

VIII Международное совещание
ПРОБЛЕМЫ ПРИКЛАДНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ И РАДИОМЕТРИИ
ППСР-2004

Тезисы докладов

г. Юрмала, Латвия
2004 г.

СОДЕРЖАНИЕ

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА АЭС И РАДИОАКТИВНОСТИ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ	6
<i>А.С.Казимиров, В.В.Бабенко, А.Ф.Рудык.....</i>	<i>6</i>
<i>ООО «НПП «АтомКомплексПрилад», г. Киев, Украина</i>	<i>6</i>
СБОР, КОРРЕКЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ	7
<i>А.В.Ушанков.....</i>	<i>7</i>
<i>ЗАО НПЦ «АСПЕКТ», г.Дубна, Россия.....</i>	<i>7</i>
СПЕКТРОМЕТР ИЗЛУЧЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПЛУТОНИЯ И АМЕРИЦИЯ В НЕКОТОРЫХ ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ЧЕЛОВЕКА	8
<i>А.П.Исаков, В.П.Романцов.....</i>	<i>8</i>
<i>ООО НПЦ «Радиационный контроль. Приборы и методы», г.Обнинск, Россия.....</i>	<i>8</i>
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КОМПЛЕКСЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ	10
<i>Е.И.Зайцев</i>	<i>10</i>
<i>ЗАО НПЦ «АСПЕКТ», г.Дубна, Россия.....</i>	<i>10</i>
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ АКИДК В ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗИМЕТРИИ.....	12
<i>А.А. Козлов, В.Д. Богдан-Курило, М.П. Мурашова.....</i>	<i>12</i>
<i>ФГУП Ангарский электролизный химический комбинат (АЭХК),г.Ангарск, Россия.....</i>	<i>12</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ“ПОЧВА-ПАПОРОТНИК”	13
<i>Е. Г. Кузнецова, Л. П. Шура.....</i>	<i>13</i>
<i>Томский политехнический университет, Томск, Россия.....</i>	<i>13</i>
ИЗМЕРЕНИЕ РАДОНА-222 В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА "TRACK 2010Z".	14
<i>Н.В. Аксенов, Т.А. Павленко.....</i>	<i>14</i>
<i>Институт гигиены и медицинской экологии им. А.М. Марзеева АМН Украины ,</i>	<i>14</i>
<i>г. Киев, Украина.....</i>	<i>14</i>
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «LSRM»: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ..	15
<i>Д.А.Булах, В.Н. Даниленко, Е.А.Ковальский, С.Ю.Федоровский, А.Ю.Юферов.....</i>	<i>15</i>
<i>ООО «ЛСРМ», п. Менделеево, Россия.....</i>	<i>15</i>
ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ α-СПЕКТРОВ СЛОЖНЫХ ПРОБ	16
<i>С.В.Малиновский, И.А.Каширин, А.И.Ермаков, В.А.Тихомиров, А.И.Соболев</i>	<i>16</i>
<i>ГУП МосНПО «Радон», Москва, Россия.....</i>	<i>16</i>
РАСЧЕТ ПОПРАВОК НА ИСТИННОЕ СУММИРОВАНИЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ С КАСКАДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ.....	17
<i>А.Н.Берлизов.....</i>	<i>17</i>
<i>ИЯИ, г.Киев, Украина.....</i>	<i>17</i>
<i>В.Н. Даниленко.....</i>	<i>17</i>
<i>ООО «ЛСРМ», п. Менделеево, Россия.....</i>	<i>17</i>
<i>А.С.Казимиров.....</i>	<i>17</i>
<i>НПП «АКП» г.Киев, Украина.....</i>	<i>17</i>
О ПОТЕРЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАДИОМЕТРОВ РАДОНА ТИПА PPA	19
<i>Ю.О.Козында</i>	<i>19</i>
<i>НТЦ «РАДЭК», г.С-Петербург, Россия.....</i>	<i>19</i>
<i>С.В.Сэпман</i>	<i>19</i>
<i>ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, г.С-Петербург, Россия</i>	<i>19</i>
<i>С.В.Кривашев, А.А.Афонин.....</i>	<i>19</i>
<i>ООО «НТМ-Защита», г.Москва, Россия.....</i>	<i>19</i>
<i>Ю.В.Кузнецов, Н.А.Неволина, С.Ю.Кузнецов.....</i>	<i>19</i>
<i>ВНИИФТРИ, Менделеево, Россия.....</i>	<i>19</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ТРОЙНЫХ-ДВОЙНЫХ СОВПАДЕНИЙ И МЕТОДА КАНАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ПРИ ЖИДКОСТНЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ	20
<i>Ю.В.Дубасов, С.А.Пахомов.....</i>	<i>20</i>
<i>НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», С.-Петербург, Россия.....</i>	<i>20</i>
<i>Ю.В. Кулишов, Ю.А. Дубовцев.....</i>	<i>20</i>

ФГУП «ПО «МАЯК», г. Озерск, Россия	20
С.В. Сэпман	20
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», С.-Петербург, Россия.....	20
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ДОЗИРОВКИ РАДОНОСОДЕРЖАЩИХ ФАРМПРЕПАРАТОВ.....	21
Ю.В.Дубасов, С.А.Пахомов, С.П. Ерофеев	21
ГУП НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», С.-Петербург, Россия.....	21
В.В. Кирьянова	21
ГОУ ДПО СПб МАПО, С.-Петербург, Россия.....	21
С.В. Сэпман	21
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», С.-Петербург, Россия.....	21
НИЗКОФОНОВЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ РАДИОМЕТР В-Г-ИЗЛУЧЕНИЙ МКС-Р1-«СПРУТ»	22
Ю.В.Дубасов, С.А.Пахомов, Л.И.Ильин	22
ГУП НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», С.-Петербург, Россия.....	22
С.В. Сэпман	22
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», С.-Петербург, Россия.....	22
АНАЛИЗАТОР ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	23
Д.А.Гоганов, А.Д.Гоганов, Р.И.Плотников	23
НПП "Буревестник", ОАО, г. Санкт-Петербург, Россия.....	23
РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ АНАЛИЗА РУД И ДРУГИХ МАТЕРИАЛОВ НА КОНВЕЕРЕ	24
С. Попов, Д. Доценко, А. Соколов	24
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия	24
О ПРИМЕНЕНИИ ППД ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ДИФРАКЦИОННЫХ СПЕКТРОВ.....	25
П.П.Коваленко, И.Г.Толпекин	25
«НТЦ Экспертцентр», г.Москва, Россия.....	25
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ	26
П.Брангулис, Я.Упмалис, М.Гертанс	26
«Государственная инспекция пробирного надзора», Рига, Латвия.....	26
ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛАХ РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ.....	27
З.Струве, А.Соколов	27
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия	27
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СОРБЕНТОВ РЕНТГЕНО ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ.	28
Э. Валбахс	28
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия	28
Д. Эрмс	28
Институт химической физики Латвийского Университета, Рига, Латвия.....	28
ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР МКС-15ЭЦ С БЛОКОМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛА ВОЛЬФРАМАТА КАДМИЯ	29
А.В.Михайлов, А.Н.Ткачев, И.Г.Толпекин, В.В.Федоренко	29
ЗАО «НТЦ Экспертцентр», г. Москва, Россия.....	29
В.В.Некрасов	29
Научно-исследовательская организация «СЭЛДИ», г. Харьков, Украина	29
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ NaI(Tl) ДЕТЕКТОРА.....	30
В.В.Бабенко, А.Г.Исаев, А.С.Казимиров, И.П. Столяреский.....	30
ООО «НПП “АтомКомплексПрибор”, г. Киев, Украина.....	30
ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕДИЦИНСКИХ ПУЧКОВ АДРОНОВ ДОЗИМЕТРОМ С АЛМАЗНЫМ ДЕТЕКТОРОМ	31
В.М.Головатюк, А.Г.Молоканов,	31
Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия.....	31
С.С.Мартынов, С.А.Попов, В.С.Хрунов.....	31
ФГУП «Институт физико-технических проблем», Дубна, Московская обл., Россия.....	31
Я.Ружичка.....	31
Словакия	31

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПРЯМОПОКАЗЫВАЮЩИЙ ДОЗИМЕТР НА ОСНОВЕ CDTE ИЛИ CDZNTЕ ДЕТЕКТОРОВ.....	33
<i>А.Пешков, В.Пешков, А.Карпов, Н.Марченко, В.Яковлев, А.Кравчук, А.Крумьинь, С.Бурцев</i>	<i>33</i>
<i>ПКФ “Dipol Engineering” SIA, Рига, Латвия.....</i>	<i>33</i>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ДИОДНЫХ МАТРИЦ В КАЧЕСТВЕ ДЕТЕКТОРОВ В РАДИАЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ ДЛЯ РАДИОМЕТРИИ, СПЕКТРОМЕТРИИ, МЕДИЦИНСКОЙ ЭМИССИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ, КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	34
<i>О.С.Фролов, А.Садовничий</i>	<i>34</i>
<i>Научно-производственное объединение «Детектор», Киев, Украина</i>	<i>34</i>
<i>Р.Б.Подвизянюк</i>	<i>34</i>
<i>НИИ микроприборов, Киев, Украина</i>	<i>34</i>
О РАБОТЕ ДЕТЕКТОРОВ ИЗ КРЕМНИЯ И ГЕРМАНИЯ В УСЛОВИЯХ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР	35
<i>К.Н. Гусев, С.Л. Катулина, В.Н. Павлов, В.Г. Сандуковский.....</i>	<i>35</i>
<i>Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия.....</i>	<i>35</i>
<i>Ю.Б. Гуров.....</i>	<i>35</i>
<i>Московский инженерно-физический институт, г.Москва, Россия.....</i>	<i>35</i>
HPGE-ДЕТЕКТОРЫ С ИМПЛАНТИРОВАННЫМИ КОНТАКТАМИ.....	36
<i>К.Н. Гусев, С.Л. Катулина, В.Г. Сандуковский, Я. Юрковски</i>	<i>36</i>
<i>Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия.....</i>	<i>36</i>
<i>Ю.Б. Гуров.....</i>	<i>36</i>
<i>Московский инженерно-физический институт, г.Москва, Россия.....</i>	<i>36</i>
<i>М. Митура-Новак, В. Райхел.....</i>	<i>36</i>
<i>Институт ядерной физики, г.Краков, Польша</i>	<i>36</i>
МУЛЬТИПЛИКАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ДЕТЕКТОРАХ ИЗ КРЕМНИЯ N- И P-ТИПА.....	37
<i>К.Н. Гусев, Н.И. Замятин, С.Л. Катулина, В.Г. Сандуковский</i>	<i>37</i>
<i>Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия.....</i>	<i>37</i>
<i>Ю.Б. Гуров.....</i>	<i>37</i>
<i>Московский инженерно-физический институт, г.Москва, Россия.....</i>	<i>37</i>
<i>А.С. Старостин.....</i>	<i>37</i>
<i>Институт теоретической и экспериментальной физики, г. Москва, Россия.....</i>	<i>37</i>
ОСОБЕННОСТИ ОТКЛИКА РЕНТГЕНОВСКИХ PIN-ДЕТЕКТОРОВ	38
<i>Э.И. Моргунов, А.А. Софиенко.....</i>	<i>38</i>
<i>Институт аналитических методов контроля, Киев, Украина.....</i>	<i>38</i>
MONTE CARLO MODEL OF NAI(TL) DETECTOR UNIT FOR INVESTIGATION OF X-RAY SPECTRA IN THE ENERGY RANGE FROM 3 TO 150 KEV	39
<i>A.V.Gogolev.....</i>	<i>39</i>
<i>JSC Radikon, St.Petersburg, Russia</i>	<i>39</i>
<i>V.V.Grebenschikov</i>	<i>39</i>
<i>State Polytechnical University, St.Petersburg, Russia.....</i>	<i>39</i>
<i>E.A.Damaskinsky.....</i>	<i>39</i>
<i>ASK Roentgen, Ltd., St.Petersburg, Russia.....</i>	<i>39</i>
<i>A.S.Serebryakov.....</i>	<i>39</i>
<i>JSC Comita, St.Petersburg, Russia.....</i>	<i>39</i>
<i>V.V.Smirnov</i>	<i>39</i>
<i>V.G.Khlopin Radium Institute, St.Petersburg, Russia</i>	<i>39</i>
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ CSI(TL) И	40
SI ЛАВИННОГО ФОТОДИОДА	40
<i>С.М.Игнатов, В.М.Чиркин</i>	<i>40</i>
<i>РНИЦ «Курчатовский институт», г.Москва, Россия.....</i>	<i>40</i>
ДЕТЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ TLBR.....	41
<i>М. Шорохов, С. Затолока, И. Лисютин</i>	<i>41</i>
<i>«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия</i>	<i>41</i>
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕНТГЕНОВСКИХ СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИФРАКТОМЕТРИИ	42
<i>А. Дирба, А. Лупилов, В. Залинкевич.....</i>	<i>42</i>
<i>«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия</i>	<i>42</i>
КРЕМНИЙ-ЛИТИЕВЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ С ПЕЛЬТЬЕ ОХЛАДИТЕЛЕМ ДЛЯ РФА.....	43

