

Тезисы докладов XIV Международного совещания «Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии», 4-6 октября 2017 г., г. Москва, - М.: НОЧУ ДПО «ЭкоСфера», с.74.

В сборнике опубликованы тезисы докладов, представленных на Международном совещании «Проблемы прикладной спектromетрии и радиометрии» (ППСР-2017), которое проходило в г. Москва с 4 по 6 октября 2017 года.

Доклады посвящены вопросам, связанным с разработкой и применением аппаратуры, программного, методического и метрологического обеспечения измерений параметров ионизирующих излучений.

Совещание организует и проводит группа наиболее известных предприятий, работающих в области регистрации и измерений параметров ионизирующих излучений.

Москва
2017

Оглавление

ТЕСТИРОВАНИЕ SpectraLineNM НА ВОЗМОЖНОСТЬ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРОМЕТРОВ СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ	5
В.Н. Даниленко, И.В. Кувыкин	
МОДЕРНИЗАЦИЯ НОСИМОГО КОМБИНИРОВАННОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА-РАДИОМЕТРА МКС-АТ1117М.....	7
В.Н. Вороньков, В.А. Кожемякин, В.И. Петров	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ.....	9
Р.В. Червяков, М.Н. Баев	
МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГЕРМЕТИЧНОГО ОГРАЖДЕНИЯ	
А.Г.Алексеев, П.А.Алексеев, Г.И.Бритвич, В.А.Пикалов	
«ЛСРМ СПОРО СТЕРЕО». МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПРОИЗВОЛЬНО РАСПРЕДЕЛЁННОЙ АКТИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В КОНТЕЙНЕРАХ.....	12
Ю.А.Андреев, В.Н.Даниленко, Н.С.Демина, Е.А.Ковальский, И.В.Кувыкин, Ю.В.Скубо, Д.А. Суворов, С.Ю.Федоровский, А.Ю. Юферов	
СЛИЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НА АЭС	14
А.Г. Алексеев	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ОБОРУДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ - РОЛЬ ТРЕНИРОВОЧНЫХ КУРСОВ ДЛЯ КОНЕЧНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ.....	16
С.В. Чуваев	
АППАРАТУРНОЕ, МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРАВЛЕННЫХ ЭКВИВАЛЕНТОВ ДОЗ	18
К. Нурлыбаев, Ю.Н. Мартынюк, С.В. Логинова	
ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ НА ОСНОВЕ LIF ДЛЯ ДОЗИМЕТРИИ В ПОЛЕ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ	23
М.В. Петриченко, С.И. Мельник, А.В. Репков, В.Я. Чудаев, Н.С. Шамакина, В.В. Экста	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕР ПО ПРЕСЕЧЕНИЮ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ	25
А.В. Борисенко, В.Н. Кустов, В.В. Темченко, Ю.В. Чубов, Ю.А. Белов	
ВЛИЯНИЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В АКТИВНЫЙ СЛОЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ПОГРУЖНОГО СПЕКТРОМЕТРА АТ6104DM.....	28
А.И. Жуковский, А.О. Ничипорчук, О.М. Аншаков, С.А. Кутень	

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТВОРИМЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ В ЖИДКОСЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ	29
И. В. Бурьяненко, А.Б. Рогозов, Б.И. Рогозов, Ю. А. Тычинкин, И.В. Алексеев, С. В. Сэпман, С. В. Малиновский, И. А.Каширин	
ПРОТОЧНЫЕ ЖИДКОСТНЫЕ РАДИОМЕТРЫ КОМПАНИИ LABLOGIC	31
С.С. Толстоухов, С.В. Трофимук, Т.В. Воронина, Д.Ю. Тугушева	
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕЙ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО МОЩНОСТИ ДОЗЫ ОТ 0,03 МКЗВ/Ч С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ- КОМПАРАТОРОВ	34
Р.В. Лукашевич, В.Д. Гузов, Ю.А. Верхуша, В.А. Кожемякин	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА И РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ.....	37
И.Э. Новиков	
РАДИОМЕТР АЛЬФА-БЕТА-АКТИВНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ «ФОСВИЧ» ДЕТЕКТОРА	40
Д.В. Горшков, В.А. Кожемякин, Е.А. Коновалов, Ю.Е. Турончик	
СЕМЕЙСТВО СЗТ-ГАММА-ВИЗОРОВ Polaris-N/HQ/Shield ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА АЭС.....	42
И.С. Бредихин	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАНОВКИ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ $4\pi(\alpha,\beta)\text{-}\gamma$ СОВПАДЕНИЙ	43
И.В. Кувыкин, С.М.-Ш. Цуриев	
НЕЗАВИСИМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	44
В.А. Кожемякин, Е.В. Быстров, А.Н. Новик, П.В. Кучинский	
ДЕТЕКТОРЫ КОПЛАНАРНОЙ, СТРИПОВОЙ И ПИКсельНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ CdZnTe.....	45
И.М. Газизов, А.А. Смирнов, В.С. Хрунов, В.Г. Федорков	
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРОДУКЦИЯ ЗАО «НПЦ «АСПЕКТ».....	46
Докладчик: А.В. Прохоров	
ПОЛЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЗАХВАТНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭНЕРГИЕЙ ДО 10 МэВ	48
Д.И. Комар, В.Д. Гузов, Р.В. Лукашевич, В.А. Кожемякин, С.А. Кутень	
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕСТА СЦИНТИЛЛЯЦИИ В ГАММА-КАМЕРЕ С ГЕКСАГОНАЛЬНЫМИ ФЭУ	51
Н.В. Помошников, Н.В. Рудин	
ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ МЕТОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕТЕКТОРОВ ИЗ ОЧГ (ОСОБО ЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ) ДЛЯ АНАЛИЗА ЗОЛОТОСОДЕЖАЩИХ РУД.....	53
А.Д. Соколов Ю. Н. Бурмистенко, В.В. Гостило, В.Л. Титов	
ДАТЧИКИ РАДИАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ АЭРОГАММА-СЪЕМКИ.....	56
В.А. Кожемякин, В.П. Полищук	

МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТЕЙ СМЕСИ РАДИОНУКЛИДОВ С РАЗНЫМИ УРОВНЯМИ ОБНАРУЖЕНИЯ.....	58
В.Н. Аваев, А.И. Яшников, Е.Ю. Гахова, В.Н. Даниленко, С.Ю. Федоровский, И.В. Кувькин	
СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВЕЖЕГО ТОПЛИВА VeryFuel.....	60
И.С. Бредихин	
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СУ-07ЦА С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА (РАЗРАБОТКА ЗАО «НПЦ «АСПЕКТ»).....	61
К.А.Зацепин, А.С.Калинин, А.П.Марков, А.Н Пугачёв	
СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ ГЭТ6-2016	63
И.В. Алексеев, А.В. Заневский, Г.В. Жуков, С.В. Сэмпан, Т.И. Шильникова, Е.Е. Терещенко, С.Г. Трофимчук, И.А. Харитонов	
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	66
В.Д. Гузов, В.А.Кожемякин, В.А. Николаев, В.Л. Раскоша, К.Г. Сеньковский, В.В. Храмов	
СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ В АО «ИФТП»	69
И.М. Газизов, А.А. Смирнов, В.Г. Федорков, В.С. Хрунов	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЯДЕРНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ.....	71
В.А. Кожемякин	
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ.....	73
А.С. Коротков, А.В. Положенцева, О.Н. Колерова, В.Ф. Ельцин, А.К. Чураков	

ТЕСТИРОВАНИЕ SpectraLineNM НА ВОЗМОЖНОСТЬ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРОМЕТРОВ СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ

В.Н. Даниленко¹, И.В. Кувыкин²

¹ООО «ЛСРМ», Зеленоград, Россия

²ФГУП «ВНИИФТРИ», п. Менделеево, Россия

Как правило, анализ ЯМ осуществляется с помощью HPGe – спектрометров. В то же время гамма-спектрометры среднего разрешения (спектрометры с детекторами на основе LaBr и CdZnTe) являются перспективным инструментом для анализа ядерных материалов, особенно в случае измерений *in situ*. Их преимуществами над гамма-спектрометрами высокого разрешения являются работа при комнатной температуре, большая компактность, дешевизна.

Сличения «Isotopic Analysis with Medium Resolution Gamma-Ray Spectrometers (MRGS)», проводимые МАГАТЭ, направлены на анализ существующего программного обеспечения по обработке спектров ЯМ детекторами среднего разрешения. ЛСРМ приняло участия в этих сличениях. На первом этапе сличений были представлены спектры от неэкранированных образцов урана с обогащением от 0,3 % до 5 % и массой 170 г, а также спектры образцов плутония с содержанием ²³⁹Pu от 60 до 93 %, массой от 0.5 г до 5 г. Спектры с высоким содержанием ²⁴¹Am экранировались 3 мм стали.

Основными проблемами анализа ЯМ методом гамма-спектрометрии являются:

- учёт самопоглощения гамма-излучения в материале образца,
- сложный спектр ЯМ с большим количеством интерферирующих линий.

В SpectraLineNM реализован метод относительных эффективностей, когда эффективность регистрации рассчитывается по хорошо разрешённым линиям радионуклидов образца с учётом их соотношения интенсивностей и согласования кривых эффективности от разных радионуклидов.

Один из алгоритмов SpectraLineNM реализует модель источника неизвестной толщины из известного материала, закрытого контейнером или

фильтром из известного материала неизвестной толщины. Эффективность (ε) такого источника, находящегося на расстоянии r от детектора, может быть приближённо записана как

$$\varepsilon = \varepsilon_{point} \left(\frac{r_{point}}{r} \right)^2 e^{-\mu_c \rho_c t_c} \frac{1 - e^{-\mu_s \rho_s t_s}}{\mu_s \rho_s t_s},$$

где ε_{point} – эффективность от точечного источника на расстоянии r_0 ,

μ_c, ρ_c, t_c – массовый коэффициент ослабления, плотность и толщина материала контейнера или фильтра,

μ_s, ρ_s, t_s – массовый коэффициент ослабления, плотность и толщина материала источника.

Неизвестные толщины подбираются численно с помощью минимизации отклонения экспериментальной эффективности от расчётной. Такой метод позволять вычислять не только изотопные содержания в ядерных материалах, но и оценивать массу изотопов урана или плутония.

В результате анализа спектров с помощью SpectraLineNM было получено, что измерение CdZnTe детектором обеспечивает определение обогащения урановых образцов и массовой доли ^{239}Pu с погрешностью менее 10 %. С помощью детектора LaBr обогащение урановых образцов можно определять с погрешностью менее 50 %, а массовую долю ^{239}Pu с погрешностью менее 15 %. Оценка массы урана и плутония обоими детекторами возможна с точностью не хуже 50 %.

МОДЕРНИЗАЦИЯ НОСИМОГО КОМБИНИРОВАННОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРА-РАДИОМЕТРА МКС-АТ1117М

В.Н. Вороньков, В.А. Кожемякин, В.И. Петров

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

В докладе представлены материалы, отражающие результаты модернизации многофункционального дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М производства УП «АТОМТЕХ» в период 2014-2017 гг.

Традиционно дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М состоит из блока обработки информации БОИ (БОИ2) и подключаемых к нему блоков детектирования для измерения AMBIENTНОГО эквивалента дозы и мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы рентгеновского, гамма- и нейтронного излучения, поверхностной активности и плотности потока альфа- и бета-частиц с загрязненных поверхностей, а также плотности потока нейтронов. Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М выпускается с 2004 года и используется специалистами более чем в 50 странах мира.

За период 2014-2017 гг. были разработаны и введены в состав прибора блоки детектирования гамма-излучения БДКГ-24 и БДКГ-30. В настоящее время проходит государственные испытания блок детектирования БДКГ-32. Перечисленные блоки детектирования выполнены на основе сцинтилляционного пластика, характеризуются высокой чувствительностью, хорошей анизотропией и широким диапазоном измерения мощности дозы. Разработаны и проходят государственные испытания блоки детектирования альфа-излучения БДПА-03 и бета-излучения БДПБ-03. Данные блоки детектирования имеют активную поверхность детектора 300 см², обладают высокой чувствительностью и позволяют более эффективно и быстро осуществлять контроль загрязненности поверхностей альфа- и бета-излучающими радионуклидами. Вводится в состав прибора блок высокочувствительный блок детектирования нейтронного излучения БДКН-05.

Также в настоящее время в составе МКС-АТ1117М в качестве аналога блока обработки информации БОИ (БОИ2) потребителю предлагается использование водопыленепроницаемого противоударного карманного персонального компьютера Nautiz X8. Реализована возможность ручной либо автоматической записи не менее 10000 результатов измерений с GPS-

привязкой, а также импорта данных на персональный компьютер для последующего анализа и обработки в экспертном ПО «GARM». При использовании специального адаптера BT-DU4 обеспечивается возможность передачи результатов измерений из блока детектирования в карманный персональный компьютер на расстояние до 10 м по радиоканалу Bluetooth.

Принятые и внедренные технические решения позволили выйти на создание дозиметра-радиометра МКС-АТ1120 – нового высокочувствительного прибора для поиска и быстрого обнаружения радиоактивных материалов и источников низкой активности. Информация от сцинтилляционного блока детектирования БДКГ-11М или БДКГ-05М поступает на КПК Nautiz X8. В расширительный элемент КПК встроен счетчик Гейгера-Мюллера, который служит для расширения диапазона измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения.

Прибор характеризуется широким энергетическим диапазоном регистрируемого излучения – от 20 кэВ до 7 МэВ. Наличие функции автоматического расчета средневзвешенной энергии позволяет определить среднюю энергию фотонного излучения при измерении мощности дозы. Реализован вариант исполнения с добавлением функции идентификации радионуклидов. Использование КПК позволяет отображать результаты измерения с GPS-привязкой, производить запись данных сканирования для последующего анализа в специальном прикладном программном обеспечении, а также передавать данные на удаленный сервер непосредственно во время работы.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Р.В. Червяков, М.Н. Баев

ФГУП «НИТИ им. А.П.Александрова», Сосновый Бор, Россия

Стабильность характеристик гамма-спектрометров особенно важна при использовании их в задачах радиационного технологического контроля, когда требуется обеспечить представительность контроля и идентификацию реперных радионуклидов на фоне присутствия значительного количества побочных радионуклидов различного происхождения. Успешность решения такого рода задач в значительной степени зависит от стабильности характеристик применяемых спектрометрических систем, с учетом необходимости длительной непрерывной работы в условиях изменяющихся внешних воздействующих факторов и возможного изменения самих контролируемых параметров в широких пределах.

Ключевым элементом, влияющим на эффективность решения указанной задачи является спектрометрический измерительный тракт (спектрометрический анализатор), обеспечивающий работу используемого в составе системы блока детектирования высокого разрешения и выполняющий функции обработки и амплитудно-цифрового преобразования полезного сигнала детектора.

В докладе представлены результаты определения и сравнительный анализ основных характеристик гамма-спектрометрических систем, построенных на базе полупроводникового детектора GMX20P4-70-A-ST («Ortec», США) и анализаторов наиболее известных отечественных и зарубежных производителей («Аспект», «РАДЭК», «Greenstar», «Ortec», «Canberra»).

