ-203М	БДКГ-205М	БДКГ-211М
Детектор	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø25x16 мм	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø25x40 мм	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø40x40 мм	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø25x16 мм
Диапазон энергий	20 кэВ – 3 МэВ			
Диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы	10 нЗв/ч – 1 мЗв/ч	10 нЗв/ч – 50 мкЗв/ч	10 нЗв/ч – 300 мкЗв/ч	10 нЗв/ч – 150 мкЗв/ч
Предел основной относительной погрешности измерения мощности дозы	$\pm 20\%$			
Энергетическая зависимость чувствительности относительно энергии 662 кэВ ( $^{137}\text{Cs}$ )	$\pm 20\%$ (20 кэВ – 3 МэВ)			
Типовое энергетическое	8 %	8%	7,5 %	7,5 %

разрешение для энергии 662 кэВ ( $^{137}\text{Cs}$ )				
Радиационный ресурс	не менее 100 Зв			
Степень защиты	IP68			
Интерфейс	USB / RS232 / RS485			
Диапазон рабочих температур	от -35 °C до +55 °C			
Относительная влажность воздуха при температуре 35 °C и более низких без конденсации влаги	До 98 %			
Габаритные размеры, масса	Ø63x300 мм, 1 кг	Ø63x320 мм, 1 кг	Ø63x320 мм, 1 кг	Ø90x350 мм, 2 кг

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ РАО

*Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Суворов Д.А.*  
ООО «ЛСРМ», Россия, Зеленоград

ООО «ЛСРМ» предлагает 2 программных решения для паспортизации РАО: Diogen – полностью автоматизированная система для измерения стандартных объектов с помощью специализированных спектрометров (паспортизаторов РАО) и решение на базе SpectraLine (SpectraLine СПОРО, SpectraLine Shiva), когда измерения выполняются с помощью обычных переносных гамма- спектрометров.

## Diogen.

Программа Diogen является частью установки СКГ производства ЗАО НПЦ «АСПЕКТ» для паспортизации радиоактивных отходов в стандартных геометриях. На сегодняшний день, Diogen – это гибкая, полностью автоматизированная система, с помощью которой можно измерять объекты различных геометрий (бочки, мешки со строительным мусором, контейнеры типа НЗК и др.). Diogen сопрягается со всеми типами детекторов, которые поддерживает SpectraLine (в т. ч. полупроводниковые), позволяет выбирать число измерительных трактов, реализовано автоматическое управление всеми узлами установки, к которым относятся весы, поворотная платформа, устройства позиционирования фильтров и калибровочных источников.

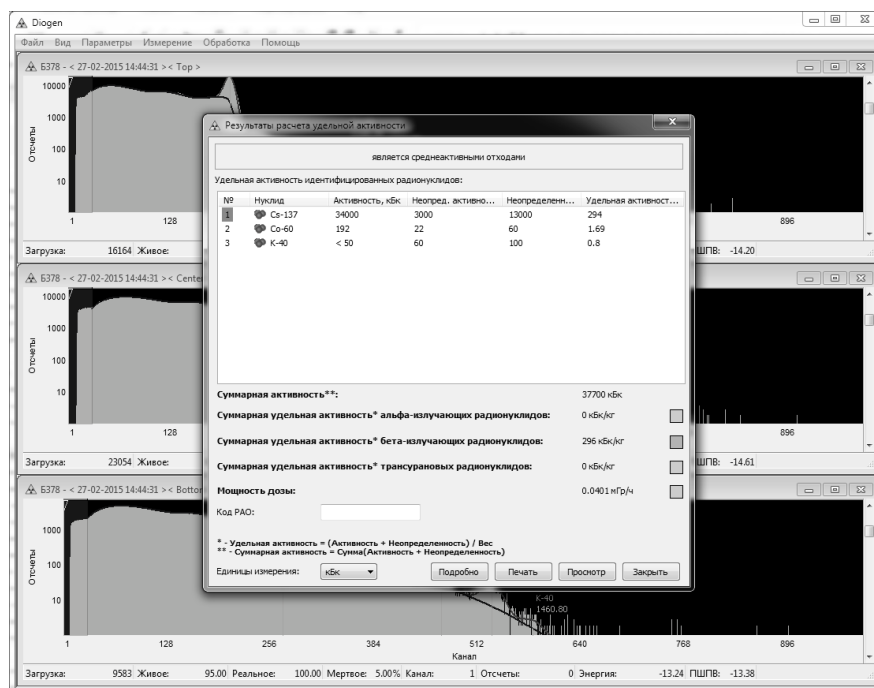


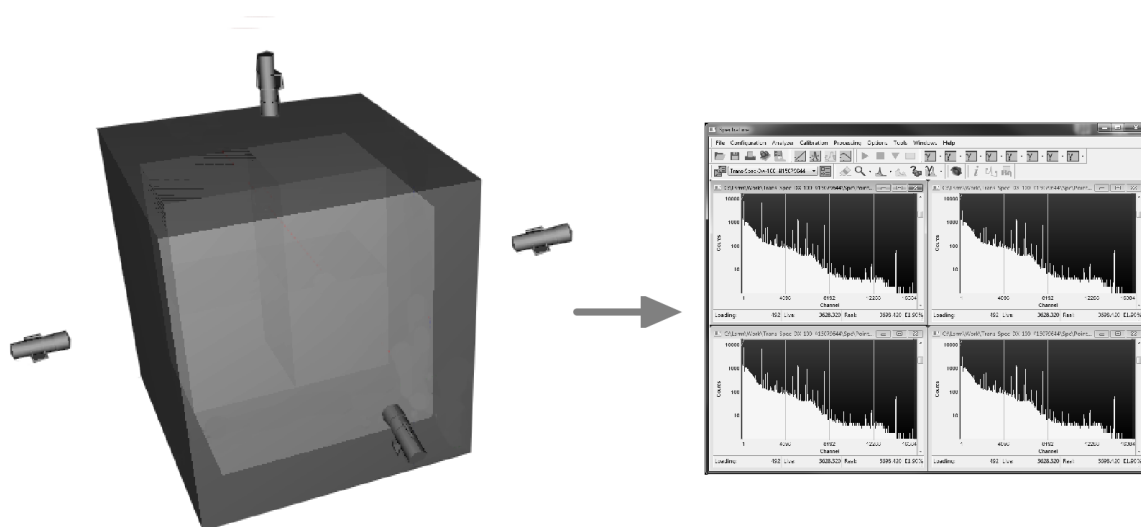
Рис. 1. Программа для паспортизации РАО Diogen

## SpectraLine.

Паспортизацию сложных, нестандартных объектов нельзя полностью автоматизировать, поэтому более правильным решением будет применение пакета программ на основе SpectraLine, включающим в себя EffMaker, NuclideMaster, СПОРО. Особым случаем в этой ситуации является паспортизация больших контейнеров.



Одного измерения для корректного определения активности таких контейнеров недостаточно, поэтому нами предложен способ определения активности посредством многократных измерений из разных положений с последующей совместной обработкой всех спектров, причем положения детектора выбирается таким образом, чтобы полностью покрыть измеряемый объект. Этот способ положен в основу SpectraLine Shiva. Многократные измерения большого контейнера выполняются последовательно с использованием одного или нескольких детекторов по заранее определенной схеме, затем полученные спектры сохраняются в один файл, что позволяет легко и оперативно обрабатывать и переносить такие измерения. Такой подход с использованием привычного интерфейса и всех возможностей SpectraLine позволяет получить помимо корректного значения активности образца также и схему её распределения в измеряемом контейнере.



**Рис. 2.** Измерение объекта по схеме

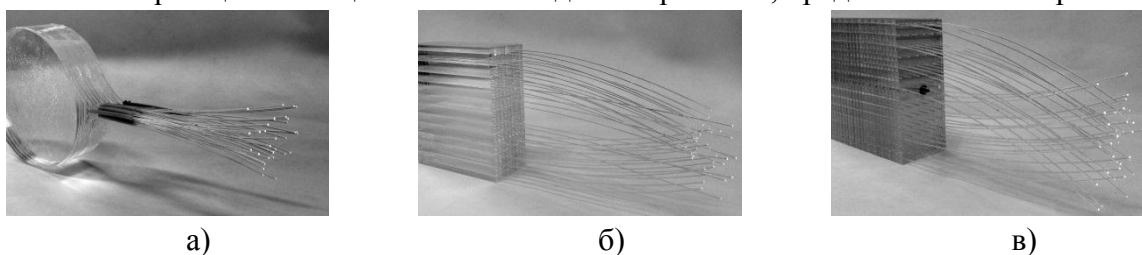
В первом подходе схема измерения жестко привязана к используемой аппаратуре. Во втором случае схема измерения создается пользователем на основе методических рекомендаций.

## СВЕТОСБОР С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОСМЕЩАЮЩИХ ВОЛОКОН НА ПРИМЕРЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ПЛАСТМАССОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

*Гнездилов Ю.Ю., Мухин В.И.*  
НИЯУ МИФИ, Россия, Москва

Для создания радиационных мониторов как носимых, так и транспортных [1] возникает задача светосбора света сцинтилляций с пластмассовых детекторов, выполненных, как правило, из полистирольных сцинтилляторов.

Для проведения экспериментов по определению квантового выхода светосбора (число зарегистрированных фотоэлектронов на 1 МэВ выделенной в сцинтилляторе энергии) были изготовлены три сцинтилляционных блока детектирования, представленных на рис.1.



**Рис.1.** Блоки детектирования со спектросмещающими волокнами Y-11(200) фирмы Kuraray диаметром 1 мм: а) блок состоит из цилиндрического сцинтиллятора BC-408 фирмы Saint-Gobain диаметром 138 мм и высотой 38 мм. Оптоволокну общей длиной 18 м навито на его боковую поверхность; б) блок размером 120x100x45 мм<sup>3</sup> состоит из набора сцинтилляционных пластин 120x100x5 мм<sup>3</sup>. Оптоволокну общей длиной 11 м проходит сквозь отверстия в пластинах, перпендикулярно к поверхности (геометрия «шашлык»); в) блок размером 130x125x50 мм<sup>3</sup> состоит из набора сцинтилляционных пластин 125x50x5 мм<sup>3</sup> (геометрия «сэндвич»). Оптоволокну общей длиной 11 м вклеено в параллельные канавки, проходящие вдоль пластин.