<i>А. Луцков, И. Лисютин</i>	43
<i>«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия</i>	43
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ВХОДНОЙ СКОРОСТИ СЧЕТА В ЗАДАННОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОКНЕ	44
<i>Э. Лошевич</i>	44
<i>«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия</i>	44

Новые разработки для контроля технологических процессов на АЭС и радиоактивности в окружающей среде

А.С.Казимиров, В.В.Бабенко, А.Ф.Рудык
ООО «НПП «АтомКомплексПрилад», г. Киев, Украина

Для решения разнообразных задач, связанных с измерением ионизирующих излучений, ООО «НПП «АтомКомплексПрилад» успешно разрабатывает и производит серийные и оригинальные приборы для определения активности, качественного и количественного состава радионуклидов, не превышения допустимых уровней их содержания в пробах и объектах, приборы для индивидуального контроля персонала.

В последнее время созданы новые разработки по различным направлениям.

Для радиационного контроля на АЭС предназначено устройство детектирования УДЖГ-А06Р. Устройства типа УДЖГ применяются в составе измерительного канала аппаратуры контроля радиационной безопасности (АКРБ) на АЭС с целью измерения объемной активности гамма-излучающих нуклидов в жидкости технологических контуров АЭС по их гамма-излучению.

Для радиационного технологического контроля в труднодоступных малообслуживаемых узлах и помещениях АЭС, а также для работы в полевых условиях, в условиях мобильной лаборатории или аварийной ситуации разработан многоканальный амплитудный анализатор «АБА-П-07».

Спектрометрический гистограммный амплитудно-цифровой преобразователь «АЦП-АК» служит для измерения амплитуд импульсных сигналов путем аналого-цифрового преобразования с последующей регистрацией полученного цифрового кода в памяти ПК. Анализаторы на базе «АЦП-АК» позволяют проводить накопление, обработку и выдачу информации на внешние устройства. «АЦП-АК» имеет вход признака сигнала на четыре состояния, что позволяет производить измерение от четырех источников излучения и работу в режиме антисовпадений.

Создана серия сцинтилляционных блоков детектирования типа БДЕГ-АК для регистрации гамма-излучения, которые применяются в спектрометрах энергии гамма-излучения.

Для определения содержания гамма-излучающих радионуклидов в теле человека, ингаляционной составляющей внутреннего облучения человека разработаны и выпускаются спектрометры излучения человека «СИЧ-АКП». Приборы выпускаются различной модификации и могут применяться как средство индивидуального контроля персонала и населения.

Спектрометрический комплекс СТПК-01 ориентирован на обеспечение дискретно-непрерывного оперативного контроля удельной активности радионуклидов йода ($^{131-135}\text{J}$) в широком диапазоне значений в теплоносителе 1-го контура (ТПК) ВВЭР-1000, а также периодического контроля удельной активности ряда реперных радионуклидов, важных для оценки технологического состояния ТПК.

Устройство детектирования «УДПП-01-АКП» предназначено для определения протечек между первым и вторым контуром в парогенераторах посредством регистрации радионуклида ^{16}N на выходе парогенератора на трубопроводе второго контура. Данный метод обнаружения течей считается наиболее современным, оперативным и чувствительным.

Новые разработки НПП«АтомКомплексПрибор» позволяют решать ряд проблем в области радиационной безопасности, задач охраны окружающей среды и здоровья человека.

Сбор, коррекция и визуализация данных радиационного загрязнения местности

А.В.Ушанков
ЗАО НПЦ «АСПЕКТ», г.Дубна, Россия

ЗАО НПЦ Аспект разработал базовый комплект системы, предназначенной для локализации и измерения характеристик источников ионизирующего излучения, а также пространственного распределения интенсивности ионизирующего излучения. Система включает в себя многофункциональные дозиметрические приборы МКС-05А (до десяти приборов) и центральный пульт управления. Данные измерения МКС-05А, включают в себя: мощность эквивалентной дозы (при использовании блока детектирования гамма-частиц или нейтронов) или плотность потока бета-частиц (блок детектирования бета-частиц), географические координаты точки измерения, а также дату и время измерения. Данные с носимых приборов передаются на центральный пульт, где производится обработка, анализ и хранение накопленных данных.

Доклад посвящен решению следующих проблем, возникающих при проектировании и реализации системы:

- погрешность в определении географических координат;
- возможно искажение данных в момент передачи;
- графическое представление полученных данных позволяющее осуществить интерактивное управление работой операторов носимых приборов.

Спектрометр излучений человека для определения содержания плутония и америция в некоторых органах и тканях человека

А.П.Исаков, В.П.Романцов

ООО НПП «Радиационный контроль. Приборы и методы», г.Обнинск, Россия

Разработано методическое обеспечение по измерению трансурановых радионуклидов в различных частях тела человека.

Прижизненное определение содержания плутония и америция в организме человека основано на регистрации выходящего из тела характеристического L-излучения или гамма-излучения сцинтилляционными детекторами с тонкими кристаллами йодистого натрия.

Рассмотрено два варианта смесей изотопов: энергетический плутоний, в котором заметно содержание ^{238}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{241}Am и ^{244}Cm , и оружейный, где преобладает ^{239}Pu .

Варианты поступления радионуклидов могут быть различными. Однократное аэрозольное поступление будет обеспечивать преимущественное содержание радионуклидов в легких. В зависимости от вида соединения (его растворимости) возможна долгосрочная локализация в лимфатических узлах легких или в плевральной полости. Дальнейшая миграция обуславливает накопление радионуклидов в печени и в скелете. Костное депонирование тоже может быть различным. Возможно накопление на поверхности кости или в рыхлой кости. В плотной кости накопление значительно меньше. В аварийных ситуациях поступление сопровождается поверхностным и внутрикожным загрязнением тела, а также возможно раневое поступление, при котором радионуклиды могут достаточно быстро мигрировать, а могут и долговременно оставаться в ране.

В связи с этим разработаны три методики: измерение содержания ^{241}Am в легких, измерение ^{241}Am в коленном суставе и измерение средней глубины залегания плутония при раневом поступлении.

Линии гамма-излучения плутониев очень слабы, а линии характеристического излучения $L\alpha$, $L\beta$, $L\gamma$ имеют очень малые пробеги в тканях человека (5.3 мм, 10.2 мм, 16.7 мм соответственно, а в костных тканях почти на порядок меньше), поэтому для реальных измерений не пригодны. Для измерений выбран ^{241}Am , имеющий интенсивную гамму-линию 59.5 кэВ. Для этой линии пробег в мягкой ткани составляет примерно 54 мм, а в костной – 22 мм. Для легочной ткани пробег примерно в 4 раза больше, чем для мягкой ткани.

В методике по измерению содержания ^{241}Am в легких используются четыре детектора – два в подключичной области и два в области нижних ребер. Показано, что для каждого детектора в качестве модели излучателя в условиях стандартного человека можно воспользоваться сферическим гомогенным источником радиусом 13.8 см с плотностью 0.5 г/см³. При этом ток на детектор будет отличаться от истинного не более чем на 30%.

Для методики по измерению содержания ^{241}Am в коленном суставе стандартного человека показано, что здесь можно воспользоваться моделью сферического источника радиусом 5 см с плотностью 1.85 г/см³. Ошибка также не превысит 30%.

В этих двух методиках предполагается равномерное распределение радионуклида по органу, поэтому ошибка, связанная с неопределенностью распределения, может быть достаточна велика (до двукратной).

Особенность измерений линии 59.5 кэВ в том, что очень велика доля рассеянного излучения: в среднем 54.3 кэВ после однократного рассеяния, 49.7 кэВ в среднем после двукратного рассеяния. Поэтому воспользоваться обычной обработкой пика 59.5 кэВ невозможно, и для определения содержания используется интеграл с нижним пределом 25 кэВ.

В методике по измерению глубины залегания плутония при раневом поступлении измеряется участок спектра от 7 кэВ до 28 кэВ. Энергетическое разрешение йодистого натрия не позволяет различить L^{α} , L^{β} и L^{γ} -линии характеристического излучения, поэтому разработано соответствующее математическое обеспечение по разделению непрерывного участка спектра и определению глубины залегания и величины суммарной активности ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{240}Pu в ране. Если активность составляет величину примерно 2500 Бк, то среднеквадратичный разброс в определении глубины составит примерно 30% при глубине примерно 10 мм, а среднеквадратичный разброс в оценке активности также составит величину примерно в 30%. Здесь основная ошибка будет связана с составом, поскольку для ^{239}Pu выход характеристического излучения примерно в 2 раза меньше, чем для ^{238}Pu и ^{240}Pu .

Все методики снабжены соответствующим программным обеспечением для градуировки и проведения измерений.

Технические средства и комплексы контроля радиационной обстановки

Е.И.Зайцев
ЗАО НПЦ «АСПЕКТ», г.Дубна, Россия

1. Концепция разработки технических средств и комплексов

При разработке технических средств контроля РО были реализованы следующие подходы:

Сетевая конфигурация комплекса. Возможность компоновать комплексы с разным количеством и различными типами измерительных устройств без дополнительных программно-аппаратных затрат

Интеллектуальные измерительные устройства..

Использование единого физического интерфейса RS 485 и программного протокола MODBUS.

Программное задание параметров и режимов работы всех измерительных устройств комплекса

Возможность удаленного доступа к настройкам измерительных устройств

Возможность архивирования данных измерений различных измерительных устройств в единой базе данных.

Поддержка принятия решения оператором в случае возникновения тревожных событий

2. Состав технических средств и решаемые задачи

В настоящее время НПЦ «Аспект» серийно выпускает широкую гамму оборудования, позволяющего выполнять функции контроля РО: блоки детектирования на газовых счетчиках БДГ, БДН, БДБ; сцинтилляционные интеллектуальные блоки и устройства детектирования БДС-Г, УДС-Г, БДС-Б; лабораторные спектрометры альфа, бета и гамма излучения; радиометр-спектрометр жидких сред РСКВ-01; паспортизатор радиоактивных отходов СКГ-02; активный счетчик нейтронных совпадений АСНС; радиационные мониторы «Янтарь»; радиометры-спектрометры портативные МКС-А02, МКС-А03; дозиметр-радиометр поисковый МКС-05А.

