

7. Галкин Н.П., Зайцев В.А., Серегин М.Б. Улавливание и переработка фторсодержащих газов. М.: Атомиздат, 1975. 240 с.
8. Martin H., Albers A., Dust H. Doppelfluoride des uranhexafluorids. — Z. Anorg. Allgem. Chem., 1951, Bd. 265, S. 128.
9. Громов О.Б., Евсеев В.А. Глубокое извлечение урана из отработавшего ресурс фторида натрия. — В сб.: 6-я научно-технич. конф. Сибирского химического комбината. Ч. 2. Северск, СТИ ТПУ, 2001, с. 130.
10. Громов О.Б., Маширев В.П., Зернаев П.В. и др. Извлечение недесорбируемого остатка урана из сорбента фторида натрия. — В сб.: Радиохимия-2009. Озерск, ПО «Маяк», 2009, с. 174.
11. Katz S. Use of high-surface-area sodium fluoride to prepare $\text{MF}_6\text{—}2\text{NaF}$ complexes with uranium, tungsten, and molybdenum hexafluorides. — Inorg. Chem., 1964, v. 3, № 11, p. 1598.
12. Cathers G., Bennet V. $\text{UF}_6\text{—}3\text{NaF}$ complex formation and decomposition. — Ind. Eng. Chem., 1958, v. 59, № 11, p. 1709.
13. Katz S., Cathers G. A gas sorption-desorption method for separating the hexafluorides of neptunium and uranium. — Nucl. Appl., 1968, v. 5, № 4, p. 206.
14. Акишин В.С., Кобзарь Ю.Ф., Короткевич В.М. и др. Анализ работы узла сорбционного улавливания гексафторида урана из хвостовых газов установки М-2079 и пути совершенствования технологических режимов и оборудования. — В сб.: 5-я научно-технич. конф. Сибирского химического комбината, посвященная 50-летию комбината. Секция 3. Северск, 1999, с. 89.
15. Вдовиченко В.Д., Громов О.Б., Евдокимов А.Н. и др. Условия получения и свойства пентафторида урана. — Хим. технология, 2007, т. 8, № 9, с. 429.

Поступила в Редакцию 19.03.10

УДК 539.1.074+621.039.54

ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫЙ КОЛЛИМИРОВАННЫЙ ДЕТЕКТОР γ-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Степанов В.Е., Смирнов С.В., Иванов О.П., Данилович А.С.
(НТК «Реабилитация» РНЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва)

В настоящее время большое число промышленных и исследовательских реакторов выработали свой ресурс и выводятся из эксплуатации. В процессе их эксплуатации происходило как внутреннее, так и внешнее радиоактивное загрязнение технологического оборудования, например, трубопроводов охлаждающих контуров, насосов, вентилях и др. Подготовка объектов к разборке требует дезактивации и, в первую очередь, выявления наиболее загрязненных частей оборудования.

Мощность экспозиционной дозы в технологических реакторных помещениях создается как прямым излучением загрязненных внутренних поверхностей оборудования, так и рассеянным от стен помещений и размещенного в нем оборудования. Поэтому обнаружение наиболее активных источников стандартными методами, например, интегральными дозиметрами может оказаться малоэффективным и дорогостоящим с точки зрения дозовой нагрузки на персонал.

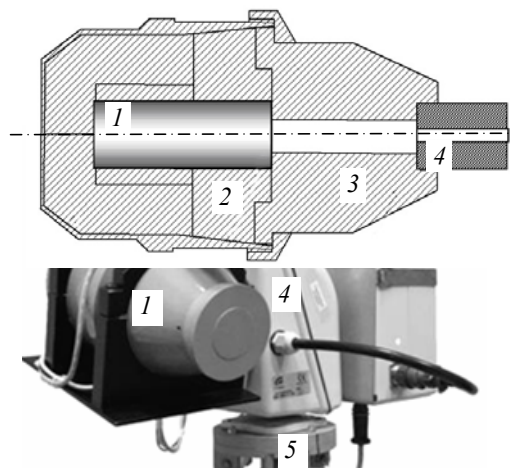
В настоящее время в РНЦ «Курчатовский институт» в рамках федеральной целевой программы «Ядерная и радиационная безопасность России» начаты подготовительные работы по выводу из эксплуатации исследовательского реактора МР, остановленного в 1993 г. Эти работы являются продолжением реабилитации объектов на территории института, начатых в 2003 г.