Полученные результаты позволяют оценить и оптимизировать выбор технических средств при проектировании и создании спектрометрических систем исходя из целей и условий их применения.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГЕРМЕТИЧНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

А.Г.Алексеев¹, П.А.Алексеев¹, Г.И.Бритвич², В.А.Пикалов¹

¹ООО «АтомПромИнжиниринг», Протвино, Россия

²НИЦ «Курчатовский институт»-ГНЦ ИФВЭ, Москва, Россия

При пуске новых энергоблоков АЭС в перечне обязательных испытаний входит проверка эффективности биологической защиты герметичного ограждения. Элементы локализирующей системы герметичного ограждения, которые подвергаются испытаниям – это сама бетонная оболочка (толщиной до 1,2 м и более), герметичные кабельные и технологические (трубные проходки), шлюзы для персонала, транспортные люки. Были разработаны две методики измерения, позволяющие выполнять эти испытания:

- Методика основанная на определении кратности ослабления гамма квантом ^{192}Ir , с последующим пересчетом на кратность ослабления гамма квантов с энергией 1,25 МэВ.
- Методика основанная на регистрации гамма излучения от нейтронного источника $^{239}\text{Pu-Be}$.

Особенности этих методик приведены в таблице.

Методика с ^{192}Ir	Методика $^{239}\text{Pu-Be}$.
Проверяется биологическая защита с кратностью ослабления до 10^6 для гамма-квантов ^{192}Ir . Максимальная активность источника ^{192}Ir – 100...120 Ки (ограничение для устройства ГАМАРИД 120/192).	Проверяются толстые защиты (бетонные, или комбинированных железобетон) с кратностью ослабления 10^5 и выше (для гамма квантов с энергией 1,25 МэВ). Используемый источник- до $5 \cdot 10^7$ н/с.
Используется дозиметр гамма-излучения. Измеряется мощность дозы от гамма-квантов ^{192}Ir .	Используется спектрометр гамма-излучения. Измеряется спектр гамма квантов (амплитудный спектр) с энергией выше 2,5 МэВ. Определяется сплошность защиты (отсутствие полостей и дефектов).
Используются расчетные данные для	Используются расчетные данные для

<p>характерных геометрий защит для пересчета кратности ослабления гамма-квантов ^{192}Ir к кратности ослабления гамма-квантов с энергией 1,25 МэВ.</p>	<p>характерных геометрий защит для пересчета кратности ослабления гамма-квантов с энергией 4,4 МэВ к кратности ослабления гамма квантов от ТВС.</p>
--	---

На рис. 1 приведена расчетная зависимость для одной из геометрий защит для пересчета кратности ослабления гамма-квантов ^{192}Ir к кратности ослабления гамма-квантов с энергией 1,25 МэВ. На рис.2 приведен спектр гамма квантов (амплитудный спектр) от нейтронного источника за бетонной защитой 1 м.

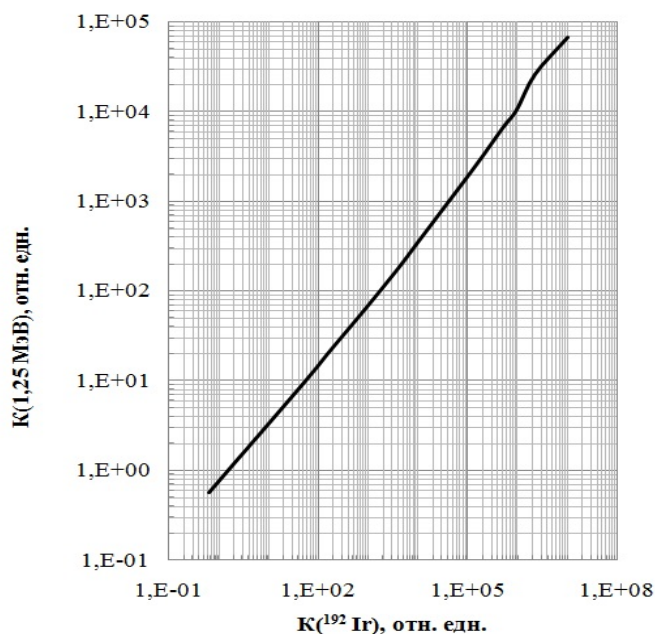


Рис.1. Расчетная зависимость для одной из геометрий защит для пересчета кратности ослабления гамма-квантов ^{192}Ir к кратности ослабления гамма-квантов с энергией 1,25 МэВ.

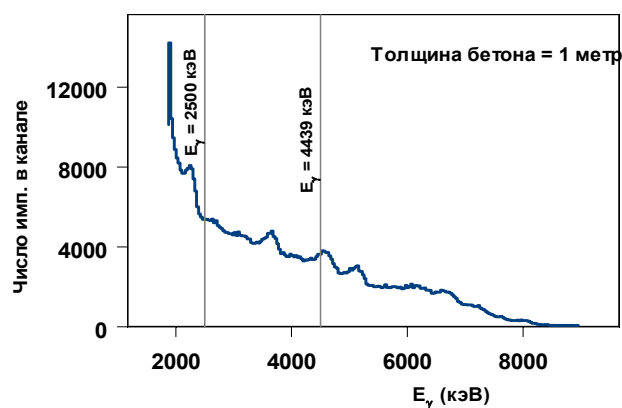


Рис.2. Спектр гамма-квантов (амплитудный спектр) от нейтронного источника за бетонной защитой 1 м.

«ЛСРМ СПОРО СТЕРЕО».
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПРОИЗВОЛЬНО РАСПРЕДЕЛЁННОЙ
АКТИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В
КОНТЕЙНЕРАХ

Ю.А.Андреев, В.Н.Даниленко, Н.С.Демина, Е.А.Ковальский,
¹⁾И.В.Кувыкин, Ю.В.Скубо, Д.А.Суворов, С.Ю.Федоровский,
А.Ю. Юферов

ООО «ЛСРМ», Зеленоград, Россия

¹⁾ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Россия

Равномерное распределение активности не всегда имеет место в реальных объектах измерения. При лабораторных измерениях неравномерность стараются уменьшить путем измельчения и перемешивания проб. В случае прямых измерений неподготовленного образца приходится делать априорные предположения (зачастую необоснованные) о характере распределения активности. Чаще всего предполагается равномерное распределение активности, для которого и определяется эффективность регистрации. Т.к. эффективность регистрации зависит от распределения активности, то и отличие реального распределения от предполагаемого приводит к искажению результатов измерения активности. Наиболее сильно это проявляется в объектах большого объема, таких, как контейнеры с РАО.

В[1] нами был представлен подход, заключающийся в представлении объекта измерения в виде суммы нескольких объектов со своими значениями активности. Значения активности объектов могут быть получены из анализа результатов измерения в нескольких точках измерения, если известны эффективности регистрации от составных частей объекта. Этот подход был формализован в виде «Методики измерений произвольно распределённой активности гамма-излучающих радионуклидов в контейнерах с помощью гамма - спектрометрического комплекса с программным обеспечением «ЛСРМ СПОРО Стерео».

Состав «ЛСРМ СПОРО Стерео»:

- EffMaker – моделирование объекта измерения, расчет эффективности регистрации;
- SpectraLineHandy (Ultimate) – сопряжение с устройствами детектирования, накопление и обработка спектров;

- Stereo – модуль для расчета активности образца, измеренного из нескольких точек;
- SPORO – модуль для определения категории РАО;
- Shiva – программа для выполнения измерений по заданному сценарию.

1. Гамма-спектрометрические измерения активности больших объектов в случае ее неоднородного распределения. В.Н.Даниленко и др. тезисы XII Международного совещания ППСР-2011, стр 72.

СЛИЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НА АЭС

А.Г. Алексеев

ООО «АтомПромИнжиниринг», Протвино, Россия

В международной и отечественной практике межлабораторные сличительные испытания (МСИ) рассматриваются как действенный инструмент для оценки качества проведения измерений в лабораториях радиационного контроля, выявления причин недостоверных результатов и выработки корректирующих мероприятий. В зарубежной практике МСИ средств измерения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК), как правило, проводятся регулярно. В отечественной практике так же есть определенный опыт в проведении таких сличений. В данной работе представлены результаты сличения средств индивидуального дозиметрического контроля хронического облучения персонала на АЭС концерна Росэнергоатом, которые было проведено в 2015г.

В сличении участвовали:

- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Калининская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Балаковская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Новоронежская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Курская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Ростовская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Билибинская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Ленинградская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Смоленская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Белоярская АЭС
- Филиал ОАО «Концерна Росэнергоатом» - Кольская АЭС

Каждый участник высылал в адрес организатора сличения по 35 шт. дозиметров. Дозиметры облучались на эталонной базе ФГБУ ВНИИФТРИ.

Облучение проводилось:

- На Государственном первичном эталоне единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучений **ГЭТ 38-2011**, (радионуклидный источник – ^{60}Co);
- на вторичном эталоне (радионуклидный источник – ^{137}Cs);

- в рассеянном поле излучения гамма-квантов от источника ^{60}Co .

Облучение было выполнено в трех диапазонах доз:

- -значение эквивалента дозы гамма излучения от естественного гамма фона за 3 месяца (0,25-0,3 мЗв);
- значение эквивалента дозы близкое к дозовому пределу за 3 месяца для категории А (4- 5 мЗв);
- значение эквивалента дозы близкое к верхнему диапазону измерений (0,8-0.9) (для тех систем у которых верхний диапазон составляет 1 Зв). и (8-9 Зв).

В Методических указаниях МУ 2.6.1.016 – 2000 приведены требования по безусловно приемлемой относительной неопределенности оценки значений дозиметрических величин. При дозах D близких к дозовому пределу должно выполняться условие: $-30\% < U/D - 1 < +50\%$, где U - суммарная неопределенность результата измерений. Данному критерию не удовлетворили 2 участника (из 13-ти). У 6-ти участников основной вклад в погрешность дала калибровка (систематическое отклонение результатов измерений). У 5-ти участников измерительная система имела значительную нелинейность в верхнем диапазоне измерений (от 1 до 10 Зв). Это недопустимо, так как измерительные системы ИДК должны перекрывать аварийный диапазон доз до 10Гр. Нужно отметить, что стандартные процедуры поверки не позволяют выявить данные проблемы (все средства измерения участников были поверены).

Программа сличения не включала (как это делалось в других аналогичных сличениях) облучение в поле рентгеновского излучения, дополнительного облучения в поле жесткого бета излучения или нейтронного излучения, хотя в практике радиационного контроля (включая ИДК на АЭС), такие условия облучения встречаются. Тем не менее, даже такая не широкая по типам испытаний программа сличения, показала «тонкие» места, на которые лабораториям ИДК нужно обратить внимание. И, безусловно, такие сличения необходимо проводить чаще, хотя бы раз в 3-5 лет.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРОДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ОБОРУДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ - РОЛЬ ТРЕНИРОВОЧНЫХ КУРСОВ ДЛЯ КОНЕЧНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

С.В. Чуваев

АО «Научно-технический центр «Ядерно-физические исследования», Санкт-Петербург, Россия

Для оборудования радиационного контроля, используемого в целях обеспечения ядерной безопасности, важнейшими характеристиками являются надежность, стабильность в работе, ремонтоспособность, продолжительный жизненный срок эксплуатации системы. В обеспечении этих показателей помимо качества, гарантированного производителем, очень важную роль имеет культура эксплуатации и обслуживания оборудования на месте использования. Персонал, использующий и обслуживающий оборудование радиационного контроля должен обладать необходимыми знаниями о принципах работы, устройстве и обслуживании. В связи с этим проведение качественного обучения и тренинга конечного персонала играет принципиальное значение.

В настоящей работе обобщается опыт проведения тренингов персонала, эксплуатирующего и обслуживающего оборудование радиационного контроля, как на предприятиях РФ, так и в рамках программ МАГАТЭ по оснащению государств участников оборудованием радиационного контроля. Показана необходимость проведения обучения персонала на разных уровнях:

- ✓ Обучение офицеров первой линии (операторов) – реакция на сигналы тревоги, вырабатываемые оборудованием, первичное отделение “невинных тревог”, вызванных природными или медицинскими изотопами;
- ✓ Обучение обслуживающего персонала – проведение текущего обслуживания, возможная замена неисправных модулей из комплекта ЗИП;
- ✓ Углубленное теоретическое и практическое обучение с предоставлением обучающимся всей технической документации, включая электрические схемы, позволяющей проводить любой ремонт без привлечения представителей производителя.

Оценивается влияние качества процесса обучения на эффективность результатов.

В учебном процессе помимо лекций и наглядного материала (презентации, видеокурсы) необходимо использовать технические средства – реальные узлы оборудования конкретного производителя, позволяющие воспроизвести возможные неисправности и практическое обучение персонала в их устранении. Специально для целей обучения разработаны портативный учебный монитор, различные стенды, программное обеспечение.

Опыт «НТЦ «ЯФИ» в проведении обучения персонала конечных пользователей показывает его исключительную эффективность для использования оборудования и продления срока его жизнеспособности. В качестве примера – на одном из объектов Росатома в 1999-2000 гг была введена в эксплуатацию система радиационного контроля, включающая в себя порядка 20 радиационных портальных мониторов. В связи с окончанием назначенного срока эксплуатации в 2010 г была проведена инспекция состояния оборудования и принято решение о модернизации.

В ходе модернизации проведена замена фотоэлектронных умножителей, части электронных схем, обновлено программное обеспечение. Наиболее дорогостоящие элементы мониторов (фундаменты, корпуса, защитные элементы, чувствительные датчики гамма и нейтронного излучения) остались в работоспособном состоянии. После модернизации оборудование показало уровень работоспособности не хуже первоначального, при этом эксплуатация велась непрерывно и круглосуточно в достаточно сложных климатических условиях (перепад температур от минус 40 до плюс 40 градусов Цельсия). Экономия средств по сравнению с полной заменой мониторов на новые составила как минимум 60%. До сих пор оборудование находится в работоспособном состоянии.

Основной причиной столь успешной эксплуатации и реального продления жизненного цикла оборудования мы видим грамотное обслуживание техники, своевременное проведение профилактических и регламентных работ силами персонала, прошедшего первичное обучение, а также проведение регулярных тренингов.

АППАРАТУРНОЕ, МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРАВЛЕННЫХ ЭКВИВАЛЕНТОВ ДОЗ

К. Нурлыбаев¹, Ю.Н. Мартынюк², С.В. Логинова³

¹ кандидат технических наук, главный научный сотрудник, ООО НПП
«Доза», Россия, Москва

² кандидат физико-математических наук, главный конструктор, ООО НПП
«Доза», Россия, Москва

³ кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра радиационной
гигиены РМАПО, Россия, Москва

¹E-mail: kubesh@doza.ru

²E-mail: martin@doza.ru

³E-mail: lsv_lsv@inbox.ru

Введение¹

До последнего времени существовал серьезный недостаток дозиметрии в РФ заключающийся в отсутствии признанной международным сообществом операционной дозовой величины – направленного эквивалента дозы. В 2016г. утверждены Методические указания ГК "Росатом" вводящие операционную величину – направленный эквивалент дозы. Целью настоящего доклада является определение функции данной величины в дозиметрии внешнего облучения и обсуждение проблем аппаратурного, метрологического и методического обеспечения ее измерений.