3. Комплексы контроля РО объекта

Решаемые задачи:

контроль РО объекта (измерение МЭД, удельной активности радиоактивных газов, радиоактивного иода)

установка параметров элементов системы

отображение мнемосхем контролируемого объекта

архивирование текущих данных измерений, данных измерений и видеороликов тревожных событий в единой базе данных, генерация отчетов.

4. Комплексы контроля РО территории

Назначение комплекса:

непрерывный контроль РО территории

сбор, обработка, анализ и представление данных о РО

формирование прогноза развития РО в случае аварийных ситуаций

информационное обслуживание как локальных, так и удаленных пользователей

радиационный контроль питьевой воды

выработка рекомендаций по необходимости проведения защитных мероприятий для населения, попавшего в зону аварии.

5. Перспективы развития

Программно-аппаратные решения, использованные при разработке технических средств контроля РО и комплексов на их основе, позволяют осуществить интеграцию комплексов любой конфигурации и практически любого территориального образования.

Автоматизированные комплексы АКЖДК в индивидуальной дозиметрии.

А.А. Козлов, В.Д. Богдан-Курило, М.П. Мурашова
ФГУП Ангарский электролизный химический комбинат (АЭХК), г. Ангарск,
Россия

Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) внешнего облучения персонала и населения это одно из необходимых звеньев в цепи радиационного контроля. Современными нормативными документами к средствам, применяемым для ИДК, предъявляется целый ряд технических требований по диапазону измерения доз, энергетическому диапазону, погрешности измерения операционных величин, энергетической зависимости чувствительности, угловой зависимости чувствительности и др.

В настоящее время существует целый ряд систем ИДК с различными физическими принципами и метрологическими характеристиками. Разработанные АЭХК автоматизированные комплексы АКЖДК-201 и АКЖДК-301 предназначены для измерения индивидуального эквивалента дозы в полях фотонного излучения и в смешанных гамма - нейтронных полях. Комплексы относятся к средствам измерений применяемым для контроля внешнего облучения персонала на предприятиях ядерного топливного цикла, атомных станций, в научно-исследовательских и медицинских учреждениях и населения проживающего на территориях с повышенным радиационным фоном. Работа комплексов основана на методе термолюминесцентной дозиметрии и осуществляется под управлением персонального компьютера с ПО. Индивидуальные дозиметры ДТЛ-01, ДВГН-01 и ДВГ-01, входящие в состав комплексов защищены патентом и имеют оригинальную конструкцию, которая позволяет значительно снизить погрешность измерения и порог регистрации излучения, а также использовать их в различных климатических условиях. Используемые в дозиметрах монокристаллические детекторы ДТГ-4, ДТГ-4-6, ДТГ-4-7 (фторид лития, активированный магнием и титаном) тканеэквивалентны, а за уникальный способ их получения АЭХК имеет патент на изобретение. Считывание доз с дозиметров производится считывателем СТЛ-200 или СТЛ-300 автоматически, также автоматически дозы разносятся в индивидуальную карточку. Предусмотрена индивидуальная калибровка дозиметров с расчетом коэффициентов чувствительности каждого детектора и выдача отчетов по накопленным дозам за любой период и год. Накопленная за год доза хранится в базе данных компьютера и суммируется к общей дозе полученной работником за весь период работы или населением за весь период проживания на загрязненной территории. База данных комплексов позволяет обслуживать до 10 тысяч дозиметров.

Комплексы сертифицированы и внесены в Государственный реестр СИ, а также единственные в России сертифицированы в системе сертификации ОИТ.

В настоящее время накоплен большой опыт по использованию комплексов АКЖДК-201 и АКЖДК-301 в различных отраслях промышленности. Их отличает невысокая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами, соответствие всем современным нормативным требованиям, удобство обслуживания и высокий сервис. Более 50 комплексов АКЖДК-201 и 10 комплексов АКЖДК-301 изготовлены АЭХК и успешно эксплуатируются в различных регионах.

Комплексы и их элементы удостоены “золотых медалей” на международном конкурсе изобретений “Брюссель-Эврика”, IV международном Салоне промышленной собственности “Архимед”, 32-м международном конкурсе изобретений в Женеве.

Исследование динамики накопления радиоактивности в системе “почва-папоротник”.

Е. Г. Кузнецова, Л. П. Шура.

Томский политехнический университет, Томск, Россия

Для оценки воздействия радиоактивных изотопов на человека принципиальное значение имеет изучение их распределения и миграции в земной коре, почвах, воде, в воздухе, растительном и животном мире.

Растения рассматриваются как биогенные индикаторы радиоэкологической обстановки. Способность растений накапливать радионуклиды в разных концентрациях может быть использована: во-первых для получения продукции с минимальным содержанием радиоактивных веществ; во-вторых для дезактивации почвы с помощью скоса растений и дальнейшего захоронения. Папоротники относятся к споровым растениям, они способны накапливать радионуклиды лучше, чем растения наиболее организованные фенологически. Поэтому для изучения динамики накопления радионуклидов были выбраны два вида папоротника: орляк и “страусовое перо”, произрастающие на территории Томской области и употребляемых в пищу. Накопление радионуклидов зависит от многих факторов: удельной активности почвы, типа почвы, влажности почвы, количества гумуса, рН почвы, вида растений, физико-химических форм радионуклида и т.д. Интерес представляет данные о подвижности радионуклидов в системе почва-почвенный раствор, характеризующий доступность радионуклидов растениям.

Одна из основных задач радиационного контроля окружающей среды состоит в - излучающих нуклидов в различных объектах обнаружении и измерении активности среды. Пробы были взяты согласно стандартным методикам отбора почвы и растительности в направлении, которое характеризуется более высоким уровнем радионуклидного загрязнения в почве в результате близкого соседства с санитарно-защитной зоной Северского химического комбината.

Специфика измерения проб растительности заключается в малом количестве образца, следовательно, геометрия “Маринелли” не может быть применена. Нами получен калибровочный источник в геометрии “чашка Петри” из имеющегося материала при известной внесенной активности. Рассчитали значение минимально детектируемой активности для каждого радионуклида, которая зависит от вещества пробы, энергии гамма-излучения, геометрии измерения, эффективности регистрации, интенсивности фона и времени измерения. На гамма-спектрометрическом комплексе АЦП-4К-ЛТ измерены удельные активности ^{137}Cs и ^{40}K проб почвы и двух видов папоротника. Для части отобранных образцов почвы было проведено сравнение значений удельной активности по ^{137}Cs и ^{40}K в Томском политехническом университете и в университете г. Ницца (Франция) для одних и тех же проб почвы.

В работе приведены спектральные распределения и корреляционные соотношения между параметрами накопления. Это позволило выявить основные закономерности в процессе накопления радионуклидов растениями и получить сравнения с литературными данными.

Науч. Руководители: Е. А. Травин, В.Д. Каратаев.

ИЗМЕРЕНИЕ РАДОНА-222 В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА "TRACK 2010Z"

Н.В. Аксенов, Т.А. Павленко

*Институт гигиены и медицинской экологии им. А.М. Марзеева АМН Украины,
г. Киев, Украина*

Природный радиоактивный газ радон-222, продукт распада природного урана-238, по данным НКДАР ООН (1978, 1982, 1996 гг.), вносит вклад в суммарную дозу облучения населения планеты от всех источников облучения более 50 %. Радон-222 в воздухе помещений является основным дозоформирующим фактором и на территории Украины (вклад в суммарную дозу составляет более 60 %).

Согласно регламентирующим гигиеническим нормативам Украины (НРБУ-97), измерение радона в воздухе помещений должно проводиться интегральными методами с длительной экспозицией. Этим требованиям отвечает разработанный и выпускаемый в Украине прибор – искровой автоматический счетчик треков "TRACK 2010Z", который позволяет одновременно проводить большое количество измерений при достаточно приемлемой стоимости одного измерения.

Измерение радона-222 включает следующие операции: калибровку, химическую обработку детектора (нитрат-целлюлозная пленка LR-115, type 2, Kodak, Франция) для проявления треков и считывание их количества искровым методом. По количеству подсчитанных треков с учетом коэффициентов пересчета определяется объемная активность радона-222 в воздухе помещений.

Для обеспечения системы гарантий качества измерений активности радона-222 в воздухе помещений проводится аттестация радонметров в стандартной радоновой атмосфере (определяется эффективность регистрации и пересчетный коэффициент перехода от количества треков к объемной активности радона-222), а также контролируются режимы химической обработки каждой партии радонметров при помощи облучения контрольных детекторов плоским источником излучения плутония.

Программное обеспечение «LSRM»: Новые возможности, тенденции развития.

*Д.А.Булах, В.Н. Даниленко, Е.А.Ковальский, С.Ю.Федоровский, А.Ю.Юферов
ООО «ЛСРМ», п. Менделеево, Россия*

Программное обеспечение фирмы «ЛСРМ», обеспечивающее альфа-, бета-, гамма-спектрометрический анализ различных объектов, постоянно совершенствуется и развивается. Совершенствование ПО «LSRM» в прошедшем году происходило по нескольким направлениям:

1. Номенклатура подключаемой аппаратуры:

Традиционно ПО «LSRM» поддерживает работу всех спектрометрических устройств, выпускаемых НПЦ «Аспект». В 2003-2004 году ПО было адаптировано для работы с анализаторами ряда других фирм:

Спектрометрическое устройство MULTISPECTRUM (BSI);

Многоканальный анализатор InSpector (Canberra) ;

АМАЦП (Автономный многовходовый АЦП) – (Парсек);

PCY «СИГНАЛ» (Экспертцентр);

2. Функциональность:

Режим мониторинга;

Пакетная обработка спектров;

3. Метрологическое и методическое обеспечение:

Учет поправок на каскадное суммирование;

Учет экранирования фонового вклада измеряемым образцом;

Переработка методик выполнения измерений;

4. Методы обработки:

Одновременная обработка нескольких информативных участков спектра;

Совершенствование описания аппаратной функции спектрометра;

5. Программирование

В течение последних двух лет ведется разработка нового базового пакета LSRM2005, который должен заменить LSRM2000. Основное отличие нового пакета связано с развитием пользовательского интерфейса. Первая программа из этого пакета LSRMLite, предназначенная для тестирования работоспособности анализатора уже эксплуатируется с 2003г. В настоящее время завершена очередная программа этой серии LSRMSpectr, которая должна заменить программу предыдущей серии LSRMAnalyzer.

Программа обработки α -спектров сложных проб

*С.В.Малиновский, И.А.Каширин, А.И.Ермаков, В.А.Тихомиров, А.И.Соболев
ГУП МосНПО «Радон», Москва, Россия*

Представлена программа SpectraDecAlpha, предназначенная для обработки α -спектров, измеренных на полупроводниковых и жидкосцинтилляционных спектрометрах. Алгоритм обработки основан на моделировании спектров модельной функцией, представляющей комбинацию ассиметричного распределения Гаусса, экспоненты и гиперболы. Показаны проблемы, возникающие при анализе спектров и пути их решения.

Программа позволяет надежно разделять радионуклиды в сложных смесях при значительном перекрытии энергетических спектров составляющих изотопов. Процесс обработки полностью автоматизирован и требует минимального участия оператора.

Расчет поправок на истинное суммирование при измерениях с каскадными источниками гамма-излучения.