Все блоки детектирования были обернуты светоотражающим материалом Tyvek фирмы DuPont и размещены в светонепроницаемом контейнере. Свет с 36 торцов оптоволокон каждого блока детектирования регистрировался дважды: один раз — ФЭУ ЕМІ 9954КВ с диаметром фотокатода 46 мм, а другой раз — SiФЭУ MicroSB-60035-X13 размером 6x6 мм<sup>2</sup> фирмы SensL [2].

При использовании источника гамма-квантов с энергией 4 МэВ экспериментально полученный квантовый выход светосбора блоков детектирования приведен в таблице:

Тип фотоприемника	Блоки детектирования		
	а)	б)	в)
ФЭУ	64,4 ф.э./МэВ	53,2 ф.э./МэВ	43,6 ф.э./МэВ
SiФЭУ	55,6 ф.э./МэВ	41,3 ф.э./МэВ	36,4 ф.э./МэВ

Как следует из приведенных данных, наибольший квантовый выход светосбора у цилиндрического сцинтилляционного блока детектирования со сбором света с помощью спектросмещающих волокон, навитых на его боковую поверхность. Результат частично можно объяснить тем, что в указанной геометрии достигается наибольшее использование для светосбора всей длины волокна. При этом, площадь поверхности, с которой собирался свет сцинтилляций, превышала площадь чувствительной поверхности фотоприемника SiФЭУ в ~ 450 раз. Предложенный способ светосбора может найти применение при создании компактных блоков детектирования с низким энергопотреблением на основе неорганического

сцинтиллятора CsI(Na) в форме цилиндра, спектр высвечивания которого хорошо согласуется со спектром поглощения использованного спектросмещающего волокна Y-11(200).

Для оценки обнаружительной способности радиационных мониторов на основе описанных блоков детектирования была так же измерена их эффективность регистрации источников:  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  при использовании SiФЭУ в качестве фотоприемника.

Настоящая работа является продолжением исследований характеристик блоков детектирования на основе полистирольных сцинтилляторов, проведенных в ИФВЭ [3].

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИФВЭ (г. Протвино) Черниченко С.К., Сухих А.В. и Бритвичу Г.И. за помощь в изготовлении блоков детектирования и проведении экспериментов.

#### Литература

1. ГОСТ Р 51635-2000 «Мониторы радиационные ядерных материалов».
2. <http://sensl.com/products/silicon-photomultipliers/bseries/>
3. Бритвич Г.И., Бреховских В.В., Семенов В.К. и др. Основные характеристики полистирольных сцинтилляторов производства ИФВЭ. Препринт ИФВЭ 2013-23. – Протвино, 2013. – 38 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕТА-ИЗЛУЧАЮЩИХ ИЗОТОПОВ В 1 КОНТУРЕ АЭС

***Малиновский С.В.<sup>1</sup>, Каширин И.А.<sup>1</sup>, Скакун Г.Е.<sup>2</sup>, Исаев В.Н.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>ФГУП «РАДОН», Россия, Москва

<sup>2</sup>ООО НИП «ГРИН СТАР ИНСТРУМЕНТС», Россия, Москва

В системе безопасности и контроля технологических процессов на АЭС большую роль занимает мониторинг содержания радиоактивных нуклидов в технологических средах различных стационарных объектов. И одним из таких важнейших объектов контроля является 1-й контур – контур теплоносителя (для станций с ВВЭР). И если при измерении содержания гамма-излучающих радионуклидов в контурных водах проблемы практически отсутствуют, то контроль бета-излучающих радионуклидов или не ведётся вообще, или ведётся методами, не обладающими достаточной достоверностью получаемых результатов. И прежде всего это касается определения «чистых» бета-излучателей - трития и углерода-14, содержание которых крайне важно для контроля технологических процессов.

В докладе представлен метод определения бета-излучающих радионуклидов, использующий для измерений жидкосцинтилляционный спектрометр и программу обработки непрерывных спектров, позволяющую по измеренному спектру определять изотопный состав пробы.

Представлен краткий обзор существующих ЖС-спектрометров в плане применимости к решению задачи. Прибором, удовлетворяющим всем поставленным требованиям, является российский СКС-07П производства фирмы «ГРИН СТАР ИНСТРУМЕНТС», позволяющий корректно проводить измерение высокоактивных проб.

Метод не требует специальной пробоподготовки, отобранная проба теплоносителя смешивается во флаконе со сцинтилляционным коктейлем и проводится измерение. С момента отбора пробы до измерения требуется выдержка для высвечивания короткоживущих радионуклидов. Время высвечивания и объём измеряемой пробы зависят от «возраста» реактора и его мощности и определяются путём проведения контрольных измерений.

Метод отработан на 4-х блоках АЭС с различной мощностью и временем, прошедшем с ввода в эксплуатацию. Проведено более 100 измерений с различными объёмами измеряемого теплоносителя и временами выдержки. Получен следующий состав бета-излучающих радионуклидов: H-3, C-14, Tc-99, I-131, Cs-134, Cs-137. Контрольные гамма-спектрометрические измерения показали соответствие результатов ЖС-измерениям по радионуклидам I-131, Cs-134 и Cs-137, испускающим оба типа излучения.

## **ЛИНЕЙКА СЦИТИЛЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ДОСМОТРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ**

***Вороньков В.Н., Петров В.И., Кожемякин В.А., Семеняко А.Н., Алексейчук И.А.***

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Научно-производственным унитарным предприятием «АТОМТЕХ» разработана линейка сцинтилляционных блоков детектирования для рентгеновских досмотровых комплексов, выпускаемых предприятием «Флэш Электроникс» г. Москва.

Индикатор рентгеновского излучения ИПР-АТ1124 предназначен для измерения скорости счета зарегистрированных рентгеновских фотонов. Прибор измеряет скорость счета импульсов в диапазоне от 10 до 9990 имп/с. Чувствительность прибора в диапазоне энергий измерения от 30 до 60 кэВ не менее  $10 \text{ имп} \cdot \text{с}^{-1} / \text{мкР} \cdot \text{ч}^{-1}$ . Индикация результатов измерения осуществляется трехразрядным дисплеем с ценой младшего разряда 10 имп/с. Время одного измерения прибора и обновления данных на дисплее может быть установлено в пределах от 0,3 до 25 с. В качестве детектора используется сцинтиллятор CsI(Tl) размерами  $\varnothing 20 \times 10$  мм.

Детектирующее устройство рентгеновского излучения ИПР-АТ1126 предназначено для регистрации рассеянного рентгеновского излучения двумя блоками детектирования, преобразования информации о зарегистрированных квантах в электрические импульсы, суммирования их в блоке обработки и передаче данных на внешнее устройство. Эффективность регистрации в диапазоне энергий рентгеновского излучения от 25 до 70 кэВ составляет:

- при скоростях счета до  $10^5$  имп/с – не менее 70 %;
- при скоростях счета до  $3 \cdot 10^5$  имп/с – не менее 50 %.

Диаметр чувствительной поверхности детектора, каждого из блоков детектирования, составляет 72 мм. Длительность одного цикла счета, т.е. времени в течении которого производится подсчет суммарного числа импульсов с двух блоков детектирования, устанавливается программным способом с шагом 0,5 мс в диапазоне от 1,0 до 1000 мс. В качестве детектора используется СДН.30.78.3 СПС.

ИПР-АТ1124 и ИПР-АТ1126 применяются в изделиях «Ватсон» и «Ватсон-ТВ» соответственно, которые предназначены для поиска оружия, наркотиков, контрабандных вложений в транспортных средствах, а также поиска закладок в помещениях (стены, мебель, двери).

Детектирующие устройства рентгеновского излучения ИПР-АТ1130 и ИПР-АТ1132 предназначены для регистрации рассеянного рентгеновского излучения, преобразования информации о зарегистрированных квантах в электрический аналоговый сигнал, величина которого пропорциональна интенсивности излучения. Детектирующие устройства обеспечивают регистрацию рентгеновского излучения с энергией квантов более 30 кэВ. Эффективность регистрации рентгеновского излучения со средней энергий 60 кэВ не менее 50 %. В качестве детектора используются пластиковые сцинтилляторы объемом 0,86 л и 2,275 л соответственно.

При этом ИПР-АТ1132 представляет собой конструкцию из сцинтилляционного детектора и двух идентичных каналов съема информации с торцов сцинтиллятора. Измерительные каналы соединяются между собой кабелем. Один из каналов, подключенный к внешним устройствам, является ведущим и в нем осуществляется суммирование результатов измерения от обоих каналов.

ИПР-АТ1130 применяется в изделии «Феникс», предназначенный для досмотра ручной клади, багажа, посылок с целью обнаружения оружия и взрывчатых веществ, спецпроверки помещений с целью обнаружения взрывных устройств и устройств съема информации, оперативный досмотр транспортных средств.

ИПР-АТ1132 применяется в изделии «РУБЕЖ-ПЧ», предназначенном для досмотра людей с целью обнаружения металлических предметов, электронных изделий, взрывчатых веществ, скрытых под одеждой.

Система детектирования рентгеновского излучения СДПР-АТ1134 предназначена для регистрации рентгеновского излучения, преобразования информации о зарегистрированных квантах в электрический аналоговый сигнал, величина которого пропорциональна интенсивности излучения, передаче данных на внешнее устройство. Система детектирования может использоваться в составе подвижных объектов.

Особенность системы заключается в том, что она состоит из шести двухканальных детектирующих устройств, в каждом из которых используются сцинтилляционные пластмассовые детекторы объемом 4,3 л. Информация поступает последовательно от канала к каналу. В СДПР-АТ1134 реализованная сложная система синхронизации, позволяющая избежать побочных эффектов.