Функции направленного эквивалента дозы в дозиметрии внешнего облучения

Направленный эквивалент дозы $H'(d, \Omega)$ в точке поля излучения — это эквивалент дозы, которая формируется широким полем в стандартной сфере МКРЕ на глубине d по радиусу, ориентированному в данном направлении Ω . Функции амбиентного и направленного эквивалента дозы в дозиметрии внешнего облучения похожи: направленные эквиваленты дозы играют в контроле доз кожи, кистей рук, ступней ног и хрусталика глаза такую же

¹ Все документы на которые идут ссылки в докладе разработаны до 2011г., т.е. до изменения дозового предела для хрусталика глаза с 150 мЗв до 20 мЗв в год, поэтому там, где надо сослаться на эквивалентные дозы в хрусталике глаза и в коже, идет ссылка только на дозу в коже, т.к. до изменения дозового предела для хрусталика глаза считалось, что дозовый предел для дозы в коже служит ограничивающим фактором также и для дозы в хрусталике.

роль, какую играет амбиентный эквивалент дозы в контроле эффективной дозы.

Дозиметрический контроль ведется двумя методами: дозиметрический контроль рабочих мест (ДКРМ) с помощью переносных дозиметров и индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) с помощью индивидуальных дозиметров. При ДКРМ измеряются амбиентный и направленный эквивалент дозы и результаты ДКРМ используется для прогнозирования годовых доз и получения критерия для введения ИДК.

Ионизирующие излучения по проникающей способности подразделяются на сильнопроникающие и слабопроникающие излучения. Сильнопроникающие излучения (нейтроны и высокоэнергетичные фотоны) создают дозы во внешних и внутренних органах. Но в связи с тем, что многие внутренние органы (гонады, красный костный мозг и другие) имеют более высокую радиочувствительность чем внешние органы, для сильнопроникающих излучений ограничивающим фактором является эффективная доза. В связи с тем, что слабопроникающие излучения излучений (низкоэнергетичные фотоны и бета-частицы) не могут проникнуть внутрь тела человека, то для них дозы во внешних органах (в коже и хрусталике глаза) являются единственными дозами.

Как же был построен контроль слабопроникающих излучений в отсутствие операционной величины - направленного эквивалента дозы.

Контроль доз низкоэнергетичных фотонов с энергиями менее 15 кэВ методом ДКРМ не велся, т.к. отсутствовала операционная величина - направленный эквивалент дозы и соответственно аппаратурное, метрологическое и методическое обеспечение измерений этой величины.

Существуют такие ограничения как производные пределы, например, по дозовому пределу вводятся допустимые уровни плотности потока бета-частиц. Допустимые уровни плотностей потоков бета-частиц являются производными пределами от пределов доз бета-излучения в коже и хрусталике глаза.

Контроль бета-излучения велся и ведется по плотности потока бета-частиц в соответствии с табл.8.9 НРБ-99/2009 «Допустимые уровни ... загрязнения ... кожных покровов, ...»). Кроме таблицы 8.9 в НРБ-99/2009 приведены несколько таблиц 8.2; 8.3; 8.4 со значениями допустимых плотностей потоков электронов и бета-частиц при облучении кожи и хрусталика глаза. В значениях допустимых плотностей потоков из таблиц 8.2; 8.3; 8.4 и 8.9 существуют значительные расхождения.

Производные пределы плотностей потоков бета-частиц приведенные в техническом отчете МАГАТЭ TRS 120, Мониторинг радиоактивного

загрязнения поверхностей, 1970, также не совпадают со значениями допустимых уровней загрязнения поверхностей из таблицы 8.9 НРБ-99/2009. Значения измеренных плотностей потока зависят от многих факторов, таких как калибровка прибора, типа детектора, эффективности детектора, расстояния «детектор–поверхность» при измерениях, от энергии бета-частиц, поэтому допустимые уровни плотности потока нельзя назначать нормируемыми величинами, они могут служить только в качестве контрольных уровней.

Нормируемыми величинами в дозиметрии являются: годовые эффективная доза и эквивалентные дозы в коже и хрусталике глаза, При дозиметрическом контроле рабочих мест нужно измерять операционную величину эквивалентных доз - направленные эквиваленты дозы $H'(0,07, \Omega)$, $H'(3, \Omega)$

Аппаратурное обеспечение

Для определения пригодности дозиметров для измерения направленных эквивалентов доз, требования к характеристикам дозиметров должны быть изложены в стандартах.

Разработкой стандартов по приборам радиационной защиты занимается 45-й технический комитет Международной электротехнической комиссии (МЭК). Стандарты МЭК отличаются тем, что в них приведены не только требования по техническим характеристикам приборов, но и методы испытаний на соответствие этим требованиям, а также методы интерпретации результатов испытаний

В подкомитете 45В технического комитета 45 МЭК разработан стандарт МЭК 60846-1, 2009, Приборы радиационной защиты – Измерители и/или мониторы (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы бета, рентгеновского и гамма-излучения – Часть 1: Портативные измерители и мониторы для измерений на рабочем месте и в окружающей среде.

Установленным в стандарте МЭК 60846-1 требованиям соответствует дозиметр RAM ION. Дозиметр RAM ION обеспечивает измерения амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$, направленных эквивалентов дозы $H'(3, \Omega)$ и $H'(0,07, \Omega)$ в соответствии с их определениями. В качестве детектора дозиметра RAM ION служит ионизационная камера, и амбиентный эквивалент дозы $H^*(10)$ измеряется за стенкой камеры из тканеэквивалентной пластмассы толщиной 1000 мм, направленного эквивалента дозы $H'(3, \Omega)$ - толщиной 300 мм, а $H'(0,07, \Omega)$ - толщиной 7 мм.

Метрологическое обеспечение

Для метрологического обеспечения измерений направленных эквивалентов доз фотонного и бета-излучений служат следующие стандарты ИСО:

ИСО 4037-2, 1997, Рентгеновское и гамма-излучение для калибровки дозиметров и измерителей мощностей доз и для определения их отклика в зависимости от энергии фотонов. Часть 2: Дозиметрия для радиационной защиты в диапазоне энергий от 8 кэВ до 1,3 МэВ и 4 МэВ до 9 МэВ

ИСО 6980-3:2006, Атомная энергия. Эталонное бета-излучение. Часть 3. Калибровка дозиметров для контроля рабочих мест и индивидуальных дозиметров и определение их отклика в зависимости от энергии бета излучения и угла падения

В РФ для этой цели действуют ГОСТ-ы:

ГОСТ 8.070-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, эквивалента дозы и мощности эквивалента дозы фотонного и электронного излучений.

ГОСТ разработан ВНИИФТРИ и основан на применении эталонов поглощенной дозы;

ГОСТ Р 8.804-2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы, мощности экспозиционной дозы, амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы, мощностей амбиентного, направленного и индивидуального эквивалентов дозы и потока энергии рентгеновского и гамма-излучений.

ГОСТ разработан ВНИИМ и основан на применении эталонов кермы.

Как показывают приведенные в Публикации 74 Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) зависимости переходных коэффициентов от кермы в воздухе к эквивалентам доз $H'(0,07)$, $H^*(10)$ и к поглощенной дозе $D(3)$ для фотонного излучения от энергии фотонов, значения направленного эквивалента дозы $H'(0,07)$, поглощенной дозы $D(3)$ и амбиентного эквивалента дозы $H^*(10)$ совпадают при энергиях фотонов между 0,3 МэВ и 10 МэВ. Указание поглощенной дозы для хрусталика глаза связано с тем, что при облучении хрусталика глаза отсутствуют стохастические эффекты и облучение хрусталика глаза приводит только к детерминированным эффектам.

Поэтому поверка (калибровка) дозиметров по направленным эквивалентам дозы фотонов проводится при энергии 662 кэВ излучения источника цезий-137 (Cs-137) в установка типа УПГД.

Для калибровки по направленным эквивалентам дозы бета-излучения прошла испытания и внесена в Госреестр СИ РФ установка для поверки (калибровки) дозиметров бета-излучения УПБ-ИД. Установка передает

единицы поглощенной дозы бета-излучения в тканеэквивалентном веществе на разных глубинах, в т.ч. 7 и 300 мг·см⁻², а переход к единицам направленных и индивидуальных эквивалентов доз $H'(0,07,\Omega)$; $H'(3,\Omega)$ в зивертах от единиц поглощенной дозы бета-излучения в греях осуществляется с использованием переходных коэффициентов из стандарта ИСО 6980-3.

Правильность измерений направленных эквивалентов доз обеспечивается конструкцией и материалом ионизационной камеры и проверяется при испытаниях с целью утверждения типа. Первичная поверка (калибровка) дозиметров по направленным эквивалентам дозы фотонов и бета-излучения проводится при их выпуске, а периодическая калибровка проводится только по фотонному излучению источника цезий-137.

Методическое обеспечение

Методическое обеспечение измерений направленных эквивалентов доз обеспечивают Методические указания МУ 2.6.5.037- 2016, Контроль эквивалентной дозы фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза, а также рекомендации МКРЗ от 2007 года изложенные в Публикации 103:

(В 167) При мониторинге слабопроникающего излучения в среде почти всегда используется $H'(0.07, \Omega)$. При падении однонаправленного излучения, что обычно происходит при калибровке оборудования, эта величина может быть записана в виде $H'(0.07, \alpha)$, где α – угол между направлением Ω и направлением, противоположным направлению падения излучения. В практике радиационной защиты направление Ω часто не устанавливается, потому что интерес представляет максимальное значение $H'(0.07, \Omega)$. Оно обычно получается вращением измерителя мощности дозы во время проведения измерения и регистрацией максимального показания прибора.

Выводы

1. В 2016г. утверждены методические указания ГК «Росатом» вводящие операционную величину в дозиметрии слабопроникающих излучений – направленный эквивалент дозы.

2. Определена функция направленного эквивалента дозы в дозиметрии как операционной величины в ДКРМ слабопроникающих излучений.

3. Определено наличие аппаратурного, метрологического и методического обеспечения измерений направленных эквивалентов доз.

4. Рекомендованы измерения направленных эквивалентов доз для прогнозной оценки нормируемых величин – эквивалентных доз в хрусталике глаза, в коже, кистях и стопах и определения критерия введения ИДК хрусталика глаза и кожи.

**ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ НА ОСНОВЕ LiF ДЛЯ
ДОЗИМЕТРИИ В ПОЛЕ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
УСКОРИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ БОР-
НЕЙТРОНОЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ**

**М.В. Петриченко¹, С.И. Мельник², А.В. Репков³, В.Я. Чудаев⁴,
Н.С. Шамакина⁵, В.В. Экста⁶**

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

В ИЯФ СО РАН разрабатывается ускорительный источник эпитепловых нейтронов на основе ускорителя-тандема для бор-нейтронозахватной терапии рака (БНЗТ). Использование ускорительного источника нейтронов позволит разместить его в госпитале в отличие от реакторов. Для генерации нейтронов используется реакция ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$. Протонный пучок с энергией $\sim 1.9\text{-}2.3$ МэВ сбрасывается на литиевую мишень толщиной около 100 мкм. После реконструкции специализированного здания планируются предклинические испытания для разработки технологии БНЗТ с использованием ускорителя в качестве источника нейтронов. В связи с этим возникает задача измерения доз, полученных пациентом во время сеанса облучения, а также доз, получаемых персоналом, в смешанных полях фотонного и нейтронного излучений. Для решения этой задачи можно рассматривать использование активационных фольг и термолюминесцентных дозиметров (ТЛД). Однако детекторы на основе ${}^6\text{LiF}$, применяющиеся, в частности, в альбедном дозиметре ДВГН-01 комплекса АКВДК-301, имеют повышенную дозовую чувствительность в нейтронных полях с низкоэнергетическими спектрами, такими какие требуются для БНЗТ, где средняя энергия нейтронов «идеального спектра» равна 13 кэВ. Это обстоятельство требует серьезной коррекции показаний ДВГН-01 при осуществлении индивидуальной дозиметрии персонала и контроля терапевтической дозы, получаемой пациентами.

Были проведены первые эксперименты по измерению доз с помощью ТЛД непосредственно в поле излучения литиевой нейтроногенерирующей мишени. Поправочные коэффициенты для ДВГН-01 получены 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 его наружной поверхности равномерно размещались 5 дозиметров ДВГН-01.

Измерения, выполненные в поле нейтронного излучения литиевой мишени показали, что предварительно поправочные коэффициенты к отклику ДВГН-01 можно оценить как 1/21 и 1/37 для индивидуального дозового эквивалента и для эффективной дозы при изотропном облучении, соответственно.

¹*Начальник отдела РИиРБ, Россия, г. Новосибирск*

²*Техник*

³*Ведущий инженер-электроник, Россия, г. Новосибирск*

⁴*к.ф-м.н, ведущий научный сотрудник, Россия, г. Новосибирск*

⁵*Инженер II категории, Россия, г. Новосибирск*

⁶*Инженер-электроник I категории, г. Новосибирск*

¹*E-mail: M.V.Petrichenkov@inp.nsk.su*

²*E-mail: cartas5@mail.ru*

³*E-mail: a_repkov@mail.ru*

⁴*E-mail: V.Ya.Chudaev@inp.nsk.su*

⁵*E-mail: N.S.Shamakina@inp.nsk.su*

⁶*E-mail: V.V.Eksta@inp.nsk.su*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕР ПО ПРЕСЕЧЕНИЮ НЕЗАКОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЧЕРЕЗ ТАМОЖЕННУЮ ГРАНИЦУ

А.В. Борисенко, В.Н. Кустов, В.В. Темченко, Ю.В. Чубов, Ю.А. Белов
*Владивостокский филиал Российской таможенной академии,
Владивосток, Россия*

При проведении таможенного контроля делящихся и радиоактивных материалов (ДРМ) и других объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения должностными лицами таможенных органов решаются задачи обнаружения объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения, поиска и локализации источников ионизирующего излучения в составе объектов контроля, измерения физических характеристик радиоактивных источников и испускаемых ими излучений, проведения оценки степени радиационной опасности, идентификации радиоактивных изотопов, а также измерения амбиентного эквивалента индивидуальной дозы рентгеновского и гамма-излучений.

В зависимости от решаемых в ходе проведения таможенного контроля задач, на каждом этапе радиационного контроля применяются различные технические средства радиационного контроля, технические характеристики и возможности которых позволяют достичь достоверных результатов.

Для повышения эффективности мер по пресечению незаконного перемещения ДРМ через таможенную границу Евразийского экономического союза в Учебном центре таможенного контроля за делящимися и радиоактивными материалами Владивостокского филиала Российской таможенной академии проводятся исследования технических характеристик и возможностей применения различных приборов радиационного контроля при проведении радиационного контроля, разрабатываются методические рекомендации по их использованию.

В рамках данного направления исследуются не только технические средства радиационного контроля, имеющиеся на оснащении таможенных органов Российской Федерации, но и новые приборы радиационного контроля, перспективные для применения при радиационном контроле ДРМ, товаров и объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения.