А.Н.Берлизов

ИЯИ, г.Киев, Украина

В.Н. Даниленко

ООО «ЛСРМ», п. Менделеево, Россия

А.С.Казимиров

НПП «АКП» г.Киев, Украина

Эффект уменьшения либо увеличения числа зарегистрированных в пиках полного поглощения импульсов за счет «истинного» суммирования импульсов на выходе детектора представляет серьезную проблему во многих приложениях гамма-спектрометрии, которая может оказать сильное влияние на точность получаемых результатов. Для решения данной проблемы создана программная утилита TCCFCALC (True Coincidence Correction Factor CALCulation). Она позволяет рассчитывать поправки на истинное суммирование для любых гамма-излучающих радионуклидов и широкого набора геометрий измерения, включающего сцинтилляционные и HPGe детекторы с точечными, а также объемными источниками в виде цилиндрического сосуда и сосуда Маринелли произвольных размеров. Расчет базируется на методе Монте-Карло с привлечением наиболее полной и точной информации о характеристиках распада из библиотеки оцененных данных по структуре атомных ядер ENSDF.

Точность и надежность расчетов с использованием TCCFCALC, подтвержденные экспериментальными тестами, обеспечивается наиболее полным учетом возможных процессов истинного суммирования, которые кроме гамма-гамма корреляций включают также корреляции гамма-лучей с аннигиляционными квантами, сопровождающими β^+ -распад, а также рентгеновскими характеристическими квантами K- и L-серий, возникающими вследствие эффектов внутренней конверсии и K-захвата. Кроме того, учитывается пространственная неоднородность поля гамма-излучения (т.н. угловые корреляции гамма-лучей).

Утилита TCCFCALC включена в состав пакета «Нуклид-Мастер».

Результаты расчета активности по тестовым спектрам МАГАТЭ (A_0 – паспортное значение активности).

Nuclide	Без поправок		С использованием TCCFCALC	
	A/A ₀	δ	A/A ₀	δ
Сосуд Маринелли, HPGe-33%				
Ba-133	0.93	0.04	0.975	0.034
Co-60	0.91	0.11	1.003	0.012
Cr-51	1.016	0.023	1.016	0.023
Eu-152	0.93	0.07	0.971	0.031
Na-22	0.80	0.12	0.988	0.028
Цилиндрический сосуд, HPGe-96%				
Ba-133	0.83	0.04	1.006	0.035
Co-60	0.81	0.12	1.004	0.018
Cr-51	0.982	0.025	0.982	0.025
Eu-152	0.85	0.09	1.036	0.027

Na-22	0.70	0.15	1.016	0.020
-------	------	------	--------------	--------------

О потере чувствительности радиометров радона типа РРА

Ю.О.Козында

НТЦ «РАДЭК», г.С-Петербург, Россия

С.В.Сэпман

ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, г.С-Петербург, Россия

С.В.Кривашеев, А.А.Афонин

ООО «НТМ-Защита», г.Москва, Россия

Ю.В.Кузнецов, Н.А.Неволина, С.Ю.Кузнецов

ВНИИФТРИ, Менделеево, Россия

Радиометры радона типа РРА (РРА-01, РРА-01М, РРА-01М-01, РРА-01М-03), производимые компанией «НТМ-Защита», являются наиболее распространенными в России средствами измерения (СИ) объемной активности радона-222 (ОАР) и эксплуатируются уже более 10 лет, а их общее количество превысило 2000 шт. В связи с этим вопрос вторичной поверки радиометров является актуальным.

По результатам сличений радиометров в Красноярском крае и вторичных поверок, проводимых в Северо-Западном регионе, обнаружилось систематическое занижение чувствительности радиометров радона типа РРА относительно первичной поверки, проводимой во ВНИИФТРИ на Государственном эталоне радона-222. При этом во всех поверках использовалась одна и та же рекомендованная Госстандартом методика поверки.

Целью настоящей работы было выяснение причин вышеуказанных расхождений в показаниях радиометров. Для этого были проведены совместные эксперименты в МИФИ и ВНИИФТРИ в июле 2004 г. Были тщательно изучены условия поверки и радиометры радона, аттестованные в качестве рабочих эталонов для передачи размера единицы ОАР. Как правило, в качестве эталонных радиометров использовались радиометры радона AlphaGUARD PQ2000. Для экспериментов, в качестве сличаемого радиометра использовался радиометр радона РРА-01М-01 №53301, привезенный в Москву из Северо-Западного региона, имевший по результатам вторичной поверки, проведенной во ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, чувствительность в два раза ниже значения, полученного по результатам первичной поверки, проведенной во ВНИИФТРИ в 2001г.

Эксперименты проводились в диапазоне ОАР 400÷5000 Бк·м⁻³ при температуре от 18 до 25 °С и относительной влажности от 39 до 84%. При этом отбор воздушных проб в радиометр радона РРА-01М-01 осуществлялся через дополнительный фильтр объемом 50 мл на основе СаСl₂. Относительное отклонение результатов в показаниях сличаемого радиометра радона и радиометра AlphaGUARD PQ2000 №2330 составило менее 0.3%.

По результатам экспериментов сделаны следующие выводы:

при поверках, сличениях и измерениях часто не соблюдаются условия эксплуатации радиометров, описанные в руководстве по эксплуатации (при повышенной влажности необходим отбор проб через осушительный фильтр);

важна история эксплуатации радиометра – если измерения часто проводились в условиях повышенной влажности (больше 60%) или проводились измерения радона в воде, для последующих измерений необходимо осушить камеру радиометра через дополнительный фильтр СаСl₂ в течение 30 минут или больше.

Данная работа, по мнению авторов, является хорошим примером сотрудничества изготовителей СИ, потребителей и метрологов из разных организаций.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ТРОЙНЫХ-ДВОЙНЫХ СОВПАДЕНИЙ И МЕТОДА КАНАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ПРИ ЖИДКОСТНЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

*Ю.В.Дубасов, С.А.Пахомов
НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», С.-Петербург, Россия
Ю.В. Кулишов, Ю.А. Дубовцев
ФГУП «ПО «МАЯК», г. Озерск, Россия
С.В. Сэпман
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», С.-Петербург, Россия*

Качество получаемых результатов при проведении жидкостных сцинтилляционных измерений в большой степени зависит от используемых методов учета влияния на эффективность регистрации β -частиц и, особенно, низкоэнергетических β -частиц, таких, как β -частицы трития, фактора тушения сцинтилляций. Особенно важно правильно учитывать тушение сцинтилляций при использовании для приготовления счетных образцов современных сцинтиллирующих коктейлей, способных растворять пробы большого объема (до 50% и более).

Обычно, для построения зависимости эффективности регистрации от величины тушения используют параметризацию ее значений величиной отношения счета тройных и двойных совпадений (метод тройных-двойных совпадений) или величиной отношения счета в смежных энергетических каналах (метод канального отношения). Первый из методов используют для калибровки сцинтилляционных установок, в конструкции которых предусмотрено три ФЭУ, второй – установок с двумя ФЭУ. При проведении калибровок удобно использовать многоразовый калибратор тритиевого жидкостного сцинтилляционного радиометра с переменным тушением, принцип действия которого докладывался авторами на VI Международном Совещании ППСР-2002, проходившем в п. Менделеево.

В докладе представлены результаты измерения модельных счетных образцов, приготовленных на основе отечественного сцинтиллятора ЖС-8И и импортных сцинтилляторов TriSafe и Ultima Gold. Измерения проводились на установке БЕТА-2, которая позволяет одновременно реализовывать оба метода калибровки эффективности. В качестве модельных проб использовались вода, спирт, раствор аммиака и моча, меченные известным количеством трития. Насыщение сцинтилляторов пробой проводилось или до начала расслоения (ЖС-8И), или до прохождения максимума счетной характеристики (TriSafe и Ultima Gold). По результатам модельных экспериментов строились калибровочные зависимости как по методу двойных-тройных совпадений, так и по методу канального отношения. Также проводились калибровки с использованием калибраторов переменного тушения, изготовленных с использованием всех перечисленных сцинтилляторов.

Анализ полученных данных показал, что метод тройных-двойных совпадений уступает методу канальных отношений при построении калибровочной кривой в области малых значений эффективности. Использование калибраторов переменного тушения позволяет адекватно описывать кривую эффективности для модельных (и реальных) проб. Полученные результаты легли в основу Методики выполнения измерений на низкофоном тритиевом радиометре РЖБ-Н2, разработанном на ФГУП МАЯК.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ДОЗИРОВКИ РАДОНОСОДЕРЖАЩИХ ФАРМПРЕПАРАТОВ

Ю.В.Дубасов, С.А.Пахомов, С.П.Ерофеев
ГУП НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», С.-Петербург, Россия
В.В. Кирьянова
ГОУ ДПО СПб МАПО, С.-Петербург, Россия
С.В. Сэпман
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», С.-Петербург, Россия

Лечебное применение радоносодержащих препаратов (радонотерапия) является традиционным и весьма эффективным методом физиотерапии. Физическим фактором воздействия на организм больного при проведении радонотерапии служит ионизирующее излучение радона-222 и короткоживущих продуктов его распада, которое стимулирует широкий спектр компенсаторно-восстановительных функций организма. Наиболее распространенным видом радонотерапии является применение препаратов радона приготовленных на водной основе. Другим перспективным направлением радонотерапии является применение препаратов радона приготовленных на основе различных масел. Актуальной задачей методического обеспечения радонотерапии остается задача точной дозировки радона и, соответственно, задача осуществления сплошного поточного контроля его содержания в выпускаемых фармпрепаратах (задача контроля качества). Типовые значения активности терапевтических доз радоносодержащих препаратов заключены в интервале от 10 кБк (в масле) до 300 кБк (в воде).

Наиболее распространенным методом контроля дозировки радона до настоящего времени остаются т.н. метод калиброванного гамма-радиометра. Погрешность этого метода весьма велика (достигает 50%), он не удобен для автоматизации. Поэтому, обычно, с помощью этого метода проводят лишь выборочный контроль, что не соответствует современным требованиям контроля качества выпускаемой фармацевтической продукции.

Авторами была разработана методика поточного (сплошного) контроля дозировки радона во всей приготовленной партии фармпрепарата, основанная на регистрации излучения Черенкова с помощью установки БЕТА-2. Погрешность метода не превышает 10% при времени измерения одного препарата от 10 до 100 с. Использование для измерений установки БЕТА-2 позволяет осуществлять измерения в автоматическом режиме. Наиболее привлекательной особенностью метода является пригодность готовых и загерметизированных фасовок препарата (пенициллиновых флаконов вместимостью 10 или 20 см³) для непосредственных измерений на установке БЕТА-2, что исключает необходимость отбора проб и обеспечивает 100% охват контролем.

Метод был успешно апробирован при проведении контроля качества водных и масляных радоновых концентратов, выпуск которых недавно был возобновлен на базе Радиевого института. Внедрение предлагаемой методики в широкую практику позволит оптимизировать лечебный эффект, достигаемый применением радоносодержащих фармпрепаратов за счет более точной дозировки радона и исключить при этом получение избыточных дозовых нагрузок на медперсонал и пациентов.

НИЗКОФОНОВЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ РАДИОМЕТР β - γ -ИЗЛУЧЕНИЙ МКС-Р-1-«СПРУТ»

Ю.В.Дубасов, С.А.Пахомов, Л.И.Ильин

ГУП НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», С.-Петербург, Россия

С.В. Сэпман

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

Общепринятая методология проведения радиоэкологических исследований включает в себя отбор проб, их подготовку к измерениям и последующее измерение с использованием соответствующей аппаратуры. Процесс подготовки проб предусматривает несколько стадий, служащих для приведения материала пробы к необходимому для измерения виду и во многих случаях включает процедуру химического концентрирования и очистки, которая обычно является наиболее трудоемкой, длительной и дорогостоящей частью аналитической методики. Поэтому актуальной остается задача разработки более селективной измерительной аппаратуры, менее критичной к чистоте измеряемых проб, применение которой во многих случаях позволяет отказаться от применения радиохимических процедур.