Важной стадией является радиационное обследование помещений и оборудования реактора. Для составления плана демонтажа оборудования

необходимо

знать, какие радиоактивные источники и в каком соотношении вносят вклад в мощность экспозиционной дозы в разных помещениях в целях минимизации дозовой нагрузки на персонал при работах в радиоактивно загрязненных помещениях.

Наиболее загрязненными являются помещения петлевых установок МР. В более чем 30 помещениях реактора мощность экспозиционной дозы составляет от 20 мкЗв/ч до 3 мЗв/ч. Поэтому детально обследовать эти помещения, определить местоположение наиболее активных источников излучения с помощью стандартных



Р и с. 2. Схема спектрометрического коллимированного детектора

дозиметрических приборов невозможно из-за больших дозовых нагрузок на персонал. Это можно сделать только с помощью дистанционных измерений распределения радиоактивности с помощью коллимированных детекторов γ -излучения [1—3].

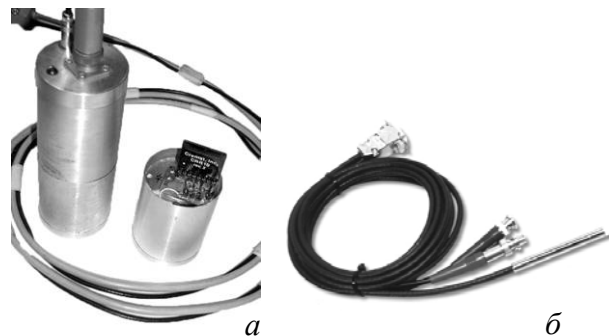
Разработанный спектрометрический коллимированный детектор для дистанционного измерения радиоактивного загрязнения (рис. 1) состоит из коллимированного детектора γ -излучения 1, цветной видеокамеры 2 и блока управления 3, которые смонтированы на поворотном устройстве 4, установленном на треноге 5, и управляющего компьютера.

Спектрально-чувствительный датчик детектора 1 помещен в свинцовую защиту 2 максимальной толщиной спереди 60 мм, минимальной 35 мм с остальных сторон (рис. 2). В корпусе сделано отверстие диаметром 20, толщиной 100 мм, служащее коллиматором 3, через которое γ -излучение попадает на детектор. Угол зрения коллиматора составляет $\sim 10^\circ$. Для изменения угла коллимации до 20° изготовлена свинцовая вставка с отверстием коллиматора 10 мм 4. Для данной системы изготовлены три взаимозаменяемых датчика — два датчика на основе оптопары сцинтиллятор CsI(Tl) — фотодиод с объемом сцинтиллятора 20 и 5 см³ соответственно и один полупроводниковый CdZnTe-датчик объемом 60 мм³ (рис. 3). Посредством их замены можно изменить чувствительность устройства.

Все составляющие части прибора — коллимированный детектор, видеокамера, поворотное устройство и блок управления имеют пылевлагозащищенный легко дезактивируемый корпус, что позволяет использовать прибор в радиоактивно загрязненных помещениях.

В блоке управления размещены бортовой компьютер, спектроанализатор СКС-08 «Колибри», питание устройства и управление поворотным устройством. В качестве бортового используется промышленный компьютер на базе материнской платы, которая не требует активного охлаждения и может быть расположена в закрытом боксе.

Сигналы датчика, полученные с предусилителя, передаются в усилитель-формирователь и далее передаются на спектроанализатор СКС-08 «Колибри», который управляется бортовым компьютером. Сигнал с видеокамеры поступает на универсальную последовательную шину бор-



Р и с. 3. Сцинтилляционные CsI(Tl) — фотодиод (а) и полупроводниковый CdZnTe-датчик (б)

тового компьютера. Видеокамера размещена так, чтобы ее ось симметрии была параллельна оси симметрии коллиматора. Видеокамера воспроизводит полный угол зрения коллимированного детектора. Поворотное устройство также управляется бортовым компьютером.

Оператор управляет спектрометром и поворотным устройством с помощью компьютера, связанного с бортовым компьютером через беспроводной интерфейс или с помощью кабеля «витая пара» (расстояние от прибора до управляющего компьютера может составить до 100 м). Таким образом, оператор работает на безопасном расстоянии от загрязненных объектов.