Были проведены исследования основных фактических технических характеристик дозиметров гамма-излучения ДКГ-PM1621, ДКГ-PM1610, ДКГ-PM1203М, ДКС-АТ1123, ДКГ-PM1605; дозиметра-радиометра МКС-PM1405; поисковых измерителей-сигнализаторов ИСП-PM1401К-01М, ИСП-PM1401К-01.

Экспериментальные исследования по определению фактических радиационных величин, заявленных в эксплуатационной документации на технические средства, проводились в соответствии с требованиями действующих ГОСТов и иных национальных и международных стандартов и регламентов.

Проведенные исследования показали, что технические характеристики имеющихся в настоящее время в таможенных органах Российской Федерации дозиметров ДКГ-PM1621 и ДКГ-PM1203М и измерителей-сигнализаторов ИСП-PM1401К-01М, ИСП-PM1401К-01 соответствуют характеристикам, заявленным в эксплуатационной документации на технические средства, что позволяет должностным лицам таможенных органов эффективно использовать данные технические средства при проведении радиационного контроля с учетом возможностей приборов.

Для дозиметра ДКГ-PM1610, принятого на оснащение таможенных органов, был выявлен ряд недостатков, которые существенно ограничивают его использование при проведении радиационного контроля.

Изучение дозиметра ДКГ-PM1605 показало, что его некоторые фактические технические характеристики не соответствуют характеристикам, заявленным в эксплуатационной документации и его использование в таможенных органах Российской Федерации является не достаточно эффективным.

Технические характеристики дозиметра-радиометра ДКГ-PM1405 соответствуют характеристикам, заявленным в эксплуатационной документации, а наличие у него возможностей по измерению плотности потока бета-частиц и наличие поискового режима источников гамма-излучения позволяют значительно расширить область использования данного прибора при решении задач, стоящими перед таможенными органами в рамках проведения радиационного контроля.

Проведение данных и последующих исследований с различными техническими средствами радиационного контроля (измерителями-сигнализаторами, дозиметрами, дозиметрами-радиометрами, радиометрами-спектрометрами, гамма-спектрометрами и др.) направлены на поиск возможности устранения или учета обнаруженных расхождений и подготовки соответствующих рекомендаций для таможенных органов с

целью эффективного использования имеющихся технических средств радиационного контроля, а также решения вопросов возможного материально-технического оснащения техническими средствами радиационного контроля таможенных органов Российской Федерации.

ВЛИЯНИЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В АКТИВНЫЙ СЛОЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ПОГРУЖНОГО СПЕКТРОМЕТРА АТ6104DM

А.И. Жуковский¹, А.О. Ничипорчук¹, О.М. Аншаков¹, С.А. Кутень²

¹Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
Минск, Республика Беларусь

²Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Республика Беларусь

Радиационный мониторинг окружающей среды, в частности акваторий и донных отложений, является обязательным условием системы обеспечения радиационной безопасности при нормальных условиях эксплуатации атомных электростанций, а также в случае возникновения нештатных ситуаций на предприятиях ядерного топливного цикла.

Одним из перспективных методов радиационного контроля водоёмов с целью определения активности радионуклидов в донных отложениях является использование портативного гамма-спектрометрического оборудования для *in situ* измерений. При этом изменение ориентации устройства детектирования на поверхности объекта измерения относительно задаваемого положения может оказывать существенное влияние на точность радиационного контроля.

В первую очередь следует учитывать возможное заглубление устройства детектирования в верхние слои донных отложений. Для оценки погрешности заглубления разработана Монте-Карло модель устройства детектирования погружного спектрометра АТ6104DM на основе сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) размерами Ø63х63 мм и участка слоя донных отложений с равномерно-распределенным в них радионуклидом ¹³⁷Cs. Загрязненная область представляет собой цилиндр переменного радиуса и толщины, в которую устройство детектирования заглублялось на 1, 2 и 4 см относительно раздела двух сред воды и донных отложений.

Результаты Монте-Карло моделирования позволили получить функции отклика спектрометра в заданных положениях устройства детектирования и оценить относительную погрешность результата измерения удельной активности радионуклида.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТВОРИМЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ В ЖИДКОСЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

**И. В. Бурьяненко¹, А.Б. Рогозов¹, Б.И. Рогозов¹, Ю. А. Тычинкин¹,
И.В. Алексеев², С. В. Сэпман², С. В. Малиновский³, И. А.Каширин³**

¹*ЗАО «Ритверц», Санкт-Петербург, Россия*

²*ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия*

³*ФГУП «РАДОН», Москва, Россия*

Использование материалов, растворимых в жидких сцинтилляторах, открывает новые возможности жидкостной сцинтилляционной спектроскопии для радиометрических и спектрометрических измерений при проведении радиационного контроля.

Необходимыми процедурами при работе с радиоактивными веществами являются контроль поверхностного загрязнения оборудования, помещения и готовой продукции, а также радиационный контроль воздуха рабочих помещений. При этом необходимо измерять активность и радионуклидный состав радиоактивного вещества, сорбированного на фильтре или тампоне, причем величина измеряемой активности может находиться в пределах нескольких Бк.

При использовании стандартных средств измерения (газопроточные счетчики, сцинтилляционные кристаллы и др.) их чувствительность, при измерении альфа и бета-излучающих радионуклидов, значительно снижается вследствие самопоглощения излучения материалом фильтра или тампона. Спектрометрия и анализ радионуклидного состава при этом практически исключаются. Ситуация несколько улучшается при использовании жидкосцинтилляционных счетчиков и спектрометров с 4π сбором. Однако возникает необходимость проводить длительную процедуру пробподготовки путем растворения, выщелачивания, сжигания и т. п., чтобы в конечном итоге перевести измеряемый образец в жидкую фазу. Присутствие твердой фазы в сцинтилляторе (фильтр или тампон без пробподготовки), приводит к искажению спектра и оставляет возможность проводить только радиометрические измерения без спектрометрии.

Проблема практически полностью решается без потери информации об активности и радионуклидном составе при использовании в качестве аэрозольных фильтров и тампонов материалов, растворимых в жидком сцинтилляторе и использовании для обработки получаемой информации

программы SpectraDec, учитывающей тушение сцинтилляций, вызванное присутствием в сцинтилляторе растворенных компонентов материала.

В докладе приведены результаты исследований применения фильтрующего полотна Петрянова (ФПП) на основе перхлорвинила в качестве аналитического аэрозольного фильтра для контроля радиоактивных аэрозолей и в качестве тампона для контроля уровня радиоактивного загрязнения.

Работы проведены с использованием жидкосцинтилляционного спектрометра СКС-07П производства фирмы Green Star, г. Москва и сцинтилляционного коктейля Ultima Gold АВ. Измерительная кювета представляет собой полиэтиленовый флакон с наружным диаметром 30 мм и высотой 60 мм. Объем сцинтиллятора: 10 мл.

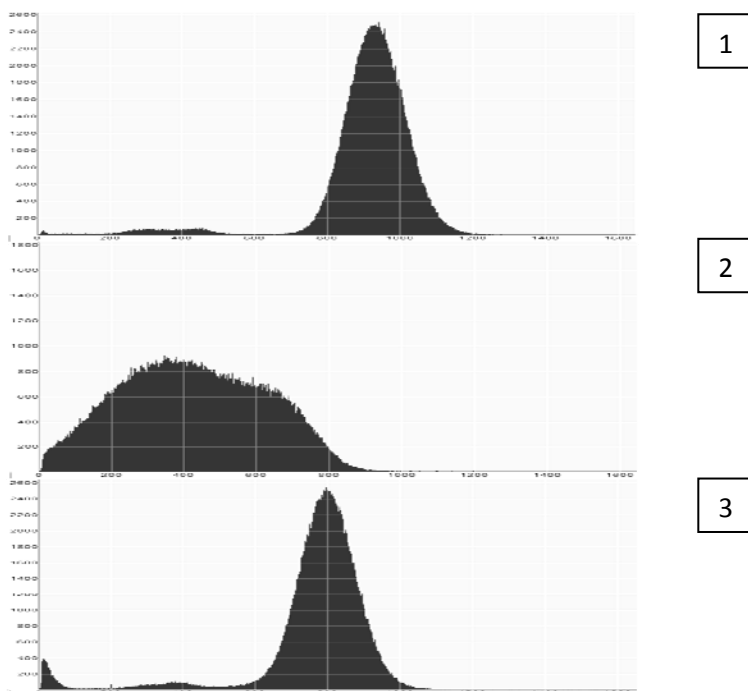


Рис. 1. Спектры для трех счетных образцов с Am-241, где 1 – в растворе, 2 – нерастворимый фильтр/тампон, 3 – растворимый фильтр/тампон.

Как видно из рисунка, в случае измерения нерастворимого фильтра без пробподготовки (2) провести спектрометрический анализ невозможно, тогда как спектр растворимого фильтра остается разрешенным.

Использование растворимых фильтров позволяет проводить быстрые измерения радиоактивности с возможностью проведения спектрального анализа.

Ключевые слова: жидкосцинтилляционная спектрометрия, жидкий сцинтиллятор, растворимые фильтры, радиационный контроль.

ПРОТОЧНЫЕ ЖИДКОСТНЫЕ РАДИОМЕТРЫ КОМПАНИИ LABLOGIC

С.С. Толстоухов¹, С.В. Трофимук¹, Т.В. Воронина², Д.Ю. Тугушева²

¹ЗАО «Приборы»

²НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ

Отдельной задачей радиометрии являются измерения трития в воде. Оптимальным методом для решения этой задачи является метод жидкосцинтилляционного счета (ЖСС). В методе ЖСС источник бета частиц находится в непосредственной близости с жидким сцинтиллятором, что позволяет минимизировать потерю за счет поглощения излучения в веществе, а также обеспечивает наиболее оптимальную 4π геометрию. Бета частицы при столкновении возбуждают молекулы растворителя, которые, в свою очередь, передают избыточную энергию молекулам сцинтиллятора, излучающие при этом вспышку света. Световая вспышка регистрируется с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).

Для реализации метода ЖСС существует целая линейка приборов, которые используют в схеме измерения один, два или три ФЭУ. Эффективность регистрации трития в таких приборах может достигать 70%, а фоновые значения – несколько десятков импульсов в минуту. Как правило, данные приборы подразумевают целый набор предварительных операций: отбор и доставка измеряемого образца в лабораторию, пробоподготовку, смешение пробы с жидким сцинтиллятором и т.д. Выполнение этих операций часто является затруднительными, а иногда и опасными для здоровья человека. В частности, с такой ситуацией столкнулись сотрудники НИЦ КИ – ПИЯФ.

В настоящее время в Петербургском институте ядерной физики им. Б.П. Константинова (ПИЯФ) Национального Курчатовского института готовится к пуску тяжеловодный исследовательский реактор ПИК. Реактор ПИК – это единственный сейчас в России проект современного источника нейтронов постоянного действия. Конструкция и параметры реактора ПИК выбраны таким образом, чтобы обеспечить максимальный нейтронный поток. По проекту плотность потока тепловых нейтронов в тяжеловодном отражателе должна составить в легководной ловушке – $5 \cdot 10^{15}$ н/см²·сек; в тяжеловодном отражателе – $1,2 \cdot 10^{15}$ н/см²·сек. Необходимым условием получения такого высокого нейтронного потока является использование в

качестве отражателя концентрированной тяжелой воды D_2O . Кроме того в состав реакторной установки ПИК входит тяжеловодный контур жидкостного регулирования.

Использование тяжелой воды в качестве теплоносителей накладывает определенные требования к эксплуатации реактора. В тяжеловодных реакторах скорость образования трития по реакции $D(n,\gamma)T$ высока и составляет до $2 \cdot 10^{11}$ Бк/кг·год. В результате на тяжеловодных реакторах объемная активность тяжелой воды достигает нескольких десятков Ки/кг. Это приводит к тому, что значительная часть (до 40%) дозовой нагрузки на персонал обусловлена тритием. Максимальная объемная активность тяжеловодных теплоносителей реактора ПИК по проекту не должна превышать 2 Ки/кг. Следовательно, необходимо организовать надежный контроль теплоносителей и технологических сред реактора ПИК на содержание в них трития.

В настоящее время в НИЦ КИ – ПИЯФ для решения поставленной задачи используется современный лабораторный спектрометрический радиометр «Thriathler LSC», производства финской компании Hidex. Разработанная в НИЦ КИ – ПИЯФ методика [1] определяет объемную активность тритиевой воды в диапазоне от $3,7 \cdot 10^{-7}$ до 6 Ки/л, что позволяет использовать ее как для анализа тяжелой воды ТВО (до 2 Ки/л), так и для контроля легкой воды первого контура или воды с низкой активностью порядка «уровня вмешательства».

После выхода реактора ПИК на полную мощность (100 МВ) содержание трития в теплоносителях начнет расти и через некоторое время достигнет МЗУА ($2,7 \cdot 10^{-2}$ Ки/кг или $1,0 \cdot 10^9$ Бк/кг). Поэтому выполнение анализа проб в лаборатории станет радиационноопасной работой. Для того чтобы снизить дозовую нагрузку на персонал лаборатории при выполнении водно-химического контроля, планируется перейти на непрерывный дистанционный мониторинг теплоносителя контура ТВО при помощи автоматической системы проточного анализа тяжелой воды (АСПА ТВ). Для решения данной задачи было решено использовать проточный радиометр WILMA, производства английской компании LabLogic. Данный прибор может быть расположен непосредственно рядом с точкой отбора и позволяет осуществлять автоматический отбор и измерение проб по заданному циклу. В основе системы пробоотбора лежит многофункциональный встроенный насос с системой распределения потоков. Система регистрации излучений представляет собой проточную ячейку заданного объема, где происходит смешение образца и сцинтиллятора, и два ФЭУ работающих в схеме совпадений. Управление всей системы в целом осуществляется встроенным

ПО, которое позволяет управлять прибором и обрабатывать данные, как со встроенного ПК, так и с удаленного рабочего места. Так же есть возможность оповещения через электронную почту и мобильный телефон, что сводит к минимуму появления персонала в зоне повышенных радиоактивных фонов.

Как правило, проточный радиометр WILMA используется для контроля содержания трития и других радионуклидов в сточных и грунтовых водах, а так же в технологических трубопроводах объектов атомной энергетики странах Европы и США [2]. Однако, в силу специфики решаемых задач на ректоре ПИК по просьбе специалистов НИЦ КИ – ПИЯФ в измерительную систему прибора были внесены изменения. В частности, помимо набора стандартных проточных ячеек, работающих с жидким сцинтиллятором по принципу, описанному выше, прибор был укомплектован проточными ячейками с твердым сцинтиллятором. В качестве твердого сцинтиллятора используется мелкодисперсный порошок CaF_2 . Объемы ячеек подобран таким образом, чтобы измерять активность вплоть до 10 Ки/кг. Так же данное решение позволит возвращать измеренный образец «тяжелой» воды обратно в контур теплоносителя.