СДПР-АТ1134 применяется в мобильном рентгеновском комплексе «МРК-1». МРК-1 выполнен на базе небольшого грузового фургона и предназначен для досмотра припаркованных и движущихся транспортных средств с целью обнаружения оружия, наркотических и взрывчатых веществ, персонального дистанционного досмотра.

Устройства имеют стандартные интерфейсы типа R232, обеспечивающие передачу в ПЭВМ текущих результатов измерения и получение команд управления с ПЭВМ.

## НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SPECTRALINE

*Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Кувыкин И.В., Скубо Ю.В.*  
ООО «ЛСРМ», Россия, Зеленоград

Рассмотрены дополнительные функциональные возможности новых версий программ семейства SpectraLine.

Система контроля качества тракта позволяет проводить мониторинг работы спектрометрического тракта по положению, полуширине и эффективности пика полного поглощения для заданных энергий, а также проверить фоновую скорость счета в области низких и высоких энергий. Система обеспечивает проведение измерений спектров эталонного образца и фона, и строить графики с результатами мониторинга.

Дополнительные условия остановки измерения позволяют настраивать процесс измерения образца и останавливать измерение при достижении заданной погрешности активности заданного радионуклида, погрешности площади или МДА заданного пика, а также счета в заданном диапазоне каналов.

Интеграция с базой данных программы NuclideMaster позволяет оперативно добавлять в библиотеку данные о необходимых радионуклидах, что повышает точность идентификации спектров сложного радионуклидного состава.

В алгоритмы обработки спектра добавлен учет аппаратурных пиков, таких как пики одиночного и двойного вылета, пики случайного суммирования, пики обратного рассеяния. Алгоритмы обработки доработаны для соответствия стандарту ISO 11929.

Программное обеспечение SpectraLineHeraclitus предназначено для спектрометрического и радиометрического мониторинга и выполнено в виде надстройки над стандартным программным обеспечением SpectraLine. ПО SpectraLineHeraclitus позволяет выполнять непрерывные измерения спектров, рассчитывать мощность дозы и активность и сохранять результаты расчета в базу данных. Полученные результаты отображаются в виде графиков в зависимости от времени измерения, что позволяет отслеживать изменение радиационной обстановки в течение времени. Программа позволяет задавать уровни срабатывания сигнала тревоги.

## **СОЗДАНИЕ БЛОКОВ-КОМПАРАТОРОВ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ПОЛЕЙ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО МОЩНОСТИ ДОЗЫ НА БАЗЕ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ БЛОКОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ**

*Лукашевич Р.В., Антонов А.В., Антонов В.И., Барченко А.Г., Гузов В.Д., Коновалов Е.А.,  
Кожмякин В.А., Фоков Г.А.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Создание блоков-компараторов на основе серийно выпускаемых блоков детектирования позволяет методом сличения использовать их для аттестации характеристик эталонных полей фотонного излучения.

Блоки-компараторы состоят из серийных спектрометрических блоков детектирования гамма-излучения БДКГ-05М (NaI(Tl) Ø40x40 мм) и БДКГ-03М (NaI(Tl) Ø25x16 мм), серийного спектрометрического блока детектирования рентгеновского излучения БДКР-01М (NaI(Tl) Ø9x2 мм) и ПЭВМ со специальным прикладным ПО.

Для создания на основе блоков детектирования БДКР-01М, БДКГ-03М и БДКГ-05М блоков-компараторов использовался спектрометрический метод дозиметрии на основе преобразования измеренного аппаратурного спектра. С помощью этого метода вычисления мощности доз с помощью оператора преобразования «спектр-доза» полная мощность дозы находится с использованием функции  $G(E)$  без применения восстановления спектра из измеренного амплитудного распределения фотонного излучения.

Для определения функции преобразования  $G(E)$  были рассчитаны аппаратурные функции отклика блоков детектирования на излучение параллельного моноэнергетического потока гамма-квантов с энергиями от 5 до 350 кэВ для БДКР-01М и от 20 до 3000 кэВ для БДКГ-03 и БДКГ-05М, а также другие характеристики. Расчет проводился по методу Монте-Карло с помощью программного комплекса SNEGMONT (Scattering of Nuclons, Electrons, Gamma by MONTe-Carlo).

Полученные результаты использованы в качестве базовых данных для оценки дозовой энергетической зависимости чувствительности сцинтилляционных детекторов и определения операторов преобразования «спектр-доза» для измерения мощности кермы в воздухе, мощности амбиентного эквивалента дозы и экспозиционной дозы.

Использование специально отобранных детекторов с высокой стабильностью измерительного тракта и низким разрешением, а также применение описанного выше подхода с использованием поканального оператора преобразования позволяют использовать блоки детектирования в метрологии фотонного излучения с целью поверки образцовых и рабочих средств измерений с погрешностью не более 3 % с использованием мало интенсивных источников гамма-излучения в интервале энергий 5 — 3000 кэВ. Максимальная входная статистическая загрузка блоков-компараторов при измерении энергетического распределения фотонного излучения составляет не менее  $1 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ .

Подобные блоки-компараторы параллельно используются как метрологическое средство на предприятии «АТОМТЕХ» (г. Минск) и ФГУП «ВНИИМ им Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург).



## **ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Казимиров А.С., Казимилова Г.Ф., Иевлев С.М., Мартынюк Л.Б., Черный Е.В.*  
**ООО "Научно-производственное предприятие «АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР»,  
Украина, Киев**

Изложены основные технические характеристики гамма-, бета- и альфа-спектрометров и спектрометров излучения человека. Рассмотрены возможности приборов для решения широкого круга вопросов радиационного контроля окружающей среды на примерах их многолетнего использования, представлен широкий набор методик измерений и пробоподготовки для различных объектов.

Рассмотрена возможность использования производимых спектрометров для проведения экспресс - контроля (за минуты) на не превышение контрольных уровней (КУ) и допустимых уровней (ДУ) концентрации радионуклидов. Обсуждаются новые перспективные разработки.

Представлены методология и возможности обучения специалистов для освоения технологии проведения радиационного мониторинга в случаях ядерной или радиологической аварии, а также для оценки последствий техногенных производств. Обсуждаются перспективные направления дальнейшего использования учебной базы АКП.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ФЗ № 102 «ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ» В ПЕРИОД 2008-2015 г.г

*Харитонов И.А.*

**ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.  
Д.И.Менделеева», Россия, Санкт-Петербург**

Федеральный закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г. разрабатывался в период 2003-2008 г.г с целью создания правовой основы для приведения порядка обеспечения единства измерений в России в соответствие действующей мировой практике. Страна находилась в переходном периоде от состояния стопроцентного государственного регулирования в сфере обеспечения единства измерений к состоянию оптимального разграничения полномочий в этой сфере между государством и бизнес-сообществом. Поэтому разработка Закона соответствовала общей политике Правительства России, направленной на сокращение доли государственной собственности в промышленности. Предполагалось, что применение Закона будет способствовать сокращению объема государственного регулирования в сфере обеспечения единства измерений, которое коснется всех элементов этой системы в стране, начиная от эталонной базы до предоставления метрологических услуг потребителям. Разграничение полномочий между субъектами Закона в этой сфере должно было способствовать интеграции постсоветской экономики России, жестко структурированной на тот момент времени, в европейскую и мировую экономику.

При обсуждении проекта Закона выяснилось, что уровень зрелости бизнес-сообщества недостаточен для того, чтобы взять на себя ответственность за обеспечение общества ресурсами коллективного пользования, в том числе, в области метрологии, т.е. в стране практически отсутствовали юридические лица, которым государство могло бы передать часть своих полномочий по регулированию в области метрологии без опасения утратить единство измерений в стране.

Принятый в 2008 г. № 102-ФЗ об ОЕИ вынужденно оказался компромиссом между постсоветской экономической реальностью с одной стороны и рыночными намерениями Правительства и бизнес-сообщества с другой стороны. При этом постсоветская экономическая реальность получила свое отражение непосредственно в тексте Закона, а либеральные намерения Правительства - в более чем в 10 подзаконных документах, которые были разработаны в период 2008-2015 г.г. в порядке внедрения Закона и зафиксированы отдельными Постановлениями Правительства.

В докладе обсуждаются некоторые из указанных документов, утвержденных Постановлениями Правительства РФ в период 2008-2015 г.г., предназначенные для реализации программы гармонизации законодательства в области обеспечения единства измерений в России с международными нормами.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ИНДЕКС ДОВЕРИЯ, СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ МДА

В.Н.Даниленко, Е.А.Ковальский, И.В.Кувыкин, Ю.В.Скубо

ООО «ЛРСМ», Россия, Зеленоград

Требования к спектрометрическому ПО, как правило, включают требования к идентификации радионуклидов. Звучат они примерно так: ПО должно обеспечивать идентификацию радионуклидов таких-то.... Что это означает? Никаких нормативных документов и рекомендательных указаний на этот счет не существует.

Что такое успешная идентификация? Каковы ее критерии.

Прежде всего определим, что означает эта процедура. В процессе спектрометрического анализа, задача которого установить-каковы активности радионуклидов, присутствующих в образце Такой анализ принято разбивать на несколько частей:

- Получение аппаратурного спектра образца
- Определение набора радионуклидов
- Расчет их активности

В докладе рассматриваются основные принципы идентификации.

Сформулированы критерии успешной идентификации.

Обсуждается введение «индекса доверия» [1].

Рассмотрены алгоритмы идентификации, используемые в ПО «Spectraline».

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical and functional specifications for border monitoring equipment, Revision 1, IAEA Nuclear Security Series No1, IAEA, Vienna (2008)

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ НЕЙТРОННЫХ СОВПАДЕНИЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ПЛУТОНИЯ В СКРАПАХ СЛОЖНОГО СОСТАВА

Семенов М.А., Ефремова А.А., Левунин С.Л., Аникин А.В., Корнев В.Б.

