DOI: 10.25283/2587-9707-2024-1-26-34 УДК 539.16.07

ВЛИЯНИЕ КОЛЛИМАТОРА И ПОГЛОТИТЕЛЯ НА СПЕКТРЫ, ИЗМЕРЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОТОТИПА КСЕНОНОВОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА

А. И. Маджидов, В. В. Дмитренко, С. Е. Улин, В. М. Грачев, К. Ф. Власик, Р. Р. Егоров, К. В. Кривова, З. М. Утешев, А. Е. Шустов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

Статья поступила в редакцию 21 декабря 2023 г.

В данной статье исследуется принципиальная возможность определения нуклидного состава и активности гамма-источников, в том числе упаковок радиоактивных отходов с целью их характеризации по результатам анализа измеренных гамма-спектров при наличии поглотителя, находящегося между гамма-источниками и ксеноновым гамма-спектрометром, помещенным в цилиндрический свинцовый коллиматор.

Ключевые слова: *изотоп, гамма-спектрометр, ядерно-физические установки, комптон-эффект, энергетический спектр, ксенон, радиоактивные отходы, характеризация радиоактивных отходов.*

Введение

Существует три разных подхода к оценке многократного рассеяния гамма-лучей в комптоновских профилях измеренных спектров. Первый способ состоит в изменении геометрии рассеивающего тела таким образом, что доля событий, связанных более чем с одним рассеянием, уменьшается. В этом случае наиболее очевидный подход заключается в том, чтобы провести измерения с несколькими образцами поглотителя (в данном случае — почвы), имеющими различные толщины, и затем экстраполировать эти результаты до их нулевого значения. Однако этот метод нельзя применять, так как функциональная зависимость многократного рассеяния на поглощающих образцах довольно сложная и нелинейная даже для относительно тонких слоев.

Во втором подходе величина многократного рассеяния может быть определена непосредственно с помощью метода смещенного пучка для устранения однократного рассеяния. Однако его геометрия зависит от смещения, так что экстраполяция до нулевого значения должна быть учтена, если этот метод используется для коррекции многократного рассеяния.

Наконец, в третьем подходе можно вычислить интенсивность и спектральные распределения многократного рассеяния гамма-квантов. Его экспериментальные параметры можно использовать в расчетах для корректировки измеренного профиля комптоновского рассеяния.

Данные исследования позволят тщательно измерить изотопный состав и активность радиоактивных отходов (РАО) [1], [2] и загрязненных материалов, которые возникли в результате эксплуатации ядерно-физических установок и аварий разной степени [3], [4].

Экспериментальная установка

Ксеноновый гамма-спектрометр (КГС) — это импульсная ионизационная камера, заполненная сжатым ксеноном Xe (Z = 54), которая изготавливается в НИЯУ МИФИ. В данной работе используется КГС объемом 2000 см^3 [5]. Его основные физико-технические характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные физико-технические характеристики КГС

Плотность рабочего вещества (ксенона), г/см^3	(0,3–0,4)
Диапазон измеряемых энергий гамма-квантов, МэВ	0,03–3
Энергетическое разрешение для энергии гамма-квантов 662 кэВ, %	1,9 ± 0,3
Эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 662 кэВ, %	2
Рабочий объем, см^3	2000
Масса, кг	5
Габариты, см	Ø15 × 45
Энергопотребление, Вт	20
Напряжение питания, В	24
Диапазон рабочих температур, °С	0 – +90
Диапазон