В рамках поставки проточного радиометра Wilma в Россию, летом 2017 года проводились испытания с целью внесения в Реестр средств измерения РФ. Испытания проводились во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, г. Санкт-Петербург в присутствии представителей ПИЯФ, ВНИИМ, ЗАО «Приборы» и LabLogic. Помимо стандартной программы испытаний, так же были выполнены сличительные измерения контрольных образцов тритиевой воды. В результате проведенных измерений было определено, что эффективность регистрации при работе с жидким сцинтиллятором FlowLogic U производства LabLogic для негашёного образца составила от 20 до 30%, при работе с твердым сцинтиллятором от 3 до 7 %. Относительная низкая эффективность регистрации при работе с твердым сцинтиллятором компенсируется высокой активностью измеряемых образцов и позволяет обеспечить корректную работу измерительного тракта.

На данный момент прибор прошел испытания с целью внесения в Реестр средств измерения РФ и передан в аналитической лаборатории ПИЯФ для градуировки и измерения образцов тритиевой воды.

Литература

[1] Методика выполнения измерений объемной активности трития в легкой и тяжелой воде методом жидкостно-сцинтилляционной радиометрии. Инв. № 16РК - 113.00М, ФГБУ ПИЯФ НИЦ КИ, Гатчина, 2016, 20 с.

[2] «LabLogic Radiation Detection Online Water Quality Monitoring System», United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-13/228.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕЙ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО МОЩНОСТИ ДОЗЫ ОТ 0,03 МКЗВ/Ч С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ- КОМПАРАТОРОВ

Р.В. Лукашевич, В.Д. Гузов, Ю.А. Верхуша, В.А. Кожемякин
*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
Минск, Республика Беларусь*

Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) на уровне естественного радиационного фона является одной из основных задач радиационного мониторинга, при осуществлении которого крайне важно получать информацию о малейшем превышении техногенного радиационного фона по отношению к естественному радиационному фону. В этом случае важной проблемой, которую необходимо решить при калибровке дозиметрических приборов, является нижний уровень измерительного диапазона, который должен включать значения, соответствующие естественному фону окружающей среды, т.е. $0,05 \div 0,1$ мкЗв/ч. Для этого необходимо использовать измерительные средства, обладающие высокой чувствительностью, низким уровнем собственного фона и высокой временной стабильностью.

Использование высокочувствительных дозиметров на базе сцинтилляционных блоков детектирования становится привлекательным для оценки МАЭД ниже $0,1$ мкЗв/ч. При том, что ГОСТ Р 8.804-2012 не оговаривает диапазон измерений ниже $0,3$ мкЗв/ч, а стандарты МЭК 61017:2016 и МЭК 60846-1:2009 рекомендуют нижний предел диапазона измерений МАЭД при контроле радиационной обстановки в окружающей среде на уровне $0,03$ мкЗв/ч.

В этой связи возникает потребность в калибровке дозиметров по фотонному излучению в диапазоне от $0,03$ мкЗв/ч. Для этого необходимо метрологически обеспечить значение МАЭД на уровне $0,03$ мкЗв/ч и выше, т.е. создать эталонное низкоинтенсивное поле фотонного излучения и экспериментально подтвердить линейность дозовой характеристики дозиметрических приборов в области $0,03$ мкЗв/ч и выше.

Для решения этой задачи в УП «АТОМТЕХ» использовались блоки-компараторы фотонного излучения БКМГ-АТ1102 и БКМГ-АТ1106, которые были разработаны для метрологической аттестации и поверки полей гамма-

излучения дозиметрических установок и источников гамма-излучения по мощности дозы. Блоки-компараторы созданы на базе серийно выпускаемых спектрометрических блоков детектирования гамма-излучения со сцинтилляционными детекторами на основе NaI(Tl) кристаллов Ø40x40 мм и Ø25x16 мм (рисунок 1).

Исследования основных характеристик блоков-компараторов, а также калибровка по мощности кермы в воздухе в диапазоне 0,1 – 300 мкГр/ч были выполнены во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» на государственных эталонах РФ.

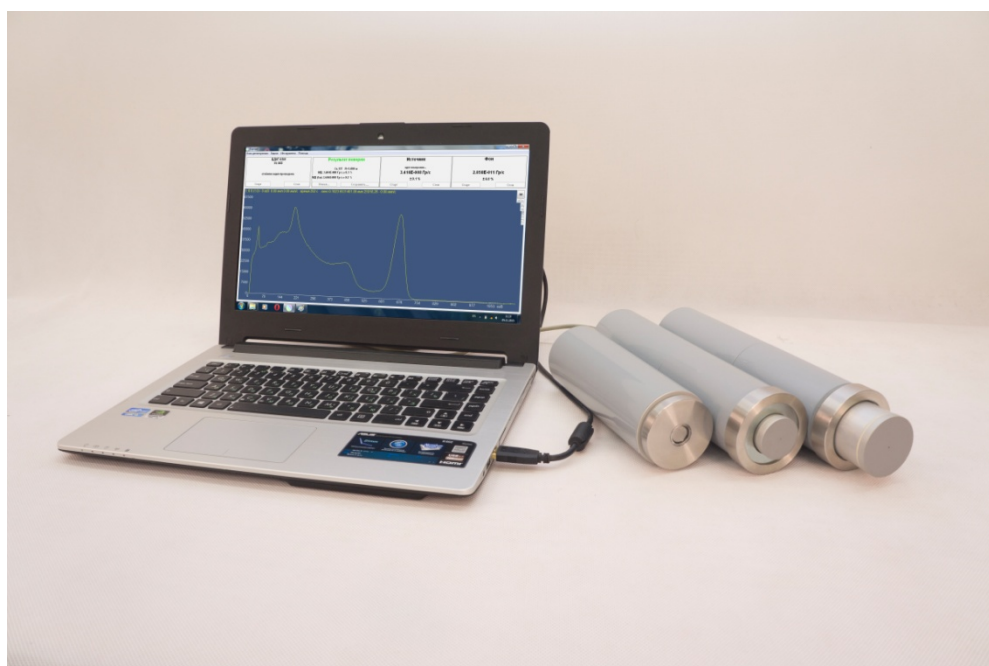


Рис. 1. Блоки-компараторы фотонного излучения и ПК со специализированным ПО

Для выполнения калибровки в области ниже 0,1 мкЗв/ч, была разработана и апробирована методика калибровки блоков-компараторов в низкоинтенсивных полях фотонного излучения по мощности дозы согласно рекомендациям IЕС 61017:2016 и IЕС 60846-1:2009. Апробация разработанной методики калибровки блоков-компараторов согласно рекомендациям технических стандартов, была выполнена на Заславском водохранилище и в низкофоновой камере в УП «АТОМТЕХ».

Калибровка блоков-компараторов в эталонных низкоинтенсивных полях фотонного излучения (0,03 – 0,1 мкЗв/ч) была выполнена в Румынии в низкофоновой лаборатории в соляной шахте Unirea. По результатам калибровки блоков-компараторов получены свидетельства о калибровке, данные из которых используются для калибровки полей гамма-излучения по мощности дозы, создаваемых с использованием источников гамма-излучения

^{137}Cs в низкофоновой камере в УП «АТОМТЕХ». Получены данные собственного фона и чувствительности детекторов к космической составляющей фонового излучения, которые будут учитываться при проведении низкофоновых измерений.

Применение разработанной методики аттестации низкоинтенсивных полей фотонного излучения по мощности дозы методом компаратора, результаты калибровки блока-компаратора в диапазоне 0,03 - 0,1 мкЗв/ч и следование рекомендациям МЭК 61017:2016 и МЭК 60846-1:2009 дают основания для использования блока-компаратора для метрологического обеспечения калибровки высокочувствительных дозиметров в полях низкоинтенсивного фотонного излучения по мощности дозы.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА И РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

И.Э. Новиков

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

Разработаны программный комплекс математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения, а также методы и алгоритмы обработки спектрометрической информации для проектирования и обеспечения систем авиационного радиационного мониторинга (АРМ) поверхности Земли. Решались задачи поиска локальных (точечных) источников гамма-излучения и дистанционного измерения мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 метра над поверхностью Земли [1].

Актуальность работы обусловлена необходимостью модернизации существующих и разработки новых систем авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли для улучшения их технических характеристик и обеспечения возможности эффективного решения с их помощью ряда задач в сфере современной радиационной безопасности [2].

Предложена концепция повышения эффективности АРМ за счет конструктивного использования специфики условий измерений, разработки и применения соответствующих методов математического моделирования и обработки спектрометрической информации, а также эффективной реализации комплексного подхода для увеличения точности измерений.

Разработаны математические методы и реализующий их уникальный комплекс специализированных программных средств для получения методами Монте-Карло аппаратурных спектров и характеристик поля гамма-излучения вблизи границы раздела двух полубесконечных сред, типа «воздух – конденсированная среда», необходимых для проектирования и градуировки систем АРМ поверхности Земли [1,3]. Разработанные программные средства позволяют учесть широкий диапазон возможных условий измерений, включая геометрии изотропных плоского (бесконечно и равномерно

распределённого в горизонтальной плоскости) и локального (в форме эллипса или прямоугольника в горизонтальной плоскости) источников излучения; различные типы заглубления этих источников; различный состав и плотности сред; наличие снежного покрова в форме слоя определенной толщины на границе раздела двух полубесконечных сред и т.д. Использование данного комплекса позволяет повысить точность получаемой информации по сравнению с традиционными экспериментальными методами, отказаться от проведения дорогостоящих натуральных испытаний с высокоактивными источниками ионизирующего излучения опасными для здоровья людей и окружающей среды, расширить области применения аппаратуры и проводить градуировку для источников излучения недоступных в современной практике.

Разработан и программно реализован многоканальный спектрометрический метод дистанционного измерения мощности дозы, позволяющий минимизировать погрешность от «хода с жесткостью» (зависимости точности оценки мощности дозы от спектрального состава излучения) и использовать минимальный объем необходимых исходных данных для градуировки аппаратуры [1]. Метод реализован на базе разработанного в ЦНИИ РТК оригинального математического аппарата для расчетов оптимизированных градуировочных характеристик дозиметрической аппаратуры. Разработанный метод обладает простотой и удобством при эксплуатации, обеспечивает наглядность представления промежуточных и конечных результатов расчетов градуировочных характеристик, что дает возможность применять этот метод широким классом гамма-спектрометров для решения разнообразных дозиметрических задач.

Разработан метод поиска, обнаружения и определения местоположения локальных источников ионизирующего излучения с борта летательного аппарата, использующий временные и спектральные отличия полезного сигнала от фона на основе применения разработанного в ЦНИИ РТК оригинального алгоритма обработки спектрометрической информации [1] и математического моделирования полезного сигнала. Разработанный метод позволяет максимально повысить обнаружительные способности аппаратуры для различных условий применения, обеспечивает удобство проведения градуировки и возможность проведения методами математического моделирования оценки предельных точностных характеристик аппаратуры.

Результаты работы апробированы и использованы в аппаратно-программных комплексах АРМ и в других комплексах радиационного контроля ЦНИИ РТК.

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. Бакин Э.Н., Копаев В.И., Кудряшов А.С. Проблемные вопросы и перспективы развития системы воздушной радиационной, химической и биологической разведки местности и воздушного пространства [Электронный ресурс] //Электронное периодическое издание рецензируемый военно-научный журнал «Воздушно-космические силы. Теория и практика» № 2, июнь 2017 С. 7-17. URL: <http://vva.mil.ru/upload/site21/qFTBOrKEwc.pdf> (дата обращения 01.08.2017).
3. Новиков И.Э. Пакет программ математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения для разработки систем авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли» автора Новикова И.Э. // Тезисы докладов XIII-го международного Сопещения «Проблемы прикладной спектроскопии и радиометрии», проводимого 5-8 октября 2015 г. в г. Санкт-Петербург С.149-152.

РАДИОМЕТР АЛЬФА-БЕТА-АКТИВНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ «ФОСВИЧ» ДЕТЕКТОРА

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

В рамках дальнейшего развития направления низкофоновой альфа-бета-радиометрии был разработан радиометр РКС-АТ1329.

Отличительной особенностью данного альфа-бета-радиометра является использование в его составе блока детектирования на основе «фосвич»-детектора. Использование в составе прибора одного блока детектирования для одновременной регистрации альфа- и бета-излучения позволило существенно расширить сферу применения радиометра. Кроме того, использование одного блока детектирования позволило уменьшить массо-габаритные характеристики радиометра.

Радиометр РКС-АТ1329 предназначен для одновременного измерения характеристик альфа- и бета-излучения различных счетных образцов, приготовленных из вещества пробы. Конструкция радиометра обеспечивает возможность измерения активности счетных образцов толщиной до 12 мм.

Радиометр может применяться для определения активности счетных образцов в геометрии «толстого» источника, «тонкого» источника, активности эспонированных фильтров типа АФА, а также для определения поверхностного загрязнения методом мазков.

Радиометр предназначен для работы совместно с внешним персональным компьютером. Управление работой и функциями радиометра осуществляется с помощью прикладного программного обеспечения. Кроме самостоятельного использования предусмотрена возможность включения радиометра

РКС-АТ1329 в состав измерительного комплекса совместно с бета-гамма-спектрометром.

Метрологические характеристики радиометра представлены в таблице.

Наименования технических показателей	Значение показателей
Чувствительность к α -излучению (^{239}Pu)	Не менее $0,30 \text{ Бк}^{-1} \times \text{с}^{-1}$
Чувствительность к β -излучению (^{90}Sr - ^{90}Y)	Не менее $0,35 \text{ Бк}^{-1} \times \text{с}^{-1}$
Эффективность регистрации α -частиц (^{239}Pu)	Не менее 65 %
Эффективность регистрации β -частиц (^{90}Sr - ^{90}Y)	Не менее 75 %

Диапазон энергий регистрируемого α -излучения	3 – 7 МэВ
Диапазон энергий регистрируемого β -излучения	155 кэВ – 3,5 МэВ
Диапазон измеряемых скоростей счета (α -канал)	0 – 10^5 с^{-1}
Диапазон измеряемых скоростей счета (β -канал)	0 – 10^5 с^{-1}
Диапазон измеряемых активностей (α -канал)	0,01 – 10^4 Бк
Диапазон измеряемых активностей (β -канал)	0,1 – 10^4 Бк
Фоновая скорость счета (α -канал)	Не более $0,001 \text{ с}^{-1}$
Фоновая скорость счета (β -канал)	Не более $0,70 \text{ с}^{-1}$
Чувствительность альфа-канала к бета-излучению	Не более 0,1 %
Чувствительность бета-канала к альфа-излучению	Не более 5,0 %

СЕМЕЙСТВО CZT-ГАММА-ВИЗОРОВ Polaris-H/HQ/Shield ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА АЭС

И.С. Бредихин

ООО «ГаммаТек», Москва, Россия

ivan@gammatech.pro

Развитие технологий позволяет с каждым десятилетием позволяет одновременно снижать трудозатраты, а также поднимать качество получаемых результатов во многих областях радиационного контроля и мониторинга.

Так и гаммавизоры (приборы, позволяющие визуализировать поля гамма-излучения), долгое время, оставаясь, по сути, крайне узкоспециализированной, дорогой системой, получили второе рождение благодаря пионерским разработкам специалистов компании НЗД.

