

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.039.58

РАДИОМЕТРИЯ НИЗКОАКТИВНЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Курдяев Ю.Б. (Северо-Западная академия государственной службы)

Демонтированные при снятии с эксплуатации ядерных объектов материалы представляют собой поглощающие излучатели с плотностью в интервале $0,2—11,3 \text{ г/см}^3$, загрязненные осколочными радионуклидами с большим периодом полураспада. Допустимое остаточное загрязнение, при котором эти материалы могут быть допущены в свободное обращение, нормируется, как правило, в единицах удельной активности и равно $0,1—10 \text{ Бк/г}$ [1]. Количество материалов, образующихся при демонтаже одного объекта, может составлять несколько десятков тысяч тонн, поэтому одновременно приходится контролировать большие объемы. Актуальность создания надежного и эффективного способа контроля радиационной опасности материалов, образующихся в процессе снятия с эксплуатации ядерных объектов, диктуется необходимостью исключения попадания в свободное обращение материалов, являющихся источником радиационной опасности.

В отечественных нормативных документах в качестве предела, по которому определяется статус демонтированных материалов, используется мощность экспозиционной дозы [2]. В рекомендациях МАГАТЭ в качестве такого предела предлагается использовать активность радионуклидов [3], которая в отличие от мощности дозы является величиной инвариантной и с ее помощью можно оценить степень радиационной опасности материалов после соответствующего передела, связанного с изменением геометрической формы или состояния при подготовке к повторному применению.

Излучатели, формируемые на базе материалов снимаемых с эксплуатации ядерных установок, не удовлетворяют специфическим требованиям радиометрических систем, для которых разработаны физические модели, позволяющие определить активность радионуклидов (малоактивный точечный излучатель—детектор в геометрии 4π или высокоактивный точечный излучатель, удаленный на большое расстояние от точечного детектора). Это связано с тем, что они имеют большие размеры и небольшую активность. Для этой категории излучателей требуется радиометрическая система самого общего типа, представленная объемным поглощающим излучателем и объемным поглощающим детектором конечных размеров.

В первом приближении определить активность радионуклидов в такой системе можно следующим образом. С помощью, например, инженерного метода можно определить усредненную плотность потока γ -квантов в области пространства, занимаемого спектрометрическим детектором. Причем для случая, когда линейные размеры детектора превышают линейные размеры излучателя, необходимо найти плотность потока для точечного детектора, располагающегося вне высоты излучателя. Такое решение для цилиндрического излучателя получено в работах [4, 5], для параллелепипедаоидального излучателя найдено решение такой задачи для точечного детектора, расположенного в пределах его фронтальной проекции [6]. Затем для некой характерной точки внутри объема, занимаемого детектором, можно получить плотность потока нерассеянных γ -квантов от объемного поглощающего излучателя. Отнеся плотность потока γ -квантов, усредненную по объему детектора, к плотности потока γ -квантов в характерной точке объема детектора, можно получить безразмерный коэффициент ψ сведения объемного детектора к точечному. Принципиальная возможность решения такой задачи показана в работах [7, 8].

Для определения безразмерного коэффициента сведения Ω объемного поглощающего излучателя к точечному, расположенному в характерной точке объемного излучателя, отнесем плотность потока нерассеянных γ -квантов от объемного поглощающего излучателя в характерной точке внутри объема детектора к плотности потока γ -квантов от точечного излучателя, расположенного в характерной точке объемного излучателя, с такой же суммарной активностью радионуклидов. Необходимо отметить, что выбор положения характерных точек для детектора и излучателя принципиального значения не имеет. В результате проведенных операций можно получить математическую модель, в которой установлена связь между усредненной по объему, занимаемому детектором, плотностью потока γ -квантов $\bar{\varphi}$ и активностью радионуклидов A объемного поглощающего излучателя:

$$A = (4\pi L^2 / \eta \Omega \psi) \bar{\varphi}, \quad (1)$$

где L — расстояние между выбранными характерными точками в объемах детектора и излучателя; η — выход γ -квантов определенной энергией на один акт распада.

Фрагмент выражения (1) можно считать передаточной функцией рассматриваемой радиометрической системы:

$$\mathfrak{R} = 4\pi L^2 / \eta \Omega \psi. \quad (2)$$

Находясь в неравномерном поле γ -квантов, объемный спектрометрический детектор будет давать определенный отклик. В первом приближении можно принять, что этот отклик будет пропорционален усредненной плотности потока нерассеянных γ -квантов по объему, занимаемому детектором. Определить этот коэффициент пропорциональности (градуировочный коэффициент спектрометрической установки) можно с помощью образцового источника. Пусть имеется радиометрическая система, состоящая из образцового источника активностью $A^{об}$ определенной геометрической формы и известными размерами с коэффициентом линейного ослабления γ -квантов материалом источника $\mu_s^{об}$, находящегося в поглощающей среде с $\mu_c^{об}$ за технологическим экраном с $\mu_z^{об}$ и спектрометрическим детектором определенной геометрической формы и заданными размерами с коэффициентом линейного ослабления γ -квантов μ_d . Для такой радиометрической системы, используя выражение (2), можно рассчитать передаточную функцию $\mathfrak{R}^{об}$ и, разделив активность образцового источника на это значение, получить усредненный поток $\bar{\varphi}^{об}$ нерассеянных γ -квантов по объему детектора. Для этой же радиометрической системы имеется отклик спектрометрического детектора $\lambda^{об}$. Отношение этих значений и будет градуировочным коэффициентом спектрометрического детектора для данного радионуклида: $\nabla = \bar{\varphi}^{об} / \lambda^{об}$. Далее, заменив образцовый источник на измеряемый объект с другой формой и размерами, другими показателями поглощения γ -квантов материалом излучателя, поглощающей средой и защитным экраном, можно получить отклик детектора λ'' . Тогда измеренная усредненная плотность потока нерассеянных γ -квантов составит $\bar{\varphi}'' = \nabla \lambda''$. Для радиометрической системы с измеряемым объектом, используя выражения (2), можно получить передаточную функцию $\mathfrak{R}''$. Тогда активность радионуклида в измеряемом объекте может быть определена по выражению $A = \mathfrak{R}'' \nabla \lambda''$.