В Радиевом институте разработан радиометр-спектрометр МКС-Р-1 «СПРУТ» предназначенный для измерения содержания β - γ излучающих радионуклидов в различных пробах как непосредственно, так и с использованием метода β - γ -совпадений. Анализатор «СПРУТ» записывает 3-х мерные спектры β - γ -совпадений. Блок детектирования «СПРУТ» оснащен пассивной защитой толщиной 50 мм с механизмом пробододачи карусельного типа, рассчитанного на две пробы, детектором γ -канала на основе сцинтиллятора NaI(Tl) размерами 100x150 мм и блоком фотоприемников β -канала в котором использованы 3 высокочувствительных фотоэлектронных умножителя включенных по схеме совпадений. Измеряемую пробу равномерно распределяют на планшете площадью 300 см² и накрывают сцинтиллятором, толщина которого определяется энергией регистрируемых β -частиц. Так, например, при измерении β - и β - γ -излучающих радионуклидов с граничной энергией β -частиц до 200 кэВ, толщина сцинтиллятора составляет 0,1 мм, а минимально измеряемая удельная активность таких радионуклидов, как ²⁰³Hg, ³⁵S, ¹⁴C в различных средах составляет 0,2 Бк/г. Для регистрации более высоко энергетических β -частиц пробу накрывают более толстым слоем сцинтиллятора.

МКС-Р-1 «СПРУТ» оказался весьма эффективен при проведении массовых анализов проб грунта на содержание ⁹⁰Sr+⁹⁰Y. Оптимальная масса пробы составляет при этом 200 г, а толщина сцинтиллятора 5 мм. Приборная скорость счета импульсов фона, не связанная с радиоактивностью пробы, не превышает 1 имп/с. Скорость счета при измерении реального грунта, не содержащего техногенных радионуклидов, достигает 6 имп/с. На стадии калибровки записывают 3-х мерные базисные спектры от образцовых препаратов ⁹⁰Sr+⁹⁰Y, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²³⁸U(²²⁶Ra) и ²³²Th (и других радионуклидов). Полученный при измерении реальной пробы 3-х мерный спектр раскладывают по известному базису с использованием метода многомерной оптимизации. Минимально измеряемое содержание ⁹⁰Sr+⁹⁰Y в реальном грунте в отсутствие иных техногенных радионуклидов не превышает 20 Бк/кг без предварительной радиохимической подготовки.

АНАЛИЗАТОР ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Д.А.Гоганов, А.Д.Гоганов, Р.И.Плотников.
НПП "Буревестник", ОАО, г.Санкт-Петербург, Россия*

В НПП "Буревестник", ОАО был создан недорогой рентгеновский портативный энергодисперсионный анализатор легких элементов АЛЭ, предназначенный для определения химических элементов, аналитические линии которых расположены в спектральной области от 0.19 до 0.98 нм (6.5 - 1.2 кэВ). В этом диапазоне расположены К-серии легких элементов с атомными номерами Z от 12 (Mg) до 26 (Fe)

Потребляемая прибором мощность - 20 Вт, масса - 8,5 кг, габаритные размеры 295x210x210 мм.

Действие анализатора основано на возбуждении рентгеновской флуоресценции определяемых элементов излучением миниатюрной низковольтной рентгеновской трубки БХ-2 и ее регистрации 4-мя отпаянными пропорциональными счетчиками с Be окнами толщиной до 30 мкм в сочетании с селективными фильтрами. Таким образом, каждый из 4-х детекторов настроен на определенный химический элемент, выбранный заказчиком.

Рентгеновская трубка, анод которой (слой Ag или Ti толщиной 0,5 мкм) расположен непосредственно на Be окне толщиной 0.2 мм, работает при регулируемом анодном напряжении от 3 до 9 кВ и номинальной мощности 0.5 Вт.

Анализатор имеет одноканальный регистрирующий тракт, состоящий из усилителя и одноканального амплитудного дискриминатора, к которому поочередно подключается каждый из 4-х детекторов. При этом для каждого детектора в соответствии с пожеланием заказчика выбирается свой селективный фильтр для выделения линии требуемого элемента.

Анализатор работает с персональным компьютером.

В ходе анализа выполнение всех операций, необходимых при переходе от одного элемента к другому, осуществляются автоматически.

Программа количественного анализа КОРСА-L дает возможность выполнять градуировку и расчет содержаний способами множественной регрессии, стандарта-фона и теоретических поправок. Специальная программа (КОРСА-WL) обеспечивает работу анализатора совместно со спектрометром СПАРК-1-2М.

Мы использовали АЛЭ для определения Al и Si в некоторых сплавах; анализ цемента и цементных сырьевых смесей, огнеупорных материалов и сырья для их производства; анализ глин, золы, определение Fe в файнштейне производства никеля, Ti в песках, S в нефтепродуктах.

На комбинат ОАО "МАГНЕЗИТ" АЛЭ используется для анализа сырья (доломита и магнезита) и продуктов производства огнеупорных материалов на основе обожженного магнезита (MgO).

ЗАО "ВТОРМЕТ" использует АЛЭ совместно со спектрометром СПАРК-1М для анализа чугунов (определение Si, P, Mn, Ni), сплавов цветных металлов на основе меди (латуней и бронз), цинка (сплавы типа ЦАМ) и алюминиевых сплавов типа АК-9.

Относительные средние квадратичные погрешности анализа находились в пределах от 0.5 до 10 %, в зависимости от анализируемого материала, элемента и его содержания, что соответствует допускам к точности экспресс-анализа.

Рентгенофлюоресцентный анализатор для анализа руд и других материалов на конвейере

*С. Попов, Д. Доценко, А. Соколов.
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия*

Анализатор включает рентгеновскую трубку, Si(Li) детектор, охлаждаемый холодильником Пельтье, и обрабатывающую электронику. Спектр, полученный в течение времени измерения, передаётся на персональный компьютер, который может находиться на расстоянии до 1500 метров от анализатора. Анализирующее программное обеспечение обеспечивает обработку спектра, определяет величину интенсивности спектральной линии и рассчитывает концентрацию химического элемента. Внешняя механическая вибрация, которая ухудшает параметры детектора, гасится на рамке анализатора.

Для полностью автоматизированного количественного анализа материала на конвейере мы использовали программу AssayKit для элементного состава с использованием метода фундаментальных параметров. Эта программа имеет следующие особенности. Метод определения концентрации с использованием интенсивности нормированной спектральной линии и стандартного фона исключает существенную зависимость от расстояния до образца и размера образца в большинстве случаев. Возможность включения любых стехиометрических отношений в анализ позволяет рассчитать любые молекулы в измеренном образце. Изменение содержания лёгких элементов рассчитывается путём нахождения линейных корреляций между ними и видимыми элементами, и ручной заменой « типа руды» .

Анализатор измеряет концентрации элементов от Ca ($Z=20$) до Ba ($Z=56$) на K-линиях и от Ba ($Z=56$) до U ($Z=92$) по L-линиям. Расположение конуса луча от рентгеновской трубки и конуса регистрирующего детектора, позволяет выполнять измерения в большом диапазоне расстояний между анализатором и материалом, так что размер образца может быть до 20 см. Модификация с более близкой геометрией анализа измеряет концентрации элементов от S ($Z=16$) до Ba ($Z=56$) по K-линиям и от Mo ($Z=42$) до U ($Z=92$) по L-линиям. Для этой модификации, размер образца не должен превышать 5 мм.

При анализе хром-железной руды анализатором стандартное отклонение составило 1,1% для хрома и 0,8% для железа. Сравнение результатов проведено с более чем 300 измерениями с помощью химического анализа.

Анализатор полностью безопасен в действии – уровень дозы рентгеновского излучения на поверхности устройства не превышает уровня излучения, в соответствии с международными радиационными требованиями безопасности.

О применении ППД для регистрации дифракционных спектров.

*П.П.Коваленко, И.Г.Толпекин
«НТЦ Экспертцентр», г.Москва, Россия*

В рентгенографии измеряется пространственное распределение дифрагировавшего монохроматического излучения. Мешающим фактором при измерении интенсивности слабых отражений является наличие фоновой составляющей.

Эта составляющая определяется сплошным спектром тормозного излучения рентгеновских трубок, характеристическим излучением исследуемого вещества, рассеянным и флюоресцентным излучением от деталей дифрактометра, формирующих рентгеновский луч.

Мешающим фактором является также отражение K_{β} – линий излучения трубки, которые создают дополнительные отражения в дифракционной картине.

Поэтому излучение сначала монохроматизируется с помощью кристаллов-монохроматоров или фильтров, а регистрируется, в основном, газовыми, сцинтилляционными или координатными детекторами.

Применение кристаллов-монохроматоров означает использование их в качестве детектора с хорошим разрешением. Но, из-за небольшого коэффициента отражения, приходится мириться с потерей интенсивности или увеличивать мощность источника рентгеновского излучения.

Поэтому, применение ППД для регистрации дифракционных спектров заслуживает внимания.

Впервые для регистрации дифракционных спектров ППД применялись в исследованиях дифракции резонансного гамма-излучения на кристаллах соединений железа во ВНИИФТРИ под руководством В.Г.Лабушкина.

В докладе приведено сравнение дифракционных спектров, измеренных с помощью обычных детекторов и ППД.

Приведенные данные показывают преимущества ППД по отношению пик/фон.

Это обстоятельство говорит о том, что в ряде случаев можно отказаться от кристаллов-монохроматоров и фильтров, а это может существенно упростить рентгенооптические схемы дифрактометров и уменьшить мощность первичного рентгеновского излучения.

Использование рентгенофлуоресцентной спектрометрии при тестировании драгоценных камней

*П.Брангулис, Я.Упмалис, М.Гертанс
«Государственная инспекция пробирного надзора», Рига, Латвия*

Тестирование драгоценных камней в современной лаборатории немыслимо без использования инструментальных методов. Государственная инспекция пробирного надзора в год проверяет больше 15000 изделий, в которых заложены установленные законом драгоценные камни. Качественное тестирование в лаборатории инспекции невозможно без применения энерго-дисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии (ED-XRF).

Спектры ED-XRF дают следующую информацию:

- о химическом составе драгоценных камней (микроэлементы и макроэлементы);
- о кристаллическом построении;
- о возможном происхождении драгоценных камней.

Главные преимущества рентгенофлуоресцентной спектрометрии при тестировании драгоценных камней:

- метод неdestructивный
- для тестирования хватает небольшого участка ($0,1 - 2 \text{ мм}^2$)
- выдается информация о кристаллическом строении и химическом составе драгоценных камней
- для анализа необходимо небольшое время (5-180 с)
- простая расшифровка спектров
- небольшая себестоимость анализов
- нет необходимости в приготовлении образцов
- сравнительно низкая цена аппаратуры
- в отдельных случаях есть возможность определить характеристические размеры кристаллической решетки d , используя дифракционные линии спектра для монокристаллических веществ
- возможность быстро менять режимы измерений, изменяя параметры возбуждающей энергии (напряжение на рентгеновской трубке, фильтр, диаметр раскрытия коллиматора).

Измерение толщины металлических и оксидных покрытий на металлах рентгенофлуоресцентным методом

*З.Струве, А.Соколов
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия*

Измерение толщины покрытий рентгенофлуоресцентным методом все шире входит в промышленную практику. Для многих задач определение толщины покрытий в режиме on-line РФА с использованием полупроводниковых спектрометров является наиболее оптимальным решением. Например, определение толщины покрытия на подложках из соседних элементов (меди на никеле, цинка на меди, кобальта на железе и др.), практически невозможно без применения высоко разрешающих полупроводниковых спектрометров. Как правило, применяются два методических подхода при измерении толщин материалов:

- эмисионный способ, когда измеряются интенсивность флуоресцентной линии материала покрытия, которая пропорциональна в некотором диапазоне толщин;
- способ измерения поглощения флуоресцентной линии подложки при прохождении через покрытие. При этом измеряется интенсивность линии подложки, которая изменяется по определенному закону в некотором диапазоне покрытия.