Спектрометрический (1,1%) гаммавизор **Polaris-HQ™**, обладая почти 20см³ CZT кристаллом, позволяет быстро и качественно проводить мониторинг в областях энергий от 50 до 3МэВ в 4pi одновременно. Тем самым привнося новое понимание в решение таких задач как:

- Поиск и локализация радиоактивных источников и дискретных частиц;
- Конструирование и оптимизация защитного экрана;
- Понимание режимов работы реактора;
- Снижение дозы персонала;
- Национальная безопасность и поиск ядерных материалов в экологии;
- Поиск и отслеживание загрязнений в трубах и вентилях в АЭС и других предприятиях ядерного цикла;
- Отслеживание динамики источников и загрязнений во времени;
- Аварийное реагирование и проверка проведённой очистки;
- Контроль в области ядерной медицины;
- Многие другие задачи....

В рамках доклада будут подробно разобраны применения нового подхода как для работ на ядерных объектах, так и для национальной безопасности и медицины.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАНОВКИ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ $4\pi(\alpha,\beta)\text{-}\gamma$ СОВПАДЕНИЙ

И.В. Кувыкин, С.М.-Ш. Цуриев

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Россия

Метод совпадений является одним из основных и самым точным в метрологии абсолютных измерений активности радионуклидов. Этот метод стал применяться с начала 50-х годов, однако наибольшее распространение он получил в 1959 г., после выхода работы Кэмпсона [1]. Дальнейшим развитием этого метода является оцифровка сигналов с детекторов и создание уже программного канала совпадений, т.н. «цифровой» метод совпадений. Цифровой метод описан во многих работах, были попытки создания цифровой установки совпадений в России [2], но технические возможности того времени были недостаточны и такие установки имели плохие характеристики.

В работе была создана и исследована установка, реализующая цифровой метод измерения активности методом $4(\alpha,\beta)\text{-}\gamma$ совпадений с применением дигитайзера Caen N6720. Данная установка позволяет измерять активность радионуклидов с точностью 0.1 %. Проведено исследование параметров установки и расчёт неопределённости результатов измерения активности. Установка прошла сличение с Государственным первичным эталоном активности ГЭТ-6, реализующим аналоговую схему совпадений.

Для исследования метода совпадений и процесса регистрации бета- и гамма- частиц счётчиками была создана математическая модель. Модель использует метод Монте-Карло для разыгрывания событий распада радиоактивных ядер за случайный период времени (от предыдущего распада или от начала записи спектра), зависящий от активности. Моделирует процессы временных задержек при регистрации сигналов, процессы «запирания» счётчиков из-за мёртвого времени. Модель показала хорошее согласие с результатами экспериментальных измерений.

Литература

1. Campion P.J. / Appl.Radiat. and Isotopes, 4, 232, 1959.
2. В.И.Чернышев, С.В.Коростин / Цифровые методы совпадений в метрологии радионуклидов / АНРИ, 2003 № 4 (35), стр. 50-56.

НЕЗАВИСИМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В.А. Кожемякин¹, Е.В. Быстров¹, А.Н. Новик², П.В. Кучинский²

*¹Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
Минск, Республика Беларусь*

²НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск, Республика Беларусь

В связи с проблемами ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и со строительством Белорусской АЭС актуальной является задача разработки и развертывания на прилегающих территориях системы радиационного контроля окружающей среды.

К настоящему времени нами разработана, изготовлена и развернута автоматизированная система радиационно-метеорологического мониторинга окружающей среды Белорусской АЭС. Система имеет в своем составе 10 автоматических пунктов измерения (АПИ) и центр реагирования (ЦР).

АПИ размещены в зоне влияния Белорусской АЭС в населенных пунктах Гродненской и частично Минской области: Островец, Гудогай, Ошмяны, Гервяты, Трокеники 1, Михалишки, Лынтупы, Кемелишки, Нарочь, Котловка.

Центр реагирования размещен на территории Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Минск).

Канал связи АПИ с ЦР – GSM/GPRS с двойным дублированием. Коммуникационные модули ПО АПИ, производят обмен информацией с удаленным центром реагирования (ЦР) через сеть интернет, используя различные протоколы стека TCP/IP.

Метеорологический мониторинг осуществляется метеостанциями WXT-520 (Финляндия), установленных в местах развертывания АПИ.

Отличительной особенностью разработанной системы является использование в составе АПИ высокочувствительных быстродействующих спектрометрических блоков детектирования гамма-излучения, что позволило накапливать измеренные спектры гамма-излучения в базе данных центра реагирования и производить автоматическую идентификацию радионуклидов, фиксировать малейшие изменения радиационного фона.

ДЕТЕКТОРЫ КОПЛАНАРНОЙ, СТРИПОВОЙ И ПИКсельНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ CdZnTe

И.М. Газизов, А.А. Смирнов, В.С. Хрунов, В.Г. Федорков
АО «Институт физико-технических проблем», Дубна, Россия
¹*E-mail: iftp@dubna.ru*

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.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРОДУКЦИЯ ЗАО «НПЦ «АСПЕКТ»

Докладчик: А.В. Прохоров
ЗАО «НПЦ «АСПЕКТ», Дубна, Россия

Закрытое акционерное общество Научно-производственный центр "АСПЕКТ" основан в июне 1991 г. Сегодня ЗАО НПЦ "АСПЕКТ" занимает лидирующее положение в России в области разработки и производства современной профессиональной спектрометрической, радиометрической и дозиметрической аппаратуры. В научных и конструкторских подразделениях центра работают высококвалифицированные специалисты, имеющие большой опыт работы в области ядерного приборостроения.

Специалисты НПЦ «АСПЕКТ» работают в тесном контакте с учеными Объединенного института ядерных исследований, привлекая их к работам по созданию аппаратуры. Большое количество физических установок института в сочетании с высоким уровнем персонала создают уникальные условия для испытаний и тщательной наладки новой техники на этапе разработки. Ведется сотрудничество и с другими ведущими научными центрами России.

Приборы широко используются в радиологических и экологических лабораториях, на промышленных предприятиях и в научно-исследовательских организациях Министерства атомной промышленности, Министерства обороны, Государственного таможенного комитета РФ и в других министерствах и ведомствах как в России, так и за рубежом. Высокий технический уровень создаваемых изделий отмечен премией Правительства РФ в области науки и техники за 2000 г.

СЕРТИФИКАТЫ И ПАТЕНТЫ

Все выпускаемые изделия [сертифицированы](#) и внесены в Государственный реестр средств измерений РФ. Основные виды продукции имеют [международные сертификаты](#). Наиболее важные технические решения [запатентованы](#).

ПРОДУКЦИЯ

- Многоканальные амплитудные анализаторы
- Электронные модули для амплитудного и временного анализа ядерного излучения
- Стационарные и портативные спектрометры ядерного излучения
- Дозиметрическая и радиометрическая аппаратура

- Радиационные мониторы
- Приборы для контроля и учета ядерных материалов

ПРОИЗВОДСТВО

Производственные подразделения, выполняющие наши заказы, оснащены высокоточным оборудованием, что позволяет качественно изготавливать самую сложную продукцию: от производства многослойных печатных плат и механических деталей до уникальных материалов для производства сцинтилляционных и нейтронных детекторов.

Обеспечивая высокую надежность нашей продукции, мы уделяем особое внимание службе испытаний и контроля качества. Подтверждением этого является получение метрологической службой предприятия права на поверку выпускаемых нами средств измерений от Госстандарта РФ.

ПОЛЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЗАХВАТНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭНЕРГИЕЙ ДО 10 МэВ

Д.И. Комар¹, В.Д. Гузов¹, Р.В. Лукашевич¹, В.А. Кожемякин¹,
С.А. Кутень²

¹Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
Минск, Республика Беларусь

²Институт ядерных проблем БГУ, Минск, Республика Беларусь

Широкое распространение и развитие техногенных источников ионизирующего излучения, в частности, таких как ускорители заряженных частиц и ядерные реакторы, приводит к необходимости разработки метрологического обеспечения спектрометрической и дозиметрической аппаратуры, применяемой в полях высокоэнергетического фотонного излучения.

В соответствии с государственной поверочной схемой для эталонных дозиметрических измерений гамма-излучения в диапазоне 0,06 – 3 МэВ используются радионуклиды ²⁴¹Am (0,06 МэВ), ¹³⁷Cs (0,662 МэВ) и ⁶⁰Co (1,250 МэВ). Калибровка и поверка ядерно-физической аппаратуры в полях тормозного излучения с энергией более 3 МэВ от ускорителей стандартно не осуществляется. Дозиметры, откалиброванные в стандартных полях радионуклидных источников, могут некорректно измерять мощность дозы от высокоэнергетического гамма-излучения.

В соответствии с рекомендациями международных стандартов энергетический диапазон приборов радиационного мониторинга на АЭС должен быть расширен до 7 МэВ² и до 10 МэВ³.

Поля гамма-излучения, пригодные для калибровки приборов, должны содержать в своем спектре набор одиночных линий с известной энергией. Можно использовать высокоэнергетическое захватное гамма-излучение от мишеней из титана (до 7 МэВ) и никеля (до 10 МэВ) размещенных в потоке тепловых нейтронов.

Интересной представляется возможность использования поверочной установки нейтронного излучения с радионуклидным источником быстрых нейтронов (²³⁸PuBe, ²⁵²Cf и др.) для получения поля захватного гамма-излучения до 10 МэВ. Такая возможность реализована на установке УПН-

² International standard IEC 61017:2016

³ International standards IEC 60846-1:2009, IEC 60846-2:2015

АТ140 производства УП «АТОМТЕХ» с $^{238}\text{PuBe}$ источником нейтронов ИБН-8-6 ($1,91 \cdot 10^7$ нейтр./с). Контейнер-коллиматор с тепловой вставкой формирует коллимированный пучок со значительной составляющей (более 25%) нейтронов тепловых энергий от источника $^{238}\text{PuBe}$. Мишень, размещенная в канале коллиматора установки в потоке тепловых нейтронов становится источником высокоэнергетического захватного гамма-излучения с характерным для данного материала энергетическим спектром.

Экспериментальные аппаратурные спектры были получены спектрометрическим блоком детектирования на основе кристалла $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ с нелинейной характеристикой преобразования «канал–энергия» в диапазоне до 10 МэВ (рисунок 1).

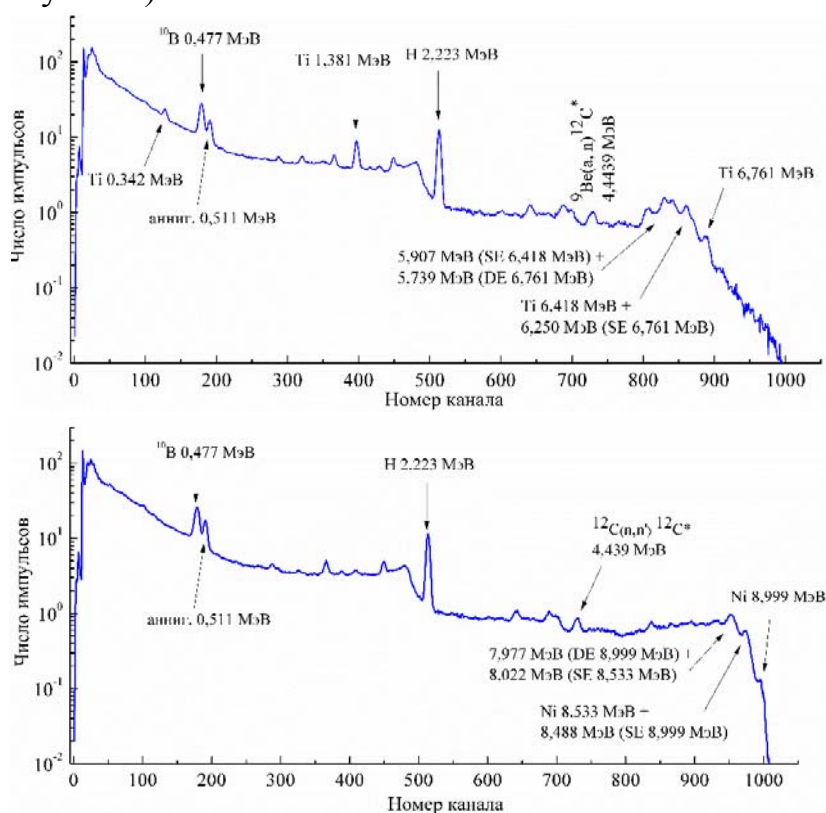


Рис. 1. Спектры захватного гамма-излучения с использованием мишеней из титана и никеля, измеренные блоком детектирования с кристалла $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$

Анализ экспериментальных данных подтвердил возможность калибровки спектрометров до 10 МэВ по линиям захватного излучения. Эталонным дозиметром ДКС-АТ5350 с ионизационной камерой ТМ32002 определены дозиметрические характеристики полученных полей, а при помощи Монте-Карло моделирования рассчитано энергетическое распределение мощности кермы в воздухе для мишеней из титана и никеля. В поле захватного гамма-излучения на установке УПН-АТ140 удобно проводить калибровку разрабатываемых средств радиационной защиты.

Кроме того, существует номенклатурный ряд приборов с различными типами детекторов, которые можно дополнительно исследовать в подобных полях с целью расширения их энергетического диапазона измерений до 10 МэВ.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕСТА СЦИНТИЛЛЯЦИИ В ГАММА-КАМЕРЕ С ГЕКСАГОНАЛЬНЫМИ ФЭУ

Н.В. Помошников, Н.В. Рудин

АО «Научно-технический центр «Ядерно-физические исследования», Санкт-Петербург, Россия

В ядерной медицине большое внимание уделяется развитию радионуклидной диагностики. Одним из таких методов является однофотонная эмиссионная компьютерная томография, использующая позиционно-чувствительные блоки детектирования гамма-излучения (гамма-камеры).

Улучшение точности и информативности данного метода диагностики является актуальной темой научных исследований и разработок.

Широкое распространение получили гамма-камеры, состоящие из сцинтиллятора большой площади и массива фотоумножителей (ФЭУ). В таких гамма-камерах для восстановления координаты сцинтилляции используется ангеровский алгоритм, представляющий собой поиск координаты места вспышки как «центра масс», используя амплитуды с каждого ФЭУ и координаты их центров. Характерный недостаток данного метода – ухудшение точности определения координаты из-за шумов ФЭУ, расположенных далеко от места вспышки.

В настоящем докладе представлен метод определения координат места сцинтилляции в гамма-камере. Блок детектирования состоит из кристалла NaI(Tl) размерами 593x470x9,5 мм. Светосбор осуществляется с помощью 52 гексагональных ФЭУ Hamamatsu R6235, настроенных так, что каждый ФЭУ даёт импульс одинаковой амплитуды на одинаковую вспышку света.

В качестве данных для обработки использовался полученный непосредственно с блока детектирования набор амплитуд для каждой сцинтилляции.

Основой метода является суммирование амплитуд ФЭУ по колонкам в трёх координатных осях с целью последующего исключения из процесса вычисления координаты колонок ФЭУ, суммы которых не превышают установленного порогового значения.