В заключение следует отметить, что при соответствующем метрологическом обеспечении предлагаемый подход позволит оптимально определять активность радионуклидов в материалах, образующихся при снятии с эксплуатации ядерных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) СП 2.6.1799-99.
2. Слитки черных и цветных металлов. Допустимые уровни удельной активности гамма-излучающих радионуклидов. Методы радиационного контроля. ГОСТ Р 51713-2001.
3. Требования по безопасному обращению с радиоактивными отходами. IAEA-TECDOC-853, 1995.
4. Курдяев Ю.Б. Расчет параметров поля цилиндрического поглощающего излучателя в направлении образующей. — Атомная энергия, 2000, т. 88, вып. 2, с. 88—92.

5. Курдяев Ю.Б. Расчет параметров поля цилиндрического поглощающего излучателя в направлении торца. — Там же, с. 92—95.
6. Курдяев Ю.Б. Расчет поля поглощающего параллелепипедаоидального излучателя за защитой в поглощающей среде. — Там же, т. 89, вып. 5, с. 423—424.
7. Курдяев Ю.Б. Влияние параметров объемного цилиндрического излучателя и сферического детектора на результаты измерений. — Там же, 1999, т. 86, вып. 1, с. 32—36.
8. Курдяев Ю.Б. Радиометрическая система цилиндрический излучатель—торцевой цилиндрический детектор. — Там же, 2000, т. 88, вып. 6, с. 470—474.

Поступило в Редакцию 27.09.02

Рефераты статей

Окончание. Начало см. на с. 395

УДК 621.039.31

Палкин В. А. **Обобщение решения Смородинского для потенциала разделения многокомпонентной смеси изотопов.** — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 5, с. 373—382.

Предложен новый подход к определению многокомпонентного потенциала, основанный на расчете числа производимым делительным устройством элементарных эффектов разделения. Найдены соотношения для потенциала, которые содержат произвольные константы, зависящие от особенностей рассматриваемого процесса разделения. В частном случае полученное решение соответствует формуле Смородинского. Проведен анализ практического применения различных видов потенциала. Установлена его форма, адекватно отвечающая процессам обогащения целевых изотопов. Даны рекомендации по оценке показателей эффективности разделения элементов, ступеней и каскадов. Рис. 3, табл. 1, список лит. 13 назв.

УДК 621.384

Алексеев Н.Н., Акимов Г.Н., Алексеев П.Н., Балануца В.Н., Гапоненко С.В., Горячев Ю.М., Демидов В.С., Журавлев А.С., Заводов В.П., Завражнов В.С., Кириллов А.В., Кузнецов В.А., Кошкарев Д.Г., Мильяченко А.Д., Никитин Г.А., Николаев В.И., О कोरोков И.С., Потрясова Э.И., Петрухин В.Ф., Соснин Д.В., Шарков Б.Ю., Шумшуров А.В., Щеголев В.А., Щелканов М.В. **Ускорение ядер углерода до релятивистской энергии в синхротроне У-10.** — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 5, с. 382—389.

В ИТЭФе завершен этап реконструкции комплекса кольцевых ускорителей: в синхротроне У-10 ускорены ядра углерода до предельной

энергии 4 ГэВ/а.е.м. Ионы C^{4+} из лазерного ионного источника предварительно ускоряли в линейном инжекторе И-3 до энергии 1,5 МэВ/а.е.м. и бустерном синхротроне УК до энергии 50 МэВ/а.е.м., инжектировали по схеме перезарядной инжекции $C^{4+} \rightarrow C^{6+}$ в синхротрон У-10 на растущее магнитное поле и ускоряли до максимальной энергии. Описываются основные технологические особенности использованной схемы ускорения, а также результаты первого физического эксперимента с ядрами углерода релятивистской энергии. Рис. 6, список лит. 9 назв.

УДК 551.510

Невинский И.О., Цветкова Т.В. **Извлечение ^{85}Kr из проб воды.** — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 5, с. 389—394.

Описана система выделения криптона из предварительно отобранной в полевых условиях пробы природной воды. Для осаждения благородных газов используется угольная ловушка при $-76^\circ C$. β -Излучение ^{85}Kr регистрируется многоклеточным пропорциональным счетчиком объемом 3,5 л, расположенным на поверхности земли и в штольне на глубине 500 м.вод.экв. в низкофоновой камере. На поверхности фон счетчика в защите с включенным кольцом антисовпадений в энергетическом интервале энергии β -частиц ^{85}Kr составляет 0,8 имп./мин, в подземной лаборатории — 2 имп./ч.

Рассмотрены различные схемы дегазации и выделения криптона из проб воды — нагреванием, барботированием и вакуумной дегазацией. Установлено, что коэффициент извлечения растворенных газов нагреванием воды составляет $88 \pm 2\%$, барботированием — $95 \pm 3\%$, вакуумной дегазацией — $70 \pm 10\%$.

По результатам предварительных измерений концентрация ^{85}Kr в разных природных водах Краснодарского края составляет 130—1080 расп./мин·ммоль. Рис. 3, табл. 1, список лит. 4 назв.