В обоих случаях требуется достаточно высокое энергетическое разрешение не хуже 250÷300 эВ, что обеспечивается при использовании полупроводниковых спектрометров.

В данном докладе изложены основные результаты разработанного на фирме Baltic Scientific Instruments (г.Рига, Латвия) универсального толщиномера покрытий различных металлов или их оксидов на подложках из различных материалов из алюминия, меди, нержавеющей стали и т.д. Обсуждаются возможности применения этого прибора в поточном производстве. Демонстрируются параметры прибора. Так например, при измерении слоя алюминия, нанесенного на стальную ленту, получены следующие параметры:

1. Диапазон измерения толщины от 0,5 до 5 мкм
2. Точность определения толщины на уровне 1 мкм составила ± 55 нм
3. Стабильность показаний в статистическом режиме, определенная как среднеквадратичное отклонение номинального значения составляет не хуже $\pm 0,8$ %.

Исследование поверхностной плотности алюминиевых сорбентов рентгенофлюоресцентным методом.

Э. Валбахс

«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия

Д. Эрмс

Институт химической физики Латвийского Университета, Рига, Латвия

Для хранения биологических молекул применяются алюминиевые сорбенты, характеристики которых должны быть исследованы. Пористый оксид алюминия (Al_2O_3) получают при помощи процесса анидизации, который подробно описан в литературе [1-3]. По своей природе процесс анидизации является электро-химическим. В результате анидизации, хемо-сорбции и химической реакции на поверхности алюминия образуется Al_2O_3 и дефекты поверхности анода. Дефекты поверхности впоследствии перерастают в сквозные поры в анодном материале, формируя, таким образом, структуру сорбента. Пористость сорбента (диаметр пор -наружный и внутренний), а также примеси, являются важной характеристикой. Исследуемый сорбент из Al_2O_3 имеет следующие параметры:

- средняя толщина пластины сорбента ~ 60 микрон;
- диаметр пластины ~ 1 см;

и по данным атомно-силовой микроскопии (АСМ) диаметр пор на поверхности пластины составляет от 50 до 100 нанометров.

Для более расширенного исследования ранее упомянутых характеристик сорбента, в том числе:

- внешней поверхности;
- внутреннего строения;
- элементного состава сорбента;

и, как альтернатива методу АСМ, выбран метод РФА.

В результате исследований методом РФА получены и обработаны спектры сорбентов. Получены данные по плотности сорбентов, что позволяет рассчитать общую емкость сорбента. Полученные данные хорошо согласуются с расчетными и экспериментальными результатами.

[1] Diggle, J. W.; Downie, T. C.; Gaulding, C. W. *Chem. Rev.* 1969, 69, 365.

[2] Lhrenal, M. M. *Mater. Sci. Eng.* 1993, 17, 202.

[3]. Thompson, G. E.; Wood, G. C. *Sci. Tehnol.* 1983, 23, 205.

ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР МКС-15ЭЦ С БЛОКОМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛА ВОЛЬФРАМАТА КАДМИЯ

*А.В.Михайлов, А.Н.Ткачев, И.Г.Толпекин, В.В.Федоренко
ЗАО «НТЦ Экспертцентр», г. Москва, Россия
В.В.Некрасов*

Научно-исследовательская организация «СЭЛДИ», г. Харьков, Украина

Как известно, для регистрации спектров гамма-излучения в настоящее время наиболее широкое применение получили детекторы на основе щелочно-галогидных кристаллов (NaI(Tl), CsI(Tl), CsI(Na)), которые обладают достаточно хорошими сцинтилляционными свойствами, относительно легко поддаются обработке, что дает возможность получения сцинтилляторов различных форм и размеров и имеют сравнительно низкую стоимость [1]. Однако недостаточная температурная стабильность свойств этих сцинтилляторов, а также относительно низкая радиационная стойкость ограничивают их применение в приборах и устройствах, предназначенных для работы в экстремальных условиях.

В качестве альтернативы традиционным сцинтилляционным кристаллам, не имеющих перечисленных выше недостатков, в настоящее время чаще всего рассматриваются кристаллические сцинтилляторы на основе простых и сложных оксидов, например, вольфраматов щелочноземельных металлов. Эти кристаллы превосходят традиционные по термической, химической, механической и радиационной стойкости, имеют высокое быстродействие и достаточно высокую сцинтилляционную эффективность [2].

Монокристаллы вольфрамата кадмия $CdWO_4$ (CWO), на которых были выполнены исследуемые блоки детектирования, обладают рядом уникальных физико-химических свойств. Важнейшими достоинствами этих сцинтилляторов являются их высокий световой выход, составляющий при измерениях с достаточным временем формирования сигнала до 40% относительно выхода NaI(Tl), а также высокая радиационная стойкость.

Высокая эффективность регистрации, устойчивость к воздействию климатических и механических факторов, возможность получения удовлетворительного спектрального разрешения, позволяет применять эти сцинтилляторы для широкого диапазона задач. Уникальным свойством данного сцинтиллятора является очень слабая температурная зависимость светового выхода в широком диапазоне температур.

Отметим также, что поскольку максимум спектра излучения лежит в области 480-540 нм, кристаллы CWO могут использоваться в сочетании как с ФЭУ, так и с фотодиодами.

[1]. **В.К.Ляпидевский.** «Методы детектирования излучений». М.: Энергоатомиздат, 1987. –452 с.

[2]. **Л.В.Атрощенко, С.Ф.Бурачес, Л.П.Гальчинецкий и др.** «Кристаллы сцинтилляторов и детекторы ионизирующих излучений на их основе». Киев: Наукова думка, 1998. - 127 с.

Спектрометрический метод измерения поглощенной дозы гамма-излучения с помощью NaI(Tl) детектора

В.В.Бабенко, А.Г.Исаев, А.С.Казимиров, И.П. Столяреский
ООО «НПП «АтомКомплексПрибор», г. Киев, Украина

Известно, что сцинтилляционные детекторы обладают высокой чувствительностью к гамма-излучению и, несмотря на их невысокое по сравнению с полупроводниковыми детекторами энергетическое разрешение, широко применяются в спектрометрических системах для радиометрического анализа воды, продуктов питания, стройматериалов, радиоактивных отходов и пр. В дозиметрических приборах сцинтилляционные детекторы также находят применение, однако из-за сильной энергетической зависимости и сложной формы отклика такого детектора достижение приемлемой точности в дозиметрах на их основе является трудной задачей.

В данной работе описан спектрометрический метод измерения поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе с помощью сцинтилляционного NaI(Tl) детектора, который теоретически устраняет энергетическую зависимость отклика детектора. Суть метода заключается в применении к аппаратурному спектру энергий гамма-излучения взвешивающей $G(E)$ -функции, которая учитывает эффективность регистрации применяемого детектора и свойства поглощающей среды. Переход от спектра амплитуд импульсов детектора к мощности поглощенной дозы в воздухе (МПД) осуществляется путем решения следующего уравнения:

$$МПД = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} N(E) G(E) dE = \sum_{n_k}^{n_k} N(n_k) \cdot G(n_k)$$

где МПД – мощность поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе;

$N(E)$ - спектр амплитуд импульсов в зависимости от энергии гамма-излучения;

$N(n_k)$ - спектр амплитуд импульсов в зависимости от номера канала анализатора;

E - энергия гамма-излучения;

n_k - номер канала амплитудного анализатора импульсов;

E_{\min} - энергетический порог регистрации гамма-излучения;

E_{\max} - максимальная энергия гамма-излучения, используемая для расчета МПД;

$G(n_k)$ - операторы перехода от спектра амплитуд импульсов к МПД.

В статье приведен вывод формулы для вычисления $G(E)$ -функции, а также представлены экспериментальные результаты определения МПД в воздухе, полученные с помощью гамма-спектрометров на базе NaI(Tl) детекторов размерами диаметр-высота 76.2x76.2 мм² и 63x63 мм² для источников излучения ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co и ²²⁶Ra. Диапазон энергий гамма-излучения, для которого определялась МПД, составлял 50÷3000 кэВ.

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕДИЦИНСКИХ ПУЧКОВ АДРОНОВ ДОЗИМЕТРОМ С АЛМАЗНЫМ ДЕТЕКТОРОМ

*В.М.Головатюк, А.Г.Молоканов,
Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия
С.С.Мартынов, С.А.Попов, В.С.Хрунов
ФГУП «Институт физико-технических проблем», Дубна, Московская обл.,
Россия
Я.Ружичка
Словакия*

В Институте физико-технических проблем выполнены разработки приборов для дозиметрии полей различных видов ионизирующих излучений, создаваемых медицинскими радиотерапевтическими установками, в которых в качестве датчиков применяются детекторы на основе природного алмаза или кремния.

Клинический дозиметр типа ДКДа-01-«ИФТП» с детектором на основе алмаза обеспечивает высокую чувствительность регистрации, высокую радиационную стойкость, независимость чувствительности регистрации от температуры, энергии и угла падения излучения. Малый чувствительный объем детектора (1-6 мм³) позволяет проводить измерения дозных распределений с высоким пространственным разрешением.

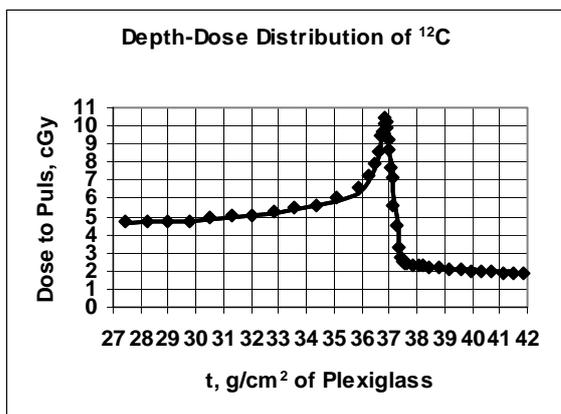
Дозиметр, откалиброванный в образцовом поле гамма-излучения радионуклида кобальт-60 по мощности поглощенной дозы в воде, без внесения дополнительных поправок, которые требуются при измерении ионизационными камерами, обеспечивает измерение фотонного и электронного излучений в терапевтическом диапазоне мощностей доз и энергий с допустимой относительной погрешностью измерений $\pm 2\%$.

С помощью дозиметра ДКДа-01-«ИФТП» проведены абсолютные измерения поглощенной дозы протонного излучения на медицинском пучке фазотрона Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ, г.Дубна). Предварительно дозиметр был откалиброван на вторичном эталоне поглощенной дозы гамма-излучения в воде (кобальт-60).

Измерения проводились при различных энергиях протонов от 80 до 200 МэВ. Отклонение результатов измерений дозиметром с алмазным детектором от действительных значений мощности поглощенной дозы, за которые приняты результаты, полученные при измерениях образцовой ионизационной камерой, не превышают 1,8%.

В экспериментах на Нуклотроне ОИЯИ по выводу пучка ионов углерода ¹²C, который планируется использовать для лучевой терапии опухолей, дозиметром с алмазным детектором впервые измерены глубинные дозные распределения.

На рисунке приведена экспериментальная кривая Брэгга, демонстрирующая потери энергии ионами углерода –¹²C в фантоме из полиметилметакрилата.