ФГУП «ПО «Маяк», Россия, Озерск

Широкое внедрение методов и средств измерения неразрушающего анализа (НРА) связано с необходимостью повышения экспрессности, оперативности измерений, а в некоторых случаях и точности. Наибольшие сложности возникают при внедрении методов НРА, а именно методов с применением счетчиков нейтронных совпадений (СНС) для контроля «грязного» плутония, находящегося в незавершенной продукции, скрапах и отходах, характеризующихся аномальным выходом ( $\alpha$ , n)-нейтронов. Проведенные исследования показали, что при измерениях все плутониевые материалы целесообразно разделять на определённые группы в зависимости от влияющих факторов: скорость счёта синглетов, значение коэффициента  $\alpha$ , характеризующего выход ( $\alpha$ , n)-нейтронов в объекте измерения, и для каждой группы приходится разрабатывать свой уникальный алгоритм измерений и обработки. Так, например, для диоксида плутония, выделяются две группы в зависимости от скорости счёта:

- не более  $3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  – способ «множественности»;
- более  $3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  – способ «известное умножение» с нулевыми «мёртвыми» временами.

А для скрапа плутония:

- $\alpha$  менее 11 – способ «множественности» с коррекцией, зависящей от значения  $(M_L - 1) \cdot \alpha$ ;
- $\alpha$  более 11 – способ «известное умножение» с построением множества «нехудших» решений, удовлетворяющих уравнению «точечной модели» при заданных (измеренных) скоростях счёта синглетов и дуплетов.

Разработка и внедрение данного подхода для методик измерения массы плутония в различных соединениях плутония в настоящее время позволило на ФГУП «ПО «Маяк» получать более представительные результаты измерения, используемые при расчете, как инвентаризационной разницы всей установки, так и оценке качества технологического процесса по отдельным переделам, по сравнению с традиционными методами разрушающего и гамма-, нейтронно-радиометрического анализа.

Погрешность данных методик измерения определения массы плутония в диоксиде плутония и скрапе в целом соответствует рекомендованным значениям погрешности по ИТВ-2010 и ОСТ 95 10571.

## **МОБИЛЬНЫЙ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС РАДИАЦИОННОГО СКАНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ И ОБЪЕКТОВ МКС – АТ6103**

*Антонов А.В., Антонов В.И., Барченко А.Г., Быстров Е.В., Гуринович В.И., Кожемякин  
В.А., Лукашевич Р.В.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Обнаружение и идентификация радионуклидов, контроль за их перемещением остается актуальной темой исследований и разработок. Для решения задач пограничного контроля, мониторинга мест ядерных испытаний, контроля зараженных территорий, пунктов захоронения радиоактивных отходов и т.д. предприятием «АТОМТЕХ» был разработан мобильный высокочувствительный спектрометрический комплекс радиационного сканирования МКС-АТ6103.

Мобильный комплекс радиационного сканирования МКС-АТ6103 предназначен для выполнения радиационной разведки местности, поиска источников гамма- и нейтронного излучения с GPS привязкой на местности на базе автомобильного или воздушного транспортного средства.

Функциями данного комплекса являются: измерение энергетического распределения гамма-излучения, мощности дозы гамма-излучения, скорости счета нейтронного излучения, обнаружения источников гамма- и нейтронного излучения, идентификация радионуклидов, протоколирование всех результатов и обработки их в предоставленном прикладном программном обеспечении, построение изолиний по выбранному параметру, отображение всех данных на карте. Комплекс автономен и не требует подключения к бортовой сети транспортного средства. Не требует, но и не исключает управления и контроля со стороны оператора.

В состав комплекса входит набор блоков детектирования (БД) гамма- и нейтронного излучения, планшетный компьютер (ПК), а также набор адаптеров и принадлежностей.

Связь между ПК и измерителями гамма- и нейтронного излучения может осуществляться, как посредством беспроводного интерфейса Bluetooth, так и посредством проводного интерфейса USB. Время автономной работы комплекса от полностью заряженных батарей составляет не менее 10 часов.

Разработанный комплекс является гибкой системой радиационного сканирования, отличительной чертой которой, в первую очередь, является масштабируемость по количеству используемых измерителей. Данная особенность позволяет управлять чувствительностью комплекса к гамма- и нейтронному излучению в широких пределах. Как следствие, данный комплекс позволит соответствовать требованиям конечного потребителя по чувствительности и диапазону измерения мощности дозы гамма-, а также нейтронного излучения.

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА SPECTRALINE

*Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Пономаренко Р.А., Соловьева С.Л.*  
ООО «ЛСРМ», Россия, Зеленоград

Зачастую, оператор, выполняющий непосредственно измерения, не может детально проанализировать результаты измерения, либо вследствие недостатка квалификации, либо, если речь идет о полевых измерениях, вследствие неудобств при работе с низкопроизводительным компьютером, в интерактивном режиме.

Программы семейства SpectraLine позволяют организовать распределенную экспертную систему для проведения измерений и анализа результатов. В ее состав входят несколько спектрометров с программой SpectraLine в режиме «Оператора» и компьютер для эксперта. В режиме «Оператора» проводится набор и обработка спектров в автоматическом режиме. На рабочем месте эксперта установлена программа SpectraLine в режиме «Администратора» для обработки спектра в интерактивном режиме.



**Рис. 1.** Структура распределенной системы

Спектр, измеренный оператором, может быть отправляется по электронной почте на компьютер эксперта с целью более детального анализа

На компьютере эксперта получение спектров, отправленных с рабочих мест операторов, и передача их в программу SpectraLine реализованы в виде отдельного приложения, которое подключается к почтовому ящику и помещает спектр в конфигурацию, аналогичную конфигурации отправителя.

Компьютер эксперта содержит папки с настройками всех спектрометров в системе, и спектры обрабатываются с теми же настройками и калибровками, что и на компьютерах операторов.

В программах семейства SpectraLine, начиная с версии 1.6, есть возможность отправить по электронной почте спектр из активного окна, конфигурацию, а также один или несколько спектров в выбранной конфигурации. На компьютере эксперта файлы спектров сохраняются в директориях спектров соответствующих спектрометров.

# ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ВОЗДУШНОЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕСТНОСТИ

*Кожемякин В.А.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Принцип дистанционной дозиметрии с применением авиационной техники заключается в определении усредненных уровней радиации на высоте 1 м путем пересчета данных, измеренных бортовой аппаратурой на высоте полета с использованием высотных коэффициентов пересчета. Теория и практика таких измерений показывает, что наименьшая зависимость высотных коэффициентов от энергии первичного гамма-излучения на земле обеспечивается при высотах полета в диапазоне 50-150 м, максимум до 200 м.

В докладе приведена классификация факторов, влияющих на достоверность измерений, и обусловленных этим влиянием погрешностей измерений (погрешность метода, аппаратурная погрешность, погрешность из-за влияния реальных условий измерений). Оцениваются компоненты суммарной погрешности измерения, а также суммарная погрешность искомых данных (мощность дозы гамма-излучения на уровне 1 м), обеспечиваемая при использовании аппаратуры дозиметрической съемки в составе беспилотного вертолетного комплекса INDELA SKY/AT в диапазоне высот полета от 50 до 150 м. Суммарная погрешность измерений в указанном диапазоне высот при первичной энергии гамма-квантов 0,662 МэВ и уровнях радиации 0,1 мкЗв/ч – 10 Зв/ч на 1 м от поверхности земли составляет менее 20 % ( $P = 0,95$ ), при первичной энергии от 0,4 до 0,9 МэВ – менее 50 % ( $P = 0,95$ ).

В процессе натурных летных испытаний комплекса над радиоактивно загрязненным участком местности в зоне Полесского государственного радиоэкологического заповедника расчетные данные, полученные моделированием процесса переноса гамма-излучения методом Монте-Карло, были подтверждены экспериментально.

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ФГУП «ПО «МАЯК» ПО АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ:  
ОПЫТ, ТЕНДЕНЦИИ, ПРОДУКЦИЯ**

**Семенов М.А., Левунин С.Л., Афанасенко Д.В.  
ФГУП «ПО «Маяк», Россия, Озерск**

В докладе приводятся результаты работы ФГУП «ПО «Маяк» по созданию комплексного подхода к проблеме современного аппаратурно-методического обеспечения ядерно-физических измерений параметров готовой продукции, технологических процессов, ядерной и радиационной безопасности, а также состава и активности радиоактивных отходов предприятия.

Существующие компетенции предприятия позволяют успешно решать следующие задачи:

- разработка методик измерений в соответствии с ГОСТ 8.563;
- подготовка к аттестации методик измерений на «любом уровне», в том числе и для целей ядерной безопасности;
- изготовление образцовых источников;
- выполнение рутинных, арбитражных, нестандартных измерений для целей радиационного мониторинга, входного контроля, технологических исследований;
- международное сотрудничество по разработке методик измерений и новых методов контроля ядерных материалов в готовой продукции и балк-форме;
- методическая поддержка аналитических лабораторий подразделений предприятия и сторонних организаций.



## РАДИОМЕТР СУММАРНЫХ АЛЬФА - И БЕТА-АКТИВНОСТЕЙ

*Горшков Д.В., Кожемякин В.А., Николаев В.А., Турончик Ю.Е.*  
Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск

В практике радиометрических измерений существует целый ряд задач, где в процессе определения активности различных проб и счетных образцов необходимо выполнять массу рутинных измерений, которые несут на себе предварительную оценку. Такая отбраковка позволяет проводить детальные измерения только тех проб, которые превышают выбранный порог активности. Для решения подобных задач удобнее применять простые методы подготовки проб и радиометрические приборы.

Разработанный альфа-бета-радиометр РКС-АТ1319 предназначен для одновременного или раздельного измерения суммарной альфа-активности и суммарной бета-активности в различных счетных образцах и пробах.

Радиометр может применяться для:

- целей контроля суммарной активности радионуклидов в воздухе с применением аэрозольных аналитических фильтров типа АФА;
- контроля радиоактивного загрязнения поверхностей и оборудования методом мазков;
- определения активности счетных образцов, приготовленных из вещества пробы;
- измерения параметров (активность, внешнего излучения и т.д.) альфа-источников типа 1П9, 2П9, 3П9 и бета-источников типа 1С0, 2С0, 3С0.