Для измерения параметров прибора в лабораторных условиях использовали следующие источники излучения: ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{241}Am активностью 1,85 ГБк, 481 кБк, 3,7 ГБк соответственно. Определяли угловое разрешение для узкого и широкого коллиматора и чувствительность прибора для всех детекторов. Чувствительность прибора определяли как отношение скорости счета в пике полного поглощения спектрометрического датчика к мощности экспозиционной дозы в точке установки прибора от точечного радиоактивного источника. Такое определение чувствительности удобно при использовании прибора для поиска радиоактивных источников и обследования помещений, загрязненных радионуклидами. Зная чувствительность прибора и расстояние до источника, по спектру излучения можно определить активность источника. Параметры прибора приведены в таблице. Сцинтилляционные датчики применяются для поиска основных источников загрязнения в помещениях реактора. Полупроводниковый CdZnTe-датчик имеет хорошее энергетическое разрешение в низкоэнергетической части спектра (рис. 4). Коллимированный детектор с уста-

новленным полупроводниковым датчиком благодаря малой чувствительности и хорошему энергетическому разрешению позволяет проводить измерения спектральных характеристик высокоактивных радиоактивных отходов и отработавшего топлива.

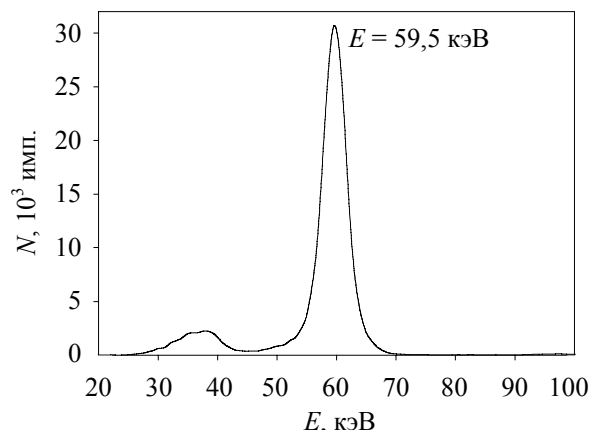
Чувствительность и энергетическое разрешение коллимированного детектора с различными датчиками

Датчик	Чувствительность, имп.·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹		Энергетическое разрешение, %	
	Линия излучения, кэВ			
	662 (¹³⁷ Cs)	1173,3 (⁶⁰ Co)		662 (¹³⁷ Cs)
Сцинтилляционный с объемом кристалла, см ³ :				
20	760	212	8,4	
5	250	64	8,8	
Полупроводниковый CdZnTe	9	—	1,7	

Коллимированным детектором можно управлять вручную и автоматически. При ручном способе контроля оператор, используя видеоизображение, наводит прибор на исследуемый объект, измеряет спектр излучения и записывает полученные данные и видеоизображение в память компьютера. В автоматическом режиме сценарий работы прибора состоит из ряда движений (поворотов) в заданном направлении, измерения спектров и записи видеоизображений.

После обработки данных строятся карты распределения радиоактивного загрязнения помещения, которые накладываются на видеоизображение. По полученному распределению активности рассчитываются мощность экспозиционной дозы внутри помещений, прогнозы ее изменения при дезактивационных работах и удалении источников.

Разработанный прибор используется для подготовки и демонтажа оборудования и систем исследовательского реактора при выводе из эксплуатации. Коллимированным детектором дистанционно измеряют излучение высокоактивных



Р и с. 4. Спектр γ -излучения ^{241}Am , полученный с помощью полупроводникового CdZnTe-датчика

радиоактивных отходов, извлекаемых из находящегося в реакторном зале хранилища бассейна. На стадии подготовки и планирования работ с его помощью можно определять основные источники загрязнения и оценивать распределение дозовых полей. При работах в помещениях петлевых установок реактора он будет применяться для оперативного контроля за изменением радиационной обстановки и перемещением объектов с радиоактивным загрязнением, выявления новых радиоактивных источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкович А.Г., Ликсонов В.И., Степанов В.Е. и др. Коллимированный спектрально-чувствительный детектор для дистанционного поиска пятен радиоактивного загрязнения. — Атомная энергия, 1990, т. 69, вып. 4, с. 259—261.
2. Волкович А.Г., Коба Ю.В., Ликсонов В.И. и др. Применение коллимированного детектора при ликвидации последствий аварии в машинном зале 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС. — Там же, вып. 6, с. 389—391.
3. Потапов В.Н., Иванов О.П., Степанов В.Е. и др. Новые приборы и системы радиационного контроля и их использование при проведении реабилитационных работ на территории временных хранилищ радиоактивных отходов РНЦ КИ. — В сб.: VII Межд. конф. «Безопасность ядерных технологий: обращение с радиоактивными отходами». Санкт-Петербург, 27 сентября—1 ноября 2004, с. 371—374.

Поступила в Редакцию 2.04.10