Преимущество метода состоит в том, что сигналы с малой амплитудой, расположенные в непосредственной близости от сигналов с большой амплитудой, участвуют в определении координаты как полезные,

так как сумма колонки, включающей в себя сигналы с большой амплитудой, превышает пороговую сумму. Колонки, состоящие только из шумовых сигналов с малой амплитудой, сумма которых не превышает пороговую, отбрасываются и не участвуют в определении координат. Таким образом, разработанный метод повышает точность восстановления координат места сцинтилляции в гамма-камере.

Сравнение данного метода с классическим ангеровским алгоритмом показало 10% превосходство в точности. Также, метод лишён характерного недостатка кластерного ангеровского алгоритма – двоения пиков на границе кластера, и связанной с этим неточности в определении координаты сцинтилляции.

ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ МЕТОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕТЕКТОРОВ ИЗ ОЧГ (ОСОБО ЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ) ДЛЯ АНАЛИЗА ЗОЛОТОСОДЕЖАЩИХ РУД

А.Д. Соколов¹, Ю. Н. Бурмистенко², В.В. Гостило¹, В.Л. Титов¹

¹ Baltic Scientific Instruments, Рига, Латвия

² Applied Physics Instruments, Эспоо, Финляндия

Золотодобывающие предприятия традиционно использовали пробирные методы анализа для анализа руд золота. Данные методы анализа использовались в течение сотен лет и продолжает оставаться стандартными методами анализа руд при наличии золота или серебра. Тем не менее, пробирный метод анализа содержит серьезные недостатки для крупных золотых рудников.

Гамма-активационный метод, как альтернатива пробирному методу анализа.

Среди различных ядерных физических методов, применяемых для анализа руд, признанным является применение гамма-активационного метода. Суть метода заключается в облучении образцов руды гамма-квантами высоких энергий, генерируемых линейным ускорителем, и детектировании индуцированной активности возбужденных ядер золота гамма-спектрометром.

Способ имеет следующие преимущества:

- высокая проникающая способность гамма-излучения позволяет анализировать большие образцы, устраняя необходимость дробления и измельчения образца, тем самым значительно увеличивая представительную точность анализа;
- из-за короткого периода полураспада возбужденных ядер золота продолжительность анализа, включая облучение образца и детектирование индуцированной активности и расчет содержания золота, не превышает 20-30 с; – метод активации гамма обеспечивает достаточную чувствительность, точность, избирательность, репрезентативность и производительность анализа для современной золотодобывающей промышленности;
- результаты анализа практически не зависят от химического состава образца;

- метод является экологически благоприятным - индуцированная активность образца снижается до фоновых уровней через несколько минут после завершения анализа;
- образцы остаются неизменными после анализа (это также относится к стандартным образцам, используемым для сравнения) и может повторяться несколько раз;
- метод позволяет проводить многоэлементный анализ в течение одного цикла исследования и измерений;
- метод может быть полностью автоматизирован;
- метод может быть основой для контроля качества при добыче золота и добыче определенных полезных ископаемых и элементов.

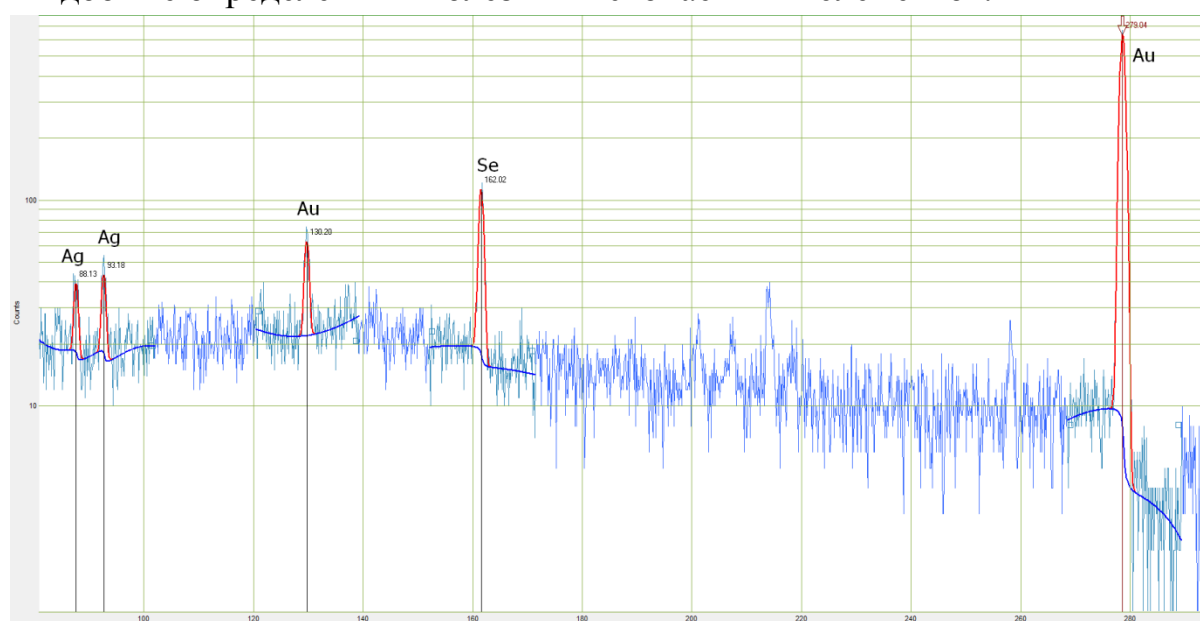


Рис. 1. Спектр образца (PЗС-6) с содержанием золота 12.8 г/т и серебра 24.6 г/т. Мощность ускорителя 8 кВт; время облучения -10 с; время измерения - 15 с.

При исследовании и разработке промышленной системы гамма-активационного анализа золоторудной руды были получены многообещающие результаты. В системе используется электронный ускоритель для возбуждения атомов в образцах руды и прецизионный двухканальный спектрометр гамма-излучения для регистрации спектров, которые испускаются из образца. Предел обнаружения золота за 15 секунд измерений составлял 0,08-0,20 г/т. Чувствительность регистрации для 1 г/т за 15 секунд измерений составляла от 500 до 650 импульсов. Система анализа руды имеет возможность проводить анализ до 4000 проб в сутки. На основе оценочных затрат на добычу полезных ископаемых, пользователи могут вернуть свои инвестиции в систему анализа руды менее чем за два года.

В настоящее время исследуются возможности оптимизации системы анализа также для других руд, в том числе содержащих серебро и платину.

ДАТЧИКИ РАДИАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ АЭРОГАММА-СЪЕМКИ

В.А. Кожемякин¹, В.П. Полищук²

*¹Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
Минск, Республика Беларусь*

²Военная академия Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь

Широкое распространение малоразмерных беспилотных систем в качестве средств обнаружения разноплановых наземных объектов стимулировало нарастающий интерес к бортовым малогабаритным устройствам детектирования гамма-излучения. Цель их применения в составе малоразмерных и миниатюрных летательных аппаратов – обеспечение дистанционного радиационного мониторинга окружающей среды в зонах, прилегающих к радиационно-опасным и радиационно-чувствительным объектам.

Для использования в составе таких летательных аппаратов предлагается линейка интеллектуальных блоков детектирования (датчиков) гамма-излучения, способная выполнять следующие функции в зависимости от их назначения и решаемых задач:

- обнаруживать источники радиоактивного загрязнения;
- измерять уровни радиации на высоте полета;
- приводить измеренное значение мощности дозы на высоте полета к уровню 1 метр (при наличии информации о высоте полета над поверхностью объекта);
- осуществлять идентификацию радионуклидного состава загрязнения по гамма-спектрам;
- оценивать плотность поверхностного загрязнения.

В докладе приводятся основные технические характеристики интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения, из числа которых может быть выбран потребителем приемлемый вариант в соответствии с допустимой массой полезной нагрузки и целевым применением.

К настоящему времени сцинтилляционные блоки детектирования БДКГ-11М, БДКГ-24, БДКГ-04, БДКГ-211М уже нашли свое применение в составе беспилотных малоразмерных летательных аппаратов (самолетов, вертолетов, квадрокоптеров). В докладе представлены реализованные и

рекомендуемые к использованию в их составе блоки детектирования, особенности ведения радиационного мониторинга, его преимущества и ожидаемые результаты.

МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТЕЙ СМЕСИ РАДИОНУКЛИДОВ С РАЗНЫМИ УРОВНЯМИ ОБНАРУЖЕНИЯ

**В.Н. Аваев¹, А.И. Яшников¹, Е.Ю. Гахова², В.Н. Даниленко²,
С.Ю. Федоровский², И.В. Кувыкин³**

¹АО «НИКИЭТ», г. Москва, Россия

²ООО «ЛСРМ», г. Зеленоград, Россия

³ВНИИФТРИ, п. Менделеево, Россия

Стандартный подход к мониторингу смеси радионуклидов, который применяется в системах контроля герметичности оболочек твэлов (КГО) ядерных реакторов, а также при определении примесей в материалах активационным методом, представляет собой непрерывное измерение спектров за заданное фиксированное время.

В задачу систем КГО входят измерения активности ПД от значений соответствующих поверхностному загрязнению твэлов, до значений, превосходящих эксплуатационный предел (ЭП) работы реактора. Различие в указанных активностях составляет 1000 и более раз.

В системах КГО наряду с продуктами деления (ПД), по активности которых определяется степень негерметичности оболочек твэлов, присутствуют радионуклиды коррозионной и собственной активности теплоносителя, а для систем, определяющих активность продуктов деления в виде инертных газов - активность Ar-41.

Размеры измерительной емкости систем КГО должны быть такими, чтобы загрузка спектрометра при ЭП не превосходила допустимую.

Эти обстоятельства определяют выбор продолжительности измерения.

При работе системы КГО в автоматическом режиме выбирается время измерения, которое позволяет измерить активность ПД от поверхностного загрязнения твэлов. Обычно это время составляет не менее 2000 с. Такое время не позволяет оперативно контролировать изменение степени негерметичности твэлов. Особенно существенно это для систем, в которых по резкому увеличению активности короткоживущих радионуклидов определяется место положения негерметичных твэлов, а также при исследовании характеристик твэлов на испытательных стендах, когда в процессе испытаний изменяется мощность реактора.

При определении количества примесей в исследуемом объекте, как правило, существуют радионуклиды с различными периодами полураспада. В

процессе измерений оператор меняет время набора, стараясь обеспечить условия измерения для определения активности радионуклидов с минимальной погрешностью. При наличии в исследуемом образце значительного количества радионуклидов трудно выбрать оптимальные интервалы измерения.

Оптимальным решением, как нам представляется, является выбор времени обновления спектра для каждого радионуклида отдельно. Такой алгоритм был реализован в ПО Heraclitus, разработанном ООО «ЛСРМ».

Heraclitus представляет собой реализацию алгоритма достоверного измерения изменяющихся активностей радионуклидов за минимально возможное время. Для этого пользователем задаётся время обновления спектра (t), набор контролируемых радионуклидов и предел неопределённости, при достижении которой радионуклид считается измеренным. Запускается набор спектра. По истечении времени t считаются активности заданных радионуклидов и их неопределённости. Если неопределённость измерения активности для радионуклида меньше порогового значения, то активность этого радионуклида заносится в базу данных и отображается на графике. Если точности измерения активности недостаточно, то спектр, накопленный за следующий промежуток времени t для этого радионуклида, будет прибавлен к предыдущему, и для суммарного спектра будет опять рассчитываться активность. Так до тех пор, пока не будет достигнута нужная точность или максимальное время набора спектра, которое также задаётся пользователем.

В результате будет получен график активности для каждого радионуклида от времени, причём частота следования точек будет выбрана максимально возможная, чтобы обеспечить необходимую достоверность измерения всех радионуклидов. Таким образом, будет достигнут максимум достоверности результатов измерения активности каждого радионуклида и минимум времени обнаружения появившихся или начавших свой рост радионуклидов.

СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВЕЖЕГО ТОПЛИВА VeryFuel

И.С. Бредихин

ООО «ГаммаТек», Россия, Москва

ivan@gammatech.pro

Контроль качества свежего топлива важен как для всех сторон:

- Организации-производителя, чтобы повышать качество продукции;
- Государства, чтобы проводить регулирование и контроль;
- Международных организаций (МАГАТЭ) для контроля применения ядерных материалов для гражданских или военных нужд;

Для решения данных задач компанией CAEN был разработан прибор VeryFuel, основу которого (детекторы и методы анализа данных) составили разработки сделанные и используемые сейчас для Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).



VeryFuel - прибор неразрушающего контроля (НК) для проверки современных свежих топливных сборок. VeryFuel имеет возможность измерять содержание ^{235}U с беспрецедентной скоростью и значительно более низкой систематической неопределенностью при наличии «ядовитых»

продуктов деления. VeryFuel - это жидкостный сцинтилляционный прибор, детектирующий быстрые нейтроны, возникающих от ядерных делений. Стандартная геометрическая конфигурация соответствует профилю топливных сборок для реакторов PWR и ВВЭР-1000.

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО СУ-07ЦА С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА (РАЗРАБОТКА ЗАО «НПЦ «АСПЕКТ»)

К.А.Зацепин, А.С.Калинин, А.П.Марков, А.Н Пугачёв
ЗАО «НПЦ «АСПЕКТ», Дубна, Россия

Докладчик: Зацепин К.А.

Цифровое спектрометрическое устройство **СУ-07ЦА** предназначено для создания спектрометрического тракта и служит для линейного преобразования выходного сигнала полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений в цифровой код, накопления кода в виде амплитудного спектра, с последующим считыванием спектра в ПК.

Отличительной особенностью СУ-07ЦА является Цифровая Обработка Сигнала (ЦОС) и минимальное количество аналоговых схем, участвующих в обработке сигнала.

В СУ-07ЦА ЦОС осуществляется с помощью программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), что позволяет реализовать высокопроизводительную обработку сигнала. После цифрового фильтра исполняются функции восстановления базовой линии, тонкой настройки усиления и стабилизации спектра с цифровой точностью и стабильностью.

Массо-габаритные характеристики и возможность работы от внешних аккумуляторов позволяют комфортно выполнять измерения в полевых условиях. Высокая температурная стабильность гарантирует, что форма и положение пика сохраняться при длительном использовании устройства в местах с большими перепадами температуры, что позволяет проводить измерения в открытой местности.

Для повышения работоспособности оборудования при нештатных ситуациях в СУ-7ЦА предусмотрены системы защиты уровня высокого напряжения (многоуровневые запреты на подъем высокого напряжения), а также возможность работы от встроенного аварийного аккумулятора.

Совместно со спектрометрическим устройством разработано программное обеспечение, позволяющее считывать и обрабатывать спектры на ПК, отслеживать состояние СУ-07ЦА и управлять им. В программное обеспечение встроен цифровой осциллограф, который позволяет проверить цифровой трапецевидный сигнал, время восстановления, настройку полюса-нуля.

Основные характеристики:

- Габариты 210x140x55 мм
- Питание: от внешнего аккумулятора или внешнее +12В
- Наличие встроенного аварийного аккумулятора
- Встроенный источник высокого напряжения до 5000В
- Встроенный источник питания предусилителя
- Разрешение накапливаемого спектра: до 16К каналов
- Температурный диапазон: от +5 до +50.