Радиометр представляет собой функционально законченный прибор, состоящий из блоков детектирования, устройства обработки информации, блока защиты и устройства размещения образцов, смонтированных в едином корпусе.

Метрологические характеристики радиометра представлены в таблице.

Наименования технических показателей	Значение показателей
Чувствительность к $\alpha$ -излучению ( $^{239}\text{Pu}$ )	$0,16 \text{ Бк}^{-1} \times \text{с}^{-1}$
Чувствительность к $\beta$ -излучению ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )	$0,25 \text{ Бк}^{-1} \times \text{с}^{-1}$
Эффективность регистрации $\alpha$ -частиц ( $^{239}\text{Pu}$ )	25 %
Эффективность регистрации $\beta$ -частиц ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )	60 %
Диапазон энергий регистрируемого $\alpha$ -излучения	3 – 7 МэВ
Диапазон энергий регистрируемого $\beta$ -излучения	155 кэВ – 3,5 МэВ
Диапазон измеряемых скоростей счета ( $\alpha$ -канал)	$0 - 10^4 \text{ с}^{-1}$
Диапазон измеряемых скоростей счета ( $\beta$ -канал)	$0 - 10^5 \text{ с}^{-1}$
Диапазон измеряемых активностей ( $\alpha$ -канал)	$0,01 - 3 \times 10^3 \text{ Бк}$
Диапазон измеряемых активностей ( $\beta$ -канал)	$0,1 - 10^4 \text{ Бк}$
Фоновая скорость счета ( $\alpha$ -канал)	Не более $0,001 \text{ с}^{-1}$
Фоновая скорость счета ( $\beta$ -канал)	Не более $0,75 \text{ с}^{-1}$
МИА за 1 час для $\alpha$ -канала ( $^{239}\text{Pu}$ )	0,02 Бк
МИА за 1 час для $\beta$ -канала ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )	0,28 Бк

## УЛЬТРАКОМПАКТНЫЙ НОСИМЫЙ ИДЕНТИФИКАТОР НА ОСНОВЕ ДЕТЕКТОРА ИЗ ОЧГ

*Соколов А.Д.<sup>1</sup>, Гостило В.В.<sup>1</sup>, Пчелинцев А.Б.<sup>1</sup>, Лошевич Э.Л.<sup>1</sup>, Ковальский Е.А.<sup>2</sup>,  
Brutscher J.<sup>3</sup>*

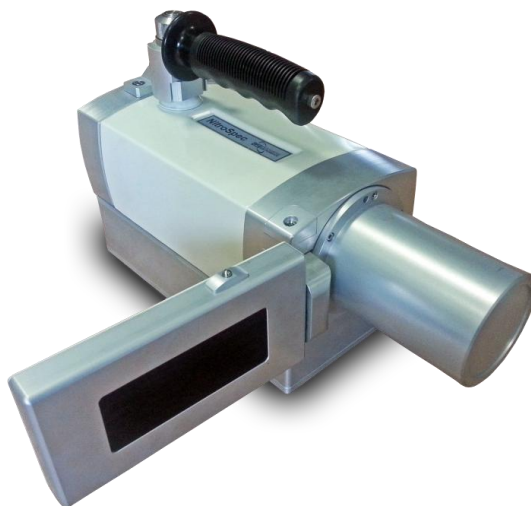
<sup>1</sup>Baltic Scientific Instruments, Рига, Латвия

<sup>2</sup>ООО «ЛСРМ», Россия, Менделеево,

<sup>3</sup>GBS Elektronik, Großerkmannsdorf, Germany

Всё чаще и чаще исследователи радиационной обстановки предпочитают работать со спектрометрами высокого разрешения, а не со сцинтилляционными. Ряд фирм выпускает спектрометры гамма-излучения на основе детекторов из ОЧГ, требующих охлаждения или жидким азотом иои с помощью электромеханических охладителей. На фирме „Baltic Scientific Instruments” разработан ультра-компактный спектрометр на основе детектора из ОЧГ, обладающего функциями идентификатора. В докладе приведены характеристики, параметры и достигнутые результаты использования изделия. Так, например, при заправке всего 0.65 литра жидкого азота, функция идентификации обеспечивается через 1.5 часа и непрерывная работа достигает более 20 часов.

Встроенное микропроцессорное устройство с сенсорным экраном позволяет визуализировать процессы набора спектра, проводить поиск пиков и идентификацию радионуклидов, рассчитывать активности по заданным геометриям измерений. Спектрометр снабжен USB выходом и системой беспроводной передачи данных в удаленный компьютер, при необходимости можно использовать обработку спектров прецизионным ПО.



**Рис.1.** Ультракompактный носимый идентификатор на основе детектора из ОЧГ

# ТАМОЖЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕРКИ ДЕКЛАРИРУЕМЫХ ДАННЫХ ЯДЕРНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ КАК ТОВАР ЧЕРЕЗ ГРАНИЦУ

Кравченко Н.Э.

НИЯУ МИФИ, Россия, Москва

Действующие меры безопасности на границах, установленные согласно рекомендациям МАГАТЭ (Обнаружение радиоактивных материалов на границе IAEA-TECDOC-1312) [4], не подходят для предотвращения нелегального перемещения через границы радиоактивных веществ, так как они не предполагают наличия в полной мере необходимых технических средств, контролирующих или распознающих количественные или качественные характеристики указанных материалов при прохождении значительного количества лиц, товаров и транспортных средств через контрольно – пропускные пункты.

Термин «незаконное перемещение» означает действия, направленные на умышленную транспортировку через границы ЯРМ; а также радиоактивных отходов (для перевозки которых установлены специальные правила), осуществляемую посредством их укрытия от представителей таможни или с помощью преднамеренной подделки сопроводительных документов или других средств идентификации и/или использования неправомерных деклараций.

В настоящее время, в большинстве стран на границах не существует механизма, позволяющего в рабочем порядке, не нарушая упаковку товара с радиоактивным веществом, измерить и подтвердить заявленные в сопроводительных документах радиационные характеристики. Для радиоактивных веществ, этот процесс подразумевает идентификацию заявленного радионуклида или смеси радионуклидов и подтверждение их суммарной активности. Для ядерных материалов, этот процесс означает подтверждение обогащения их ураном-235 или плутонием-239 и определение количества ядерного материала.

Эта проблема связана с отсутствием необходимых в полной мере технических средств радиационного контроля, позволяющих представителям контролирующего органа соотнести за реальный промежуток времени фактические показатели излучения ЯРМ с заявленными в сопроводительных документах.

Отсутствие такого механизма создает реальную угрозу незаконного перемещения ЯРМ под видом легальной транспортировки посредством подмены количественных или качественных характеристик перевозимых материалов.

Подтверждает это мнение и то, что данные о случаях обнаружения незаконного перемещения ЯРМ через границы во время легальной транспортировки основываются в большинстве своем на данных разведки, а не на фактических данных об обнаружении ЯРМ с помощью измерений.

Российская Федерация уделяет большое внимание вопросам, связанным с предотвращением незаконного перемещения через границы ядерных материалов, радиоактивных веществ и т.п., а также радиоактивных отходов; и добилась значительных успехов в разработке технических средств и установлении порядков, направленных на предотвращение и обнаружение ЯРМ, перевозимых незаконно во время легального пересечения границ.

С 1997 года Федеральная таможенная служба в повседневной практике реализует технологии таможенного контроля, позволяющие инструментально проверять декларируемые данные

ядерных и радиоактивных материалов, не вскрывая упаковочные контейнеры, обеспечивая при этом радиационную безопасность персонала.

## СИГНАЛИЗАТОР АВАРИЙНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ ДРГ-АТ2331 ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙСЯ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ

*Васильев П.Н., Николаев В.А., Попов Д.А., Лукашевич Р.В.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Рассмотрены вопросы проектирования блока детектирования и устройства регистрации для использования в системах аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции.

Основные характеристики разработанного блока детектирования:

Диапазон измерения мощности поглощенной дозы рентгеновского и гамма-излучения	0,1 мкГр/ч – 1 Гр/ч
Диапазон измерения поглощенной дозы рентгеновского и гамма-излучения	0,05 мкГр – 10 Гр
Пределы допускаемой основной относительной погрешности: - при измерении мощности дозы - при измерении дозы	±30% ±35%
Энергетическая зависимость чувствительности относительно энергии 662 кэВ ( <sup>137</sup> Cs)	±35% (в диапазоне энергий от 60 кэВ до 3 мэВ)
Время измерения мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения (1 мкГр/ч) при статистической погрешности не превышающей 20 %	не более 120 с

Проведен анализ соответствия разработанного блока детектирования и устройства регистрации требованиям основным правилам проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий ПБЯ-06-10-99.

Блок детектирования регистрирует минимальную продолжительность СЦР равную	1 мс
Порог срабатывания по мощности дозы устанавливается в диапазоне	1 мГр/ч – 1 Гр/ч
Радиационный ресурс блока детектирования и блока регистрации	не менее 100 Гр
Время срабатывания аварийной сигнализации при облучении мощностью дозы равной пороговому значению, умноженному на два	не более 300 мс
Уровень звука на расстоянии 1 м от звукового генератора	не менее 100 дБ
Выключение звукового аварийного сигнала производится вручную после введения пароля	
Для предупреждения персонала предусмотрены светодиодные табло с предупреждающими надписями	

Эксплуатационные характеристики сигнализатора аварийного дозиметрического ДРГ-АТ2331:

<p>Диапазон рабочих температур          Для БДКГ-25, БР-АТ910, УС-АТ991,          коммутаторов и коробок клеммных          Для остальных составных частей</p>	<p>от -40 °С до +50 °С          от +5 °С до +40 °С</p>
<p>Относительная влажность воздуха          Для БДКГ-25, БР-АТ910, УС-АТ991,          коммутаторов и коробок клеммных (при          температуре 35 °С и более низких без          конденсации влаги)          Для остальных составных частей (при          температуре 30 °С и более низких без          конденсации влаги)</p>	<p>до 95 %          до 75 %</p>
<p>Электропитание</p>	<p>от сети переменного тока 230 В, 50 Гц          от аккумуляторной батареи 12,6 В или          24 В в случае аварийного отключения          сети</p>
<p>Средний срок службы</p>	<p>не менее 15 лет</p>

# **ПАКЕТ ПРОГРАММ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА И РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

*Новиков И.Э.*

**Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное автономное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК), Россия, Санкт-Петербург**

Разработаны математические методы и реализующий их пакет специализированных программных средств для получения методами Монте-Карло аппаратурных спектров и характеристик поля гамма-излучения вблизи границы раздела двух полу бесконечных сред типа «воздух – конденсированная среда», необходимых для проектирования и градуировки систем авиационного радиационного мониторинга.