Таким образом, дозиметр с алмазным детектором может успешно использоваться для абсолютных дозиметрических измерений радиотерапевтических пучков фотонного, электронного и протонного излучений, а также для измерений относительных дозных распределений в пучках тяжелых ионов.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПРЯМОПОКАЗЫВАЮЩИЙ ДОЗИМЕТР НА ОСНОВЕ CdTe ИЛИ CdZnTe ДЕТЕКТОРОВ

*А.Пешков, В.Пешков, А.Карпов, Н.Марченко, В.Яковлев, А.Кравчук, А.Круминь,
С.Бурцев*

ПКФ “Dipol Engineering” SIA, Рига, Латвия

При разработке носимых прямопоказывающих дозиметров необходимо решить ряд задач, что позволило бы получить прибор, отвечающий следующим требованиям: малые габариты, удобство пользования, широкий диапазон регистрируемых энергий, высокое быстродействие. В качестве основного чувствительного элемента для создания дозиметра, удовлетворяющего выше указанным требованиям, был выбран детектор на основе CdTe или CdZnTe. Материал детектора выбирался из тех условий, что в относительно малом объеме возможно получить минимально необходимую статистику гамма-излучения, начиная с уровня фона, позволяющую при использовании специальной математической обработки получить малое время измерения.

Одним из основных условий возможности использования в носимом дозиметре CdTe или CdZnTe детектора является необходимость исключения влияния микрофонного эффекта, так как данные материалы являются пьезоэлектриками. Разработанный дозиметр состоит из двух частей: аналоговой и цифровой. Аналоговая часть представляет собой специализированный микроузел. В состав микроузла входят собственно детектор, зарядочувствительный предусилитель и усилитель-формирователь. Детектор в микроузел устанавливается специальным образом, позволяющим существенно снизить влияние внешних механических воздействий. Цифровая часть дозиметра состоит из центрального процессора, источника питания детектора и схемы подготовки сигнала от микроузла к процессору. Основу математической обработки сигналов от микроузла составляет математический аппарат обработки случайно распределенных во времени сигналов с малой статистикой и с учетом временного распределения гамма-излучения. Кроме того, для коррекции хода жесткости, регистрируемый энергетический диапазон разбивается на три поддиапазона и это разбиение учитывается при обработке сигналов от микроузла. Использование специальной математической обработки сигналов от детекторов позволило получить следующие временные характеристики дозиметра – время измерения двукратного превышения радиационного фона, составляющего 10-15 мкР/ч менее 3 с.

Разработанный дозиметр, наряду с основной функцией – измерение уровня радиации, позволяет производить измерения накопленной дозы, произвести минимальную оценку энергетического состава измеряемого радиационного фона. Кроме того, в дозиметр включена функция тревоги. Возможно выставлять два порога. Превышение порогов индицируется зуммером, виброзвоном и светодиодом.

Использование кремниевых диодных матриц в качестве детекторов в радиационно-чувствительных приборах для радиометрии, спектрометрии, медицинской эмиссионной диагностики, космических исследований

О.С.Фролов, А.Садовничий

Научно-производственное объединение «Детектор», Киев, Украина

Р.Б.Подвиянюк

НИИ микроприборов, Киев, Украина

В работе анализируются перспективы использования кремниевых интегральных диодных матриц больших размеров в ряде направлений радиационно-чувствительной техники. Кремниевые матрицы имеют заметные преимущества перед альтернативными полосковыми стрип-детекторами, если размеры элемента детектора сравнительно велики (площадь около 1 см^2).

В работе приводятся данные о конструкции, технологии изготовления, а также об электрических и спектрометрических характеристиках разработанных нами матрицах. Разработаны матрицы 2-х типов: обе формата 6×6 с площадью одного элемента $0,5 \text{ см}^2$ и 1 см^2 . При напряжении $V=10 \text{ В}$ токи утечки элементов составляют около 1 нА/см^2 , емкость – 100 пФ/см^2 . Энергетическое разрешение элемента матриц на α -частицах находится в пределах $5 - 12 \text{ кэВ}$. Параметры матриц соответствуют параметрам изделий (детекторов с большими размерами) ведущих фирм или превосходят их.

На основе матриц первого типа (с элементами $0,5 \text{ см}^2$) разработан блок детектирования для спутникового телескопа-спектрометра заряженных частиц. Он состоит из двух кремниевых матриц, расположенных параллельно на некотором расстоянии друг от друга, и 64-канального предусилителя-формирователя сигналов матриц. Такое устройство позволяет определять направление прилета частиц и их природу. Минимальные потери энергии регистрируемых частиц составляют $15-20 \text{ кэВ}$.

Получен и исследован приемник γ -изображений нового типа на основе сцинтиллятора CsJ(Tl) и кремниевой матрицы в качестве фотопреобразователя. Сигналы матрицы усиливаются и формируются в параллельных каналах, проходят через пиковый детектор и с помощью мультиплексора преобразуются в последовательность аналоговых импульсов, которые оцифровываются в АЦП. Затем информация в виде пакета сигналов от соседних элементов матрицы, соответствующего одному акту поглощения γ -кванта, поступает в персональный компьютер. В ПК по соотношению амплитуд сигналов в пакете вычисляются координаты события. Программа обработки сигналов содержит ряд критериев, по которым отбраковываются паразитные пакеты и пакеты, не обеспечивающие достаточную точность определения координат. Экспериментально определенная пространственная разрешающая способность приемника изображений – около 1 мм , что намного лучше, чем в используемой аппаратуре (в гамма-камерах и позитронных эмиссионных томографах).

При конструировании спектрометрической аппаратуры мы используем предложенный нами ранее принцип многосекционного детектирования. Этот принцип заключается в том, что детектор большой площади разделяется на части (секции). Сигналы от каждой секции усиливаются и формируются в отдельных каналах, затем суммируются по специальному алгоритму таким образом, что при прохождении сигнала через какой-либо из каналов остальные каналы запираются. Таким образом можно резко уменьшить шум системы до шума одной секции детектора и одного канала усилителя. На этом принципе был создан прибор для детального спектрального исследования радона, торона и их производных в воздухе. Энергетическое разрешение блока детектирования $30-40 \text{ кэВ}$ при площади детектора 32 см^2 , что недостижимо для детекторов обычного типа. Мы полагаем, что кремниевые диодные матрицы будут широко использоваться в радиационной аппаратуре различного назначения.

О РАБОТЕ ДЕТЕКТОРОВ ИЗ КРЕМНИЯ И ГЕРМАНИЯ В УСЛОВИЯХ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

*К.Н. Гусев, С.Л. Катулина, В.Н. Павлов, В.Г. Сандуковский
Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия
Ю.Б. Гуров
Московский инженерно-физический институт, г.Москва, Россия*

Влияние сверхнизких температур на спектрометрические параметры полупроводниковых детекторов продолжает волновать исследователей при планировании и проведении ряда экспериментов в области ускорительной и неускорительной ядерной физики. Примерами которых могут служить: изучение свойств ориентированных радиоактивных ядер, исследования мюонного катализа изотопов водорода и гелия, поиск «темной» материи и др. Особенно это касается Si(Li) детекторов, которые, согласно классической работе [1], должны терять свои спектрометрические свойства при температурах ниже 40 К. Некоторые проблемы, как показано в [2], возникают в работе HPGe детекторов при температуре в области 5 К.

В настоящей работе представлены результаты исследования различных типов детекторов (Si(Li), HPGe, поверхностно-барьерных из n- и p-кремния, имплантированных) в диапазоне температур 1.3÷77 К. Специально разработанный криостат позволял фиксировать температуру детектора на время измерения спектрометрических и электрофизических характеристик с точностью ± 0.1 К. С помощью 3.2 МэВ альфа-частиц исследовано поведение энергетического разрешения, амплитуды и формы импульса в зависимости от температуры и напряжения на детекторах. Изменение геометрии облучения позволило исследовать отдельно электронную и дырочную компоненты сигнала.

Показано, что все детекторы способны сохранять спектрометрические свойства, если выдерживают достаточно высокие перенапряжения. При этом для каждого типа детекторов имеются свои особенности работы в условиях сверхнизких температур. Так, напряженность поля в Si(Li) детекторах выше 12000 В/см дает возможность их использования как спектрометрического прибора вплоть до температуры 1 К за исключением интервала $T = 10\div 25$ К.

[1] *M. Martini and T.A. McMath*, Nucl. Instr. and Meth. 79 (1970) 259.

[2] *D. Venos et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A454 (2000) 403.

HPGe-ДЕТЕКТОРЫ С ИМПЛАНТИРОВАННЫМИ КОНТАКТАМИ

К.Н. Гусев, С.Л. Катулина, В.Г. Сандуковский, Я. Юрковски
Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия
Ю.Б. Гуров

Московский инженерно-физический институт, г.Москва, Россия
М. Митура-Новак, В. Райхел
Институт ядерной физики, г.Краков, Польша

В настоящее время многослойные спектрометры на основе планарных детекторов из сверхчистого германия (HPGe) широко применяются в различных ядерно-физических исследованиях. Методические возможности таких установок для регистрации заряженных частиц позволили существенно улучшить точность измерений и статистическую обеспеченность изучаемых процессов. В ЛЯП ОИЯИ создано несколько HPGe-телескопов для ускорительных экспериментов (мечение η - мезонов, изучение глубоко-связанных состояний пионных атомов [1,2]) и решения фундаментальных проблем в области неускорительной физики (поиск двойного безнейтринного бета-распада [3]).

Недостатком HPGe-детекторов, изготовленных по традиционной технологии, в случае многослойных систем является наличие толстого (~500 мкм) нечувствительного диффузионного слоя, который значительно ухудшает точность определения энергии частиц. Поэтому для реализации высоких спектрометрических характеристик детекторов возникла необходимость значительно уменьшить толщину входного окна.

В работе описаны планарные детекторы из HPGe, полученные с помощью ионной имплантации бора и фосфора. Исходным материалом для изготовления детекторов служил германий n- и p-типа проводимости с разностной концентрацией $|N_a - N_d| \sim 0.6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$. Имплантация фосфора выполнялась последовательно при энергиях 35 и 25 кэВ (дозы $\Phi = 10^{13}$ и 10^{14} см^{-2}), для ионов бора внедрение осуществлялось при $E=25$ и 17 кэВ ($\Phi = 10^{13}$ и $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$).

Измерения с помощью α -частиц показали, что толщина входных окон изготовленных детекторов не превышает 0.1 мкм. Исследования с помощью источников γ -квантов продемонстрировали спектрометрические параметры детекторов.

Источник	Энергия, кэВ	FWHM, кэВ
^{241}Am	59.5	0.75
^{57}Co	122.1	0.85
^{60}Co	1332.5	1.8

1. *М.Г. Горнов и др.*, ПТЭ, №4 (1999) с. 65.
2. *М. Andersson et al.*, Phys.Rev. С 66 (2002)
3. *В.Б. Бруданин и др.*, Известия РАН. Сер. физическая, 2003, том 67, №5, с. 618

Мультипликация носителей заряда в детекторах из кремния n- и p-типа

*К.Н. Гусев, Н.И. Замятин, С.Л. Катулина, В.Г. Сандуковский
Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия
Ю.Б. Гуров*

*Московский инженерно-физический институт, г.Москва, Россия
А.С. Старостин*

Институт теоретической и экспериментальной физики, г. Москва, Россия

Представлены результаты исследований специальных пиксельных детекторов из кремния n- и p-типа, структуры которых позволяют создавать в области p-n перехода электрическое поле порядка $5 \cdot 10^5$ В/см, достаточное для лавинного размножения носителей заряда. Детекторы были изготовлены и предоставлены для исследований НИИМВ (г. Зеленоград).