В докладе приведены результаты тестирования спектрометра.

По сравнению с аналоговыми конструкциями СУ-07ЦА позволяет обеспечивать высокую стабильность, улучшенное разрешение и более высокую пропускную способность при том же разрешении.

СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ ГЭТ6-2016

**И.В. Алексеев, А.В. Заневский, Г.В. Жуков, С.В. Сэмпан,
Т.И. Шильникова, Е.Е. Терещенко, С.Г. Трофимчук, И.А. Харитонов.**
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия

Во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» с 2012г. по 2016г. по заказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии выполнялись работы по модернизации и совершенствованию Государственного первичного эталона единиц активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников ГЭТ 6-95. В результате выполненных работ был утверждён Государственный первичный эталон единиц активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников в составе и с характеристиками, указанными в паспорте эталона, и ему был присвоен регистрационный номер ГЭТ 6-2016 взамен ГЭТ 6-95.

Государственный первичный эталон состоит из комплекса следующих технических средств и вспомогательных устройств:

- установка УЭАП-1 со счётчиками бета-излучения для воспроизведения единиц активности бета-излучающих радионуклидов и потока (внешнего излучения) бета-частиц методом 4π -бета-счета;
- установка УЭАПП-2 со счётчиками альфа-излучения для воспроизведения единиц активности альфа-излучающих радионуклидов и потока (внешнего излучения) альфа-частиц методами $2\pi\alpha$ -счета и определённого телесного угла;
- установка УЭА-3 со счётчиками альфа-, бета-, гамма- и рентгеновского излучения для воспроизведения единицы активности радионуклидов со сложными схемами распада методом совпадений;
- установка УЭА-4 с ионизационной камерой для воспроизведения единицы активности радионуклидов в источниках гамма-излучения ионизационным методом;
- установка УЭА-5 с калориметром для воспроизведения единицы активности радионуклидов в источниках фотонного излучения калориметрическим методом;

- установка УЭА-6 с жидкосцинтилляционным альфа-бета-счётчиком, реализующая метод отношения двойных и тройных совпадений (TDCR) для воспроизведения единицы удельной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов;

- установка УЭА-7 со сцинтиллятором для воспроизведения единицы активности радионуклидов в источниках гамма-излучения методом 4π -счета;

- комплект источников бета-излучения на основе радионуклидов $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типа СО;

- весы электронные МЕТТЛЕР АЕ 240.

При совершенствовании первичного эталона в его состав были включены новые установки и средства измерений:

- установки, созданные в процессе модернизации первичного эталона УЭА-6, УЭА-7;

- комплект источников бета-излучения на основе радионуклидов $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ типа СО;

Исследования первичного эталона заключались в определении поправочных коэффициентов для эталонных установок и определении их метрологических характеристик: диапазонов воспроизведения активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока альфа-, бета-частиц и фотонов, составляющих погрешностей и неопределённостей воспроизводимых величин, величины нестабильности эталонных установок.

Диапазоны значений, в которых воспроизводятся единицы величин, средние квадратические отклонения результата измерений, S_o , при числе независимых измерений 11, стандартные неопределённости, оцененные по типу А, u_{0A} , неисключённые систематические погрешности, θ_o , стандартные неопределённости, оцененные по типу В, u_{0B} , суммарные стандартные неопределённости, u_{0C} , расширенные неопределённости, U_o , при $K = 2$ и нестабильность эталона за год, V_o , приведены в таблице 1.

Таблица 1

Метрологические характеристики первичного эталона ГЭТ 6-2016

Наименование физической величины	Диапазон значений	S_0	u_{0A}	θ_0	u_{0B}
Активность радионуклидов, Бк					
бета-излучающих	$1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^5$ $1 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^{12}$	$(0,01-0,2) \cdot 10^{-2}$	$(0,01-0,2) \cdot 10^{-2}$	$(0,1-4) \cdot 10^{-2}$	$(0,1-4) \cdot 10^{-2}$
альфа-излучающих	$1 \cdot 10^1 - 5 \cdot 10^{12}$				
альфа-гамма и бета-гамма	$1 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^{11}$				
электронозахватных	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^8$				
спонтанно-делящихся	$5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^9$				
Удельная активность радионуклидов, Бк·г ⁻¹					
альфа-бета-излучающих	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$	$(0,01-0,2) \cdot 10^{-2}$	$(0,01-0,2) \cdot 10^{-2}$	$(0,01-3) \cdot 10^{-2}$	$(0,01-3) \cdot 10^{-2}$
бета-гамма и электроннозахватных	$1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6$				
Поток, с ⁻¹					
альфа-, бета-частиц	$5 - 5 \cdot 10^4$	$(0,01-0,2) \cdot 10^{-2}$	$(0,01-0,2) \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$
фотонов	$5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^9$	$(0,1-0,5) \cdot 10^{-2}$	$(0,1-0,5) \cdot 10^{-2}$	$(0,5-2) \cdot 10^{-2}$	$(0,5-2) \cdot 10^{-2}$

Метрологические характеристики усовершенствованного Государственного первичного эталона активности ГЭТ6-2016 соответствуют лучшим зарубежным аналогам.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

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

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

Сообщается о поверочных установках, разработанных в УП «АТОМТЕХ» и применяемых в качестве рабочих эталонов течение ряда лет в практике метрологических служб, а также о разработке новых эталонов в области метрологии ионизирующих излучений.

Установки дозиметрические гамма-излучения УДГ-АТ130, УДГ-АТ110 обеспечивают поверку средств измерений гамма-излучения в коллимированном поле типового коллиматора по ГОСТ 8.087-2000. Установки в качестве рабочих эталонов предназначены для воспроизведения и передачи единиц кермы в воздухе, амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы средствам измерений гамма-излучения по ГОСТ Р 8.804-2012.

Особенностью установки УДГ-АТ130 является обеспечение поверки дозиметров гамма-излучения в широком диапазоне мощности дозы – от 0,3 мкГр/ч до 50 Гр/ч. Дополнительно к ^{137}Cs , в установке используются источники из ^{241}Am и ^{60}Co . В 2015 г. проведены сертификационные испытания, на основании которых установка может быть аттестована в качестве эталона I разряда с погрешностью 1,5 – 2,5 % по мощности кермы в воздухе и 2,5 – 4,5 % по мощности амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы.

Установка УДГ-АТ110 обеспечивает поверку дозиметров радиационной защиты в диапазоне мощности кермы в воздухе от 0,3 мкЗв/ч до 0,5 Гр/ч в стандартном исполнении и до 50 мГр/ч с максимальной активностью ^{137}Cs 5,6 Ки при размещении места оператора в помещении рабочей камеры.

Разработано и аттестовано в 2015 г. в соответствии с ГОСТ Р 8.654-2009 прикладное программное обеспечение «Программный комплекс УДГ», дающее дополнительные возможности управления установками УДГ-АТ110, АТ130 с использованием персонального компьютера, автоматизации измерений и процесса поверки. В выпускаемые установки ПО входит

комплектно, эксплуатируемые могут быть дооснащены на договорной основе.

Выполнено проектирование модификаций УДГ-АТ110, обеспечивающих:

1. использование дополнительно ^{60}Co , а также ряда (до 9 штук) радионуклидных источников в диапазоне от 5,9 до 1250 кэВ;
2. диапазон мощности дозы до 2 Гр/ч (рабочее название «УДГ-АТ120»).

Разработана и внесена в Государственный реестр средств измерений в 2016 г. установка поверочная нейтронного излучения УПН-АТ140. Установка основана на использовании источников быстрых нейтронов ^{238}Pu -Be и ^{252}Cf , обеспечивает формирование полей быстрых и тепловых нейтронов в коллимированном пучке установок типа УКПН, поля быстрых нейтронов в «открытой» геометрии с применением теневого конуса по ИСО 8529-2 (2000).

Разработана поверочная установка рентгеновского излучения УПР-АТ300. В установке используется высокостабилизированный рентгеновский аппарат ISOVOLT 320 M2 с металлокерамической биполярной трубкой MIR 320/26. Формирователь поля обеспечивает реализацию режимов излучения в соответствии с ИСО 4037-1 (1996). Управление сменой фильтров, заслонкой формирователя осуществляется дистанционно с пульта управления. Электроизмерительный канал включает камеру-монитор, электрометр ДКС-АТ5350/1, измерители параметров окружающей среды. Система позиционирования поверяемых приборов в пучке излучения построена на основе калибровочного стенда АТ-03, обеспечивающего автоматизированное перемещение рабочего стола по координатам X, Y и Z с точностью 50 мкм.

Разработана эталонная автоматизированная экстраполяционная ионизационная камера бета-излучения, предназначенная для прецизионного измерения поглощенной дозы бета-излучения в тканеэквивалентном веществе от дозиметрических источников из радионуклидов: ^{147}Pm , ^{204}Tl , ^{85}Kr , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$.

Камера разработана и изготовлена с целью включения в состав Государственного первичного эталона поглощенной дозы бета-излучения и использования в составе эталонной установки для передачи единиц величин дозиметрам поглощенной дозы в ткани бета-излучения. Высокоточный экстраполяционный метод обеспечивается с использованием системы прецизионного автоматического позиционирования подвижного электрода камеры с погрешностью не более 2 мкм.

В настоящее время завершается изготовление калибровочного стенда, предназначенного для передачи единиц поглощенной дозы, воспроизводимых экстраполяционной камерой в полях стенда, дозиметрам поглощенной дозы в ткани, дозиметрам направленного эквивалента дозы и индивидуальным дозиметрам бета-излучения.

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ В АО «ИФТП»

И.М. Газизов, А.А. Смирнов, В.Г. Федорков, В.С. Хрунов

АО «Институт физико-технических проблем», Дубна, Россия

¹*E-mail: iftp@dubna.ru*

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 разработана линейка 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 мм² 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.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЯДЕРНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

В.А. Кожемякин

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

Основным элементом приборов, аппаратуры и систем, применяемых в области ядерно-физических измерений, являются детектирующие устройства для регистрации различных видов ядерных излучений.

Современные технологии и устройства детектирования в области ядерного приборостроения в большинстве случаев основаны на создании и использовании блоков детектирования, представляющих собой законченные интеллектуальные устройства с тем или иным видом интерфейса, обеспечивающим их подключение к аппаратуре управления, сбора и обработки данных (устройства обработки и отображения информации, персональные компьютеры, системы верхнего уровня и т.д.).

В докладе представлен широкий спектр разработанных и промышленно изготавливаемых интеллектуальных блоков детектирования на основе различных видов детекторов α -, β -, γ -, X-, n-излучений, функционально законченных и используемых в области дозиметрических, радиометрических, спектрометрических и других измерений. Располагая такого ряда устройствами, проектировщики систем, аппаратуры, приборов получают возможность для гибкой и эффективной разработки аппаратно-программных средств различного назначения, востребованных на практике.

“Интеллектуальные” блоки или устройства детектирования метрологически обеспечиваются при выпуске, что значительно упрощает калибровочные процедуры для системных интеграторов.

Для целей метрологического обеспечения предлагается ряд современных эталонных градуировочных автоматизированных установок и технических средств (гамма-дозиметрия, нейтронная дозиметрия, бета-дозиметрия, дозиметрия околофоновых уровней, формирование поля гамма-излучения высоких энергий, спектрометрия высоких энергий и т.д.).

На основе используемых современных детекторных технологий и устройств создан ряд конкурентоспособных измерительных приборов, аппаратуры и систем для целей радиационного контроля и ядерных измерений:

- стационарные гамма-радиометры, гамма-спектрометры, гамма-бета-спектрометры для радиационного контроля проб окружающей среды;
- стационарные радиометры активности α - и β -излучающих нуклидов в пробах;
- спектрометры излучения человека;
- портативные спектрометры-идентификаторы;
- мобильные и носимые радиационные сканеры;
- беспробоотборные спектрометры почвы, стройматериалов;
- погружные спектрометры;
- поисковые, дозиметрические и спектрометрические устройства для беспилотных летательных аппаратов (самолеты, вертолеты, квадрокоптеры);
- дозиметрические и спектрометрические устройства для робототехнических систем;
- автоматические пункты радиационного контроля для систем АСКРО;
- системы автоматической сигнализации о самоподдерживающейся цепной реакции;
- измерительные каналы для систем радиационного контроля;
- транспортные и пешеходные радиационные мониторы;
- многофункциональные дозиметры-радиометры;
- широкая номенклатура блоков детектирования для использования в системах АСРК;
- аппаратура аэрогамма-съемки для пилотируемых средств;
- блоки детектирования для использования в составе досмотровых установок (рентгеновского и ускорительного типов);
- устройства детектирования на основе SiPM;
- прочая аппаратура и устройства.

Значительная часть из них создана в рамках совместных работ и проектов с международным участием (IAEA, JAEA, NIST, СТВТО, РТВ и др., а также ряд ведущих российских организаций).

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ

**А.С. Коротков¹, А.В. Положенцева¹, О.Н. Колерова¹,
В.Ф. Ельцин², А.К. Чураков²**

¹ФГУП «ВНИИФТРИ», Москва, Россия

²ООО «Предприятие «ГринСтар Технолоджиз», Москва, Россия

Разработан метод измерений мощности дозы гамма-излучения спектрометрическим комплексом, основанный на определении скорости счёта в интервалах энергий измеренного аппаратурного спектра гамма-излучения, переходе от числа импульсов (скорости счёта) в спектре к флюенсу (или плотности потока) гамма-квантов и расчете необходимой дозиметрической величины с использованием подходящей справочной характеристики (доза на единичный флюенс) [1]. Метод предусматривает проведение калибровки спектрометрического комплекса для установления коэффициентов перехода от скорости счёта к плотности потока в рассматриваемых интервалах энергии.

Выполнены исследования предложенного метода с использованием гамма-спектрометрического комплекса СКС-07П «Кондор» [2] со сцинтилляционным блоком детектирования на основе NaI(Tl). Определены калибровочные коэффициенты в интервале энергий от 0,06 до 2,5 МэВ путем интерполяции и экстраполяции полученных экспериментальных данных. Выполнены измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МЭД) в аттестованном поле гамма-излучения для подтверждения работоспособности предложенного метода, а также для установления неопределённостей измерения, связанных с процедурой калибровки и угловым распределением излучения.

Достоинства предложенного метода заключаются в увеличении чувствительности по сравнению с традиционными дозиметрами, а также в уменьшении неопределённости измерений за счёт исключения дополнительной погрешности, связанной с отличием энергетического распределения излучения в условиях поверки и измерений. Недостатками метода является введение дополнительных неопределённостей, обусловленных использованием справочных данных о дозовых

коэффициентах и калибровкой спектрометрического комплекса, а также сравнительно небольшой верхний предел измерений МЭД.

Литература

1. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: Справочник – М.: Энергоатомиздат, 1995.-496 с.
2. Комплексы спектрометрические СКС-07П «Кондор». Описание типа средства измерений (приложение к свидетельству №41901 об утверждении типа средств измерений). Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений http://www.fundmetrology.ru/10_tipy_s, 2017