Разработка является результатом обобщения опыта многолетней совместной работы специалистов ЦНИИ РТК и МИФИ по расчету характеристик поля гамма-излучения близи границы раздела двух сред для создания систем авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли и систем мягкой посадки. Разработанные программные средства позволяют учесть широкий диапазон возможных условий измерений, включая одномерную и трехмерную геометрию источника излучения, различные типы его заглубления, различный состав и плотности сред, наличие снежного покрова, радиоактивных пятен и т.д.

В ЦНИИ РТК в течение более чем 30 лет ведутся разработки систем и комплексов дистанционного радиационного мониторинга (ДРМ) для экологических целей и ликвидации последствия ядерных инцидентов. В результате этих работ были спроектированы, приняты на снабжение и серийно произведены ряд приборов и аппаратурно-программных комплексов для авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли. Весьма актуальной остается проблема градуировки средств ДРМ, особенно авиационных. Возможным способом решения этой проблемы является применение методов математического моделирования (методов Монте-Карло). Ситуация осложняется тем, что данный класс задач имеет свою существенную специфику [1], которая, может не учитываться в достаточной мере в известных программах широкого профиля (в частности MCNP), что в ряде случаев приводит к значительным сложностям или невозможности их практического применения для этих целей. Также необходимо учитывать возможные сложности при получении лицензии на использование таких программных продуктов. Ценность результатов работы заключается в том, что созданный пакет специализированных программных средств отечественной разработки и реализованные в нем математические методы, непосредственно предназначены для решения класса задач, связанных с получением методом Монте-Карло аппаратурных спектров для градуировки систем авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли.

В пакет входят семейство программ GRAIN для расчета дифференциальных характеристик поля излучения в области расположения детектора и программа DINAM для расчета аппаратурных спектров применяемых блоков детектирования. При расчете характеристик поля излучения в зависимости от условий используются разнообразные модификации метода Монте-Карло [1,2].

Характерное для решения этого класса задач (размеры детектора малы по сравнению с пробегом излучения в воздухе и расстоянием источник-детектор) применение схемы расчета на основе классической локальной оценки потока дает расходящуюся дисперсию результата, поскольку точка расположения детектора находится в области переноса излучения [1]. В рассматриваемом пакете программ используется специально разработанный для таких задач с техмерным источником излучения конечного размера метод псевдолокальной оценки потока излучения для детектора конечных размеров, который для больших расстояний между точкой столкновения и детектором асимптотически совпадает с обычной локальной оценкой потока, при приближении точки столкновения к детектору оценка всегда остается ограниченной и, следовательно, обладает конечной дисперсией [1,2].

Правильность выбранных решений подтверждается практическим опытом использования результатов в разработках систем измерения характеристик поля гамма-излучения вблизи границы раздела двух сред типа «воздух – конденсированная среда», а также результатами их испытаний, сравнением с результатами расчетов, выполненных по другим программам, а также данными, известными по открытой литературе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоруков А.И., Хисматов И.Ф., Новиков И.Э. Основы теории аэрокосмического радиационного мониторинга Земли. Ч. 1. Физические основы радиационного дистанционного зондирования Земли. М.: Изд-во ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2011. 312 с.
2. Новиков И.Э. Пакет программ математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения систем авиационного радиационного мониторинга // Научно-технический и производственный журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий» № 8, 2013 С.16-21.



## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА CON-X 02 НА ГОРНО-ДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Хасыкова Е.И., Тутов В.Л., Соколов А.Д.*  
**Baltic Scientific Instruments, Рига, Латвия**

В данном докладе анализируются возможности применения поточного рентгенофлуоресцентного анализатора CON-X на предприятиях горно-добывающей и перерабатывающей промышленности.

Благодаря своему основному достоинству – способности выполнять непрерывный анализ материала непосредственно в потоке, анализатор может быть с успехом применен во многих производственных процессах – сортировке руды, оценке качества входного сырья, оптимизации процессов флотации, контроле качества выходного продукта.

В докладе приведены реальные производственные задачи, решенные с помощью поточного рентгенофлуоресцентного анализа и обсуждены особенности и результаты, полученные в каждой из данных задач.



**Рис.1.** Анализатор CON-X 02 на фабрике Henorikaste (Kemi, Finland)

## СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Антонов А.В., Антонов В.И., Барченко А.Г., Быстров Е.В., Кожемякин В.И., Лукашевич Р.В.*

**Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск**

Необходимость контроля за радиационной обстановкой на объектах ядерного цикла, таких как АЭС, хранилища отработавшего ядерного топлива и т.д., а также в районах воздействия потенциальных источников радиоактивного загрязнения является неизменно актуальной темой для исследований и разработок. При этом часто возникает необходимость исследования и контроля захоронений ядерных материалов с неизвестным радионуклидным составом в жестких условиях эксплуатации. Для решения такого рода задач предприятием «АТОМТЕХ» была разработана серия спектрометрических блоков детектирования (БД) в защищенных корпусах.

В данной серии БД в качестве детектора применяется сцинтиллятор NaI(Tl). Разработано четыре типа конструкции с применением детекторов размером  $\varnothing 63 \times 63$  мм,  $\varnothing 40 \times 40$  мм,  $\varnothing 25 \times 40$  мм,  $\varnothing 25 \times 16$  мм. Варианты исполнения определяются исходя из поставленных задач: получение более широкого диапазона измеряемой мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МД) или более высокой чувствительности каждым отдельным блоком соответственно.

Таблица 1 – Описание интерфейсов подключения БД к ПК.

Интерфейс	Особенности	Примечание
RS-485	<ul style="list-style-type: none"><li>• Подключение до 32-х БД в сеть.</li><li>• Длина линии связи до 1000 м.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Внешний источник питания от +7В до +32В.</li><li>• Связь с ПК через интерфейсный адаптер RS-485/USB или RS-485/Ethernet</li></ul>
RS-232	<ul style="list-style-type: none"><li>• Длина линии связи до 8 м.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Связь с ПК через интерфейсный адаптер.</li><li>• Питание от порта USB.</li></ul>
USB	<ul style="list-style-type: none"><li>• Прямое подключение БД к ПК</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Питание от порта USB.</li></ul>

Основные характеристики блоков детектирования представлены в таблице 2.

Корпуса приборов разработаны специально с учетом сложных условий эксплуатации. БД могут устанавливаться: в скважинах, на внешних стенах зданий, на открытой местности или погружаться в воду на глубину до 50-ти метров. Для подключения БД к компьютеру предусмотрены несколько возможных интерфейсов.

Таблица 2 - Основные параметры БД.

Параметр	Блок детектирования			
	БДКГ-201М	БДКГ-203М	БДКГ-205М	БДКГ-211М
Детекторы	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø25×16 мм;	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø25×40 мм;	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø40×40 мм;	Сцинтилляционный, NaI(Tl) Ø63×63 мм;
Энергетический диапазон	20 кэВ – 3000 кэВ			
Типовое относительное энергетическое разрешение по <sup>137</sup> Cs	9 %	8 %	7,5 %	7,5 %
Диапазон измерения амбиентной мощности эквивалента дозы	0,01 – 1000 мкЗв/ч;	0,01 – 500 мкЗв/ч;	0,01 – 300 мкЗв/ч;	0,01 – 150 мкЗв/ч;
Основная относительная погрешность измерений	Мощности дозы гамма-излучения не более ±20 %			
Чувствительность детектора NaI(Tl)	<sup>241</sup> Am: 1400 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>137</sup> Cs: 165 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>60</sup> Co: 80 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup>	<sup>241</sup> Am: 3600 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>137</sup> Cs: 400 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>60</sup> Co: 190 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup>	<sup>241</sup> Am: 5400 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>137</sup> Cs: 800 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>60</sup> Co: 420 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup>	<sup>241</sup> Am: 13900 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>137</sup> Cs: 2450 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup> ; <sup>60</sup> Co: 1300 имп·с <sup>-1</sup> ; 1/мкЗв·ч <sup>-1</sup>
Количество каналов АЦП	1024			
Диапазон рабочих температур	От -40°С до +55°С			
Степень защиты	IP68			
Габаритные размеры	Ø68×300 мм	Ø68×320 мм	Ø68×320 мм	Ø90×350 мм
Масса	1 кг			2 кг

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ИДЕНТИФИКАТОРОВ РАДИОНУКЛИДОВ МКС – АТ6102 И МКС – АТ1321 С ЦЕЛЬЮ РАСШИРЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

*Быстров Е.В., Ничопорчук А.О., Тищенко С.Н., Толкачев А.Н., Чирикало В.А.*  
Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
Республика Беларусь, Минск

Ранее предприятием «АТОМТЕХ» разработаны (в соответствии требованиям МАГАТЭ) и выпускаются приборы МКС – АТ6102, МКС – АТ6102А, которые относятся к классу приборов RIDs (radionuclide identifications devices), и МКС – АТ1321 к классу приборов SPRD (spectroscopy personal radiation detectors). Приборы содержат гамма – спектрометрические каналы на детекторах NaI(Tl) (40x40 мм для МКС – АТ 6102, 25x40 мм для МКС – АТ1321), а также счетчиком Гейгера – Мюллера. В модификации МКС – АТ6102 используется два пропорциональных гелиевых счетчика медленных нейтронов в полиэтиленовом замедлителе для оценки скорости счета нейтронов.