Для исследования режима мультипликации заряда использовались альфа-частицы от источников ^{238}Pu и ^{226}Ra . Облучение производилось со стороны p-n перехода и со стороны омического контакта. Были проведены серии измерений при комнатной температуре (300°K) и при температуре жидкого азота (77°K).

При измерениях детектора из высокоомного кремния n-типа, охлажденного до температуры жидкого азота, в спектре ^{238}Pu наряду с обычным α -пиком ($E = 5.5$ МэВ) появился аномальный пик с амплитудой, соответствующей энергии $60 \div 70$ МэВ. V-I зависимость, измеренная в тех же условиях, демонстрирует резкое возрастание токов детектора в области напряжений, при которых возникает аномальный пик. Этот факт указывает на существование режима мультипликации или, другими словами, внутреннего усиления заряда. Однако, соотношение интенсивностей обычного и аномального пиков, говорит о том, что в рассматриваемом эффекте участвует лишь небольшая часть носителей заряда.

При исследованиях детекторов из p-кремния выяснилось, что эффект мультипликации наблюдается во всех детекторах данного типа и достаточно ярко выражен уже при комнатной температуре. Так, при облучении детекторов альфа-частицами аномальные пики имели сравнимую с обычными пиками интенсивность, а коэффициент усиления лежал в диапазоне от 3 до 5. Кроме этого, при измерениях в режиме усиления стало возможным наблюдать пик рентгеновского излучения от источника ^{55}Fe ($E = 5.9$ кэВ), что не реализуемо в обычных условиях, так как данная энергия ниже порога регистрации кремниевого спектрометра, работающего при комнатной температуре. Энергетическое разрешение усиленного пика составило от 4% до 8%, а коэффициент усиления – величину порядка 10.

Полученные результаты являются важным шагом на пути к созданию детекторов с большим чувствительным объемом и низким порогом регистрации, необходимых для решения многих задач современной неускорительной физики.

Особенности отклика рентгеновских pin -детекторов

Э.И. Моргунов, А.А. Софиенко

Институт аналитических методов контроля, Киев, Украина.

С конца 90-х годов прошлого века при построении малогабаритной рентгеноспектральной аппаратуры начали широко использовать рентгеновские pin -детекторы с термоэлектрическим охлаждением. Рабочая температура кристаллов в этих детекторах существенно выше температуры кипения жидкого азота и, в зависимости от типа детектора, колеблется в диапазоне от -60 до -10 °С. Повышение эксплуатационной температуры приводит к изменению подвижности носителей и отражается на процессах их взаимодействия с локальными неоднородностями кристалла. Проблемой влияния неполного сбора заряда на форму функции отклика детектора (далее -ФОД) для жесткого гамма-излучения занимались достаточно давно и плодотворно [1]. Однако, предложенный подход неработоспособен для энергий характеристического рентгеновского излучения атомов, т.к. опирается на предположение о постоянстве плотности вероятности взаимодействия регистрируемого фотона с произвольным элементом чувствительного объема детектора.

В представленной работе предпринята попытка аналитического построения ФОД для рентгеновских pin -детекторов с учетом изменения вероятности по глубине детектора при наличии обратимых захватов носителей. По определению, ФОД $F(V, E)$ - это функция, которая описывает распределение амплитуд сигналов на выходе детектора V при регистрации фотонов с заданной энергией E . Для учета отмеченных влияний была построена параметрическая модель ФОД

$$F(V, E) = F(V, E, d, \rho_N, \rho_P, \tau_N, \tau_P),$$

в которой в качестве параметров использовали имеющие простой физический смысл величины: d - толщина детектора, ρ_N и ρ_P - линейные коэффициенты захвата соответственно электронов и дырок, τ_N и τ_P - постоянные высвечивания центров захвата соответственно для электронов и дырок.

Параметры модели определяют МНК аппроксимацией из экспериментальных спектров конкретного детектора. Развитый подход позволяет адекватно и детально рассчитать форму линии для произвольной энергии при заданных условиях измерения. В рамках модели рассмотрено влияние входной загрузки детектора на энергетическое разрешение и деформацию спектральных линий. Показано, что при малых временах высвечивания формируются сигналы с затянутыми фронтами, что, без использования специальных мер, приводит к левому затянутому склону. При больших временах и значительной входной загрузке наблюдается ухудшение энергетического разрешения за счет влияния на базовую линию тока от освобождающихся носителей от ранее зарегистрированных фотонов. Правая или левая деформация линий определяется соотношением между коэффициентами захвата ρ_N и ρ_P .

[1] Ю.К.Акимов, О.В.Игнатъев, А.И.Калинин//Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике, 1989, с.48-72

Monte Carlo model of NaI(Tl) detector unit for investigation of X-ray spectra in the energy range from 3 to 150 keV

A.V.Gogolev

JSC Radikon, St.Petersburg, Russia

V.V.Grebenschikov

State Polytechnical University, St.Petersburg, Russia

E.A.Damaskinsky

ASK Roentgen, Ltd., St.Petersburg, Russia

A.S.Serebryakov

JSC Comita, St.Petersburg, Russia

V.V.Smirnov

V.G.Khlopin Radium Institute, St.Petersburg, Russia

To obtain the original spectrum of any X-ray source - for instance X-ray tube - with the help of NaI(Tl) detector unit it is necessary first to find the response of the system to monoenergetic photons in the energy range of interest and appropriate geometry [1]. For this purpose a Monte Carlo program was created which imitates all important interactions of the incident photons in the crystal and surroundings, non-linearity of the detector response, and the light collection process.

Calculated spectra are compared to experimental ones obtained with 2 mm crystal for a set of standard sources: ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{241}Am , and ^{57}Co . It is clear that the distortion of each source line caused by the poor energy resolution, process of the radiation scattering, and incomplete light collection can be taken into account to provide coincidence of calculated and experimental results. Thus it seems realistic to reconstruct initial spectrum of an arbitrary X-ray source on the basis of the model created.

[1] *R.P.Gardner, Avneet Sood. A Monte Carlo simulation approach for generating NaI detector response functions (DRFs) that accounts for non-linearity and variable flat continua, NIM B213 (2004) 87-99.*

Сцинтилляционный детектор на основе CsI(Tl) и Si лавинного фотодиода

С.М.Игнатов, В.М.Чиркин

РНИЦ «Курчатовский институт», г.Москва, Россия

Разработан и испытан прототип детектора для сцинтилляторов объемом 0,125 - 40 см³.

Во всех случаях использовался лавинный фотодиод фирмы Hamamatsu с чувствительной площадью 5x5 мм. При комнатной температуре разрешение по линии 662 кэВ для сцинтиллятора 20 см³ составило 7,5% , а величина шума FWHM 15 кэВ.

Детекторы на основе кристаллов TlBr

*М. Шорохов, С. Затолока, И. Лисютин
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия*

Разработаны детекторы рентгеновского и γ -излучения на основе кристаллов TlBr, выращенных гидротермальным методом и методом «Бриджмана-Стокбаргера». Разработана технология изготовления детекторов на кристаллах TlBr.

Оценены следующие значения $\mu\tau$ для двух различных кристаллов, выращенных методом «Бриджмана-Стокбаргера»: $\mu_e\tau_e=2.5\times 10^{-4}$ см²В⁻¹ и $\mu_h\tau_h\sim 10^{-6}$ см²В⁻¹ для одного кристалла при -30°C и $\mu_e\tau_e=7\times 10^{-5}$ см²В⁻¹ и $\mu_h\tau_h=1.5\times 10^{-5}$ см²В⁻¹ для другого при -10°C.

Представлены спектры радионуклидов Fe-55, Am-241, Cd-109, Co-57 и Cs-137, для одиночных детекторов с планарными электродами. Получены следующие разрешения по энергиям: 500 эВ на 5,9 кэВ, 518 эВ на 9.87 кэВ, 670 эВ на 13.92 кэВ, 777 эВ на 22.1 кэВ, 2.7 кэВ на 59.5 кэВ, 3.7 кэВ на 88 кэВ, 4.4 кэВ на 122 кэВ и 29 кэВ на 662 кэВ.

Разработан квази-полусферический детектор объемом 20 мм³ на основе кристалла TlBr, выращенного этим же методом. Эффективность регистрации этого детектора адекватна эффективности детектора CdTe объемом 60 мм³ для энергий больше 200 кэВ и объемом 40 мм³ для энергий больше 662 кэВ. Энергетические разрешения изготовленного детектора имеют значения 3,6 и 36 кэВ на энергиях 59,5 и 662 кэВ соответственно.

Изготовлены пиксельные детекторы малого формата (3x3 пикселя) с золотыми площадками 0,35x0,35 мм и зазорами 0,1 мм из кристаллов TlBr с размерами 2,7 x 2,7 x 1,0 мм³. Измеренные межпиксельные сопротивления при приложенном напряжении 50 В составили 400-600 ГОм. Токи утечки пикселя при напряжении 250 В были менее чем 0,5 нА. Наилучший спектр был получен при температуре -30°C на постоянной времени формирования 6 мкс при напряжении 400 В. Были получены энергетические разрешения 2.2, 3.0, 3.7 и 29 кэВ на энергиях 59.5, 88, 122 и 662 кэВ соответственно.

Анализ результатов серийного производства рентгеновских спектрометров для задач дифрактометрии

*А. Дирба, А. Лупилов, В. Залинкевич
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия*

Применение полупроводниковых Si(Li) спектрометров в составе дифрактометров существенно расширяет возможности структурного анализа материалов. Фирма Baltic Scientific Instruments уже 5 лет производит такие рентгеновские спектрометры под торговым названием «Sol-X». Они используются в составе серийных дифрактометров D8 и D4 (Bruker AXS, Германия) для исследования материалов методом дифрактометрии Брега-Брентано и параллельными углами.

Основа спектрометра – БД с прямоугольным Si(Li) кристаллом, который охлаждается термоэлектрическим охладителем до $100 \div 105$ °С. БД предназначен для совместной работы с блоком электроники, который производит обработку получаемых спектров с помощью программы MSPA ver. 5.04. и передает их на персональный компьютер. Получаемое энергетическое разрешение $245 \div 300$ эВ для линии K_{α} Fe⁵⁵.

Кремний-литиевые спектрометры с Пельтье охладителем для РФА

А. Лупилов, И. Лисютин
«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия

Прогресс в характеристиках Si(Li) детекторов, охлаждаемых охладителями Пельтье, достигнуты благодаря модернизации электроники, усовершенствованию вакуумной камеры малого размера и эффективного 5-ти каскадного охладителя Пельтье, обеспечивающего разность температур до 132°C при чувствительности к тепловым нагрузкам менее чем 15 мВт/°C. Это позволяет изготавливать круглые Si(Li) детекторы охлаждаемые Пельтье с толщиной 4-4,5 мм и чувствительной поверхностью от 12 до 100 мм². Разрешающая способность этих детекторов на энергии 5,9 кэВ колеблется от 158 до 240 эВ в зависимости от чувствительной поверхности. Энергетическое разрешение на 59,6 кэВ для этих детекторов – от 410 до 460 эВ.

Восстановление истинной входной скорости счета в заданном энергетическом окне

Э. Лошевич

«Baltic Scientific Instruments», Рига, Латвия

В прецизионной спектрометрии необходимо количественно определить в реальном масштабе времени, какая часть от входных импульсов лежит в заданном диапазоне энергий. При небольших для заданного спектрометрического устройства, имеющего свою постоянную времени формирования, загрузках решение этой задачи предельно просто – на соответствующий выход подается импульс, свидетельствующий о попадании входного сигнала в требуемое окно. Однако при увеличении входной загрузки задача усложняется.

ГО