**Рис 1.** МКС – АТ6102 и МКС – АТ1321

В 2014 году была проведена модернизация приборов, которая включила в себя преобразование шкалы АЦП в 1024 канала (МКС – АТ6102), повышен предел максимальной входной статистической загрузки, добавлены модули GPS, Bluetooth. Введена новая модификация прибора МКС – АТ6102В с кристаллом NaI(Tl) большего размера (40x80 мм) и соответственно большей чувствительности. Существенно переработан интерфейс управления прибором МКС – АТ6102. Проведена работа по исследованию параметров прибора МКС – АТ1321 с использованием ФЭУ различных производителей, улучшено энергетическое разрешение и эксплуатационные возможности.

Разработано новое ПО, для удобной работы пользователя с приборами, а также ПО для составления и исправления библиотек радионуклидов по набранным спектрам.

**AT6101DR GAMMA-SPECTROMETER FOR SOIL RADIATION CONTROL AND MONITORING BY "IN SITU" AS A RESULT OF BELARUS AND JAPAN COOPERATION IN OVERCOMING THE CONSEQUENCES OF THE ACCIDENT AT THE NUCLEAR POWER PLANT IN FUKUSHIMA**

*A. Zhukouski<sup>1</sup>, A. Nichyparchuk<sup>1</sup>, V. Chirikalo<sup>1</sup>, V. Guzov<sup>1</sup>, V. Kozhemyakin<sup>1</sup>, S. Kutsen<sup>2</sup>, A. Khrutchinsky<sup>2</sup>, M. Mogi<sup>3</sup>, K. Mogi<sup>3</sup>, T. Fukuhara<sup>4</sup>, T. Yajima<sup>4</sup>, H. Ishii<sup>5</sup>, V. Chudakov<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> **ATOMTEX Scientific and Production enterprise, Minsk, Republic of Belarus;**

<sup>2</sup> **Research Institute for Nuclear Problems, Minsk, Republic of Belarus;**

<sup>3</sup> **Rad-Solutions Co., Ltd., Sendai, Japan;**

<sup>4</sup> **Advanced Fusion Technology Co., LTD, Tokyo, Japan;**

<sup>5</sup> **Fukushima University, Fukushima, Japan;**

<sup>6</sup> **International Sakharov Environmental University, Minsk, Republic of Belarus**

Emergencies in nuclear fuel cycle plants result in radioactive contamination of environment. That is why one of radiation monitoring objectives is monitoring of soil contamination level affected by radioactive emissions.

"In situ" method on the basis of AT6101DR portable gamma spectrometer allows soil radiation monitoring and can be particularly used to measure activity of natural (<sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th) and industrial (<sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs) radionuclides, as well as to determine the depth of uniform soil contamination with industrial <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs radionuclides without sampling.

AT6101DR portable gamma spectrometer is a multi-function instrument, which consists of BDKG-11 spectrometric scintillation detection unit inside sealed container and a handheld PC with application software. It has measurement range of gamma radiation energy from 50 to 3000keV.

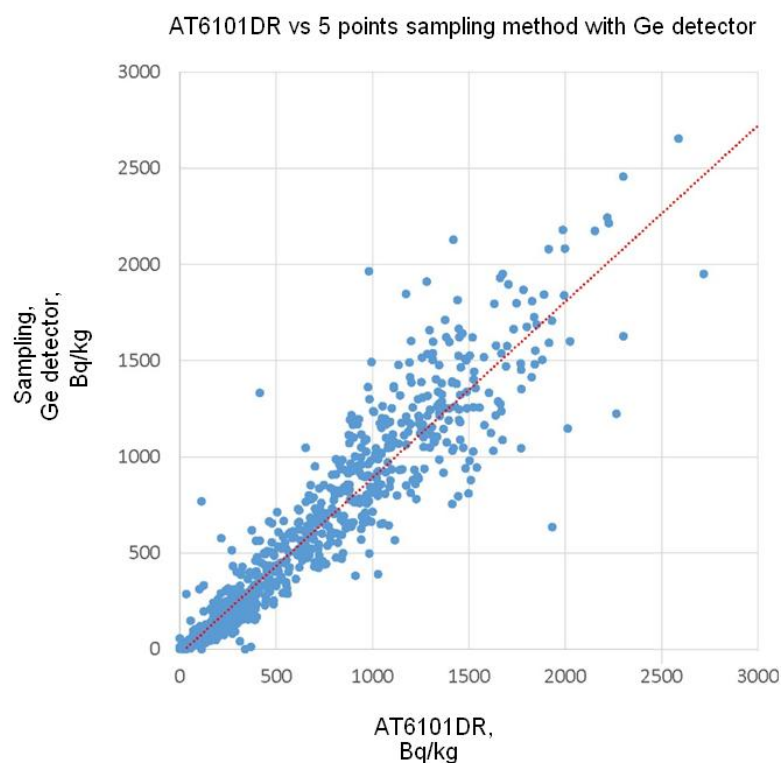
Simulation model of gamma-quanta transfer from soil to detector working medium and, simulation model of soil and of spectrometer's smart probe have been developed.

Results of mathematical simulation made it possible to calculate functional dependence between effective radiuses of soil (radius of soil area, which forms 90-95 % of the spectrometer's response function) and therefore to determine the spectrometer's sensitivity to monitored radionuclides depending on their depth in the soil. Instrument spectra for industrial <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs radionuclides are calculated for different depths (2 cm, 5 cm, 10 cm and 15cm).

Under condition of uniform contamination of soil the depth of monitored radionuclide in it is determined by the detector response function obtained in the process of mathematical simulation, which reproduces spectrum to the specified accuracy.

Validation of the developed mathematical models has been carried out in the Tohoku region, Japan and Vitebsk district, Belarus. Experimental studies of the radionuclides activity measuring in soil have been carried out using specified "standard" soil's areas in Fukushima and Volozhin.

Moreover, in 2014, Fukushima University and JA Chuo have been carried out additional measurements in approximately 1400 points of rice and fruit fields with unknown distribution in depth and activity level of <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs in Fukushima Prefecture over the entire area (Figure 1).



[Y axis: Results of measurements with Ge detector using 5 points sampling method]

Soil core diameter 5 cm and depth 15 cm were collected by 5 points per one field, measured by the Ge detector.

[X axis: Results of measurements with AT6101DR]

To determine the average value was measured at five locations per a field.

**Figure 1** Comparison results

Less than 30% variations between results of measurements with AT6101DR and those with Ge detector indicate a correctness of chosen methodology of measurements with AT6101DR.

**ГАММА-СПЕКТРОМЕТР АТ6101ДР ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПОЧВ  
МЕТОДОМ "IN SITU" КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕЛАРУСИ И ЯПОНИИ В  
ПРЕОДОЛЕНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА АЭС ГОРОДА ФУКУСИМА**

*Жуковский А.И.<sup>1</sup>, Ничипорчук А.О.<sup>1</sup>, Чирикало В.А.<sup>1</sup>, Гузов В.Д.<sup>1</sup>, Кожемякин В.А.<sup>1</sup>, Кутень  
С.А.<sup>2</sup>, Хрущинский А.А.<sup>2</sup>, М. Mogi<sup>3</sup>, К. Mogi<sup>3</sup>, Т. Fukuhara<sup>4</sup>, Т. Yajima<sup>4</sup>, Н. Ishii<sup>5</sup>, Чудаков  
В.А.<sup>6</sup>*

Представлено описание гамма-спектрометра АТ6104ДР, предназначенного для радиационного контроля почв методом "in situ". Изложены основные результаты экспериментальных и теоретических исследований метрологических параметров спектрометра.

# 6104DM GAMMA SPECTROMETER FOR RADIATION MONITORING WATER AREAS AND BOTTOM SEDIMENTS.

## RESULTS OF MATHEMATICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCHES

*A. Zhukouski<sup>1</sup>, V. Chirikalo<sup>1</sup>, V. Guzov<sup>1</sup>, V. Kozhemyakin<sup>1</sup>, S. Kutsen<sup>2</sup>, A. Khrutchinsky<sup>2</sup>, T. Fukuhara<sup>3</sup>, T. Yajima<sup>3</sup>, M. Mogi<sup>4</sup>, K. Mogi<sup>4</sup>, V. Chudakov<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> ATOMTEX Scientific and Production enterprise, Minsk, Republic of Belarus;

<sup>2</sup> Research Institute for Nuclear Problems, Minsk, Republic of Belarus;

<sup>3</sup> Advanced Fusion Technology Co., LTD, Tokyo, Japan;

<sup>4</sup> Rad-Solutions Co., Ltd., Sendai, Japan;

<sup>5</sup> International Sakharov Environmental University, Minsk, Republic of Belarus

In order to solve the problem of continuous or periodic monitoring of water areas affected by radioactive contamination in the result of scheduled emissions in nuclear power plants or in the result of emergency situations in nuclear fuel cycle plants we need to develop measurement instruments with advanced mathematic and program support to assess the level of radioactive contamination with required accuracy. We have developed and built AT6104DM multifunction gamma spectrometer for "in situ" radiation monitoring of water areas and bottom sediments.

This instrument and consists of spectrometric scintillation detection unit packed into sealed container with NaI(Tl) crystal of Ø63x63mm size, cable reel with deep-sea cable and a tablet PC for data processing and display. The container withstands static hydraulic pressure up to 1.5 MPa and can be used for measurements at depths of 500 m maximum. Detection unit measures energy distribution of gamma radiation with energy from 70 keV to 3000 keV.

In order to ensure high measurement consistency the spectrometer has integrated systems for continuous automatic LED stabilisation of energy scale and temperature compensation of measurement path. The spectrometer can be used for dosimetric, spectrometric and radiometric measurements at temperatures from -20°C to +50°C.

We used SNEGMONT software (Scattering of Neutrons, Electrons, Gamma by Monte-Carlo) to identify response function in defined measurement geometries and create Monte-Carlo simulation model of measurement of  $\gamma$ -radiating nuclide activity in water areas and bottom sediments (sludge).

Developed mathematical models of spectrometer and controlled objects make it possible to identify detector response function to predefined radionuclides in specified measurement geometries without physical volumetric measures of activity.

The implemented three-dimensional system to determine detection unit position and orientation allows automatic operation of the device (without operator) for water areas or bottom sediment scanning. The spectrometer can output measurement results with three-dimensional geographical coordinates as index maps of distribution with necessary resolution and accuracy.

In the result of theoretical researches have been calculated the response functions in the form of theoretical spectra of monitored radionuclides in definite measuring geometries. The results of mathematical modeling of the gamma emitting transfer process allowed to estimate with an acceptable accuracy the dimensions of the measurement object, in particular the critical radius - radius of contaminated sediments surface which provides 90-95 % of the response function. Theoretical spectra of radionuclides  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  allowed to develop an algorithm for monitored



radionuclides activity measuring by in situ method without information about radionuclides depth distribution in sediments.

Validation of the developed mathematical models has been carried out in the Tohoku region, Japan. Experimental studies of the radionuclides activity measuring in sediment have been carried out in irrigation ponds with sampling in points of measuring (Figure 1). The sampling has been given information about distribution in depth and activity level of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in sediments.



**Figure 1** Irrigation ponds. “In situ” measuring and sampling

Variations between results of measuring with AT6104DM and results of measuring samples with AT1320C at the level of 20-25% indicate an effective work of mathematic algorithms and calibration factors, and also, a correctness of chosen methodology of measurements with AT6104DM.

**АТ6104ДМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА  
АКВАТОРИЙ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ И  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Жуковский А.И.<sup>1</sup>, Чирикало В.А.<sup>1</sup>, Гузов В.Д.<sup>1</sup>, Кожемякин В.А.<sup>1</sup>, Кутень С.А.<sup>2</sup>, Хрущинский А.А.<sup>2</sup>, Т. Fukuhara<sup>3</sup>, Т. Yajima<sup>3</sup>, М. Mogi<sup>4</sup>, К. Mogi<sup>4</sup>, Чудаков В.А.<sup>5</sup>*

Представлено описание гамма-спектрометра АТ6104ДМ для радиационного контроля акваторий и донных отложений. Изложены основные результаты экспериментальных и теоретических исследований метрологических параметров спектрометра.



## ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Андреев А.И.<sup>1</sup>, Андреев И.И.<sup>1</sup>, Андреюк А.Н.<sup>1</sup>, Полев Д.И.<sup>1</sup>, Васильев С.К.<sup>2</sup>, Филимонов Р.С.<sup>2</sup>, Рудин Н.В.<sup>3</sup>, Чуваев С.В.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Россия, Саров*

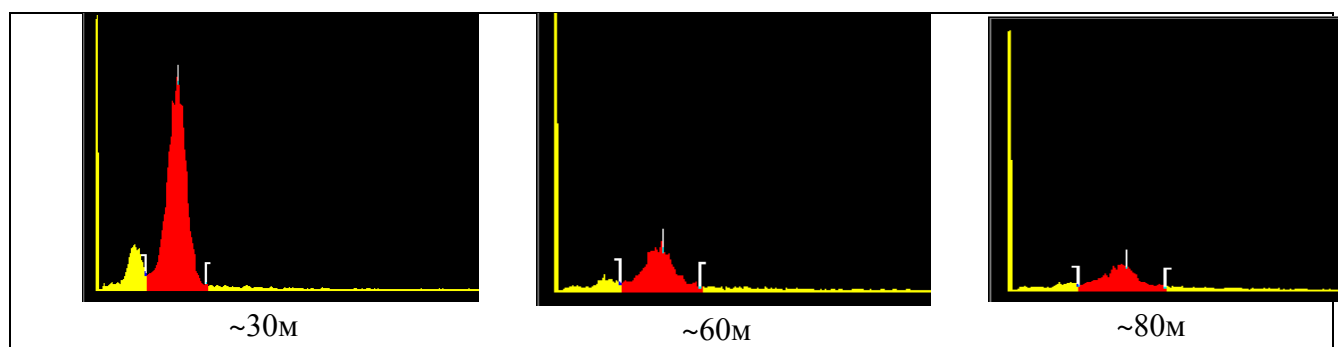
*<sup>2</sup>ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России», Россия, Санкт-Петербург*

*<sup>3</sup>АО «Научно-технический центр «Ядерно-физические исследования», Россия, Санкт-Петербург*

Методы поиска, локализации и идентификации ИИИ при радиационных авариях в большинстве своем основываются на измерениях энергетического спектра и мощности дозы фотонного (гамма- и рентгеновского) излучения. При этом сложность поиска ядерных материалов заключается в том, что фотонное излучение ЯМ характеризуется относительно низкой энергией и, как следствие, невысокой проникающей способностью. В частности выход фотонного излучения изотопов плутония находится преимущественно в области низких энергий: (11,6 – 20,8кэВ, ~4,5%). Решению данной задачи в некоторой степени способствует гамма-излучение <sup>241</sup>Am (59,5кэВ, ~ 35%), в относительно небольших количествах присутствующего в составе технического плутония.

В ряде случаев сцинтилляционный метод поиска плутониевых источников может быть более эффективным, если использовать детекторы на основе тонких сцинтилляторов NaI(Tl) с входными бериллиевыми окнами. В практике АТЦ ВНИИЭФ в некоторых измерительных системах, представленных ниже, нашли применение детекторы FIDLER (Field Instrument for the Detection of Low Energy Radiation).

1. В рамках Проекта МНТЦ №1559 был разработан аэрогамма-спектрометрический комплекс (АГСК) на базе детектора FIDLER модели Viscon с тонким сцинтиллятором диаметром 127мм, толщиной 1,6 мм и бериллиевым окном толщиной 0,25 мм. В качестве носителя аппаратуры использовался легкий 2-х местный самолет. Некоторые экспериментальные данные в виде гамма-спектров <sup>241</sup>Am (~ 10 ГБк), измеренных на высотах ~30, 60 и 80м при скорости ~80км, час, представлены на рис.1.



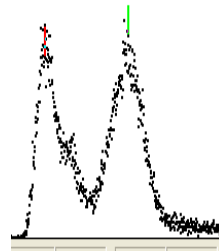
**Рис. 1** – Гамма-спектров <sup>241</sup>Am, полученные на разных высотах полета

2. Сканирующее устройство для обнаружения и локализации источников с низкой энергией гамма-излучения «СканС-Н» разработана в ФГУП АТЦ СПб, подробно рассматривалась на ППСР-12 и была отмечена призом. Результат поиска сканером «СканС-Н» отображается на фото с красными точками в местах расположения ИИИ. На рис. 2 приведен результат локализации ИИИ <sup>241</sup>Am при сканировании с расстояния ~ 50м.



**Рис. 2:** Гамма-сканер СканС-Н»: Локализация  $^{241}\text{Am}$  (5ГБк на 50м)

3. Портативная система сканирования низкоэнергетического фотонного излучения «СканС-НП» разработана для пешей радиационной разведки. Детектор FIDLER модели Vicron. Прибор может применяться со съемным коллиматором цилиндрической формы из кадмия толщиной 1,5мм и длиной 175мм, наличие которого позволяет значительно повысить оперативность процесса поиска источников излучения (рис.3).



**Рис. 3:** «СканС-НП»: спектр  $^{241}\text{Am}$

Все перечисленные системы находятся на оснащении Аварийно-технического центра ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и хорошо показали себя в ежегодных учениях и тренировках. В 2016 году планируется тестирование подобных систем на сцинтилляторах, отличных от NaI(Tl), а также установленных на беспилотных летательных аппаратах. Результаты будут представлены на следующем семинаре ППСР.

## РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

*Чуновкина А.Г., Бурмистрова Н.А.*

**ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Россия, Санкт-Петербург»**

В настоящее время сложилась ситуация, когда в отечественной метрологии используются оба подхода к выражению точности измерений, использующий характеристики погрешности и неопределенности измерений. Эта ситуация была зафиксирована и в новой редакции терминологического документа [1], где приведены характеристики точности измерений в рамках обоих подходов. В этой связи интересно отметить, что в 2011 году были внедрены документы по оценке неопределенности измерений [4-7] и в этом же году был актуализирован основной документ по обработке результатов измерений о оценке точности [2], который заменил ГОСТ 8.207. Подчеркнем, что в Дополнениях к Руководству по выражению неопределенности измерений [6,7] и особенно во Введении к нему [4], которые появились после основного документа [5] нет такого однозначного отрицания понятия «погрешности измерений» и оценивания погрешности измерений, как это содержится в [5]. Это справедливо и по отношению к проекту новой редакции [5], который был распространен для обсуждения Объединенным Комитетом по Руководствам в метрологии в конце 2014г и сейчас находится в стадии обсуждения.

Внедрение нормативных документов по неопределенности измерений в России связано, прежде всего, с выполнением требований к калибровочным и испытательным лабораториям [3], где регламентированы требования к указанию и вычислению соответствующих неопределенностей. На наш взгляд, можно дискутировать о сфере распространения неопределенности измерений [8], но в задачах калибровки эталонов и средств измерений можно констатировать, что неопределенность измерения нашла свое применение [9].

В докладе планируется дать представление о развитии подходов к оцениванию точности измерений на основе перечисленных документов, остановится на вопросах вычисления неопределенности измерений при калибровке и вопросах использования неопределенности измерений в тех случаях, когда на основе результатов калибровки требуется принять решения о соответствии метрологических характеристик эталонов/средств измерений установленным требованиям.

1. РМГ 29-2013 «Метрология. Основные термины и определения».
2. ГОСТ Р 8.736 – 2011 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения»
3. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 Общие требования к калибровочным и испытательным лабораториям
4. ГОСТ Р 54500.1-2011/ Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководство по выражению неопределенности измерения»
5. ГОСТ Р 54500.3-2011/ Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений
6. ГОСТ Р 54500.3.1-2011/ Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/ Дополнение 1: 2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности

измерений. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло

7. ГОСТ Р 54500.3.2-2013/ Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/ Дополнение 2: 2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин»

8. РМГ 91-09 «ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы

9. РМГ-115-11 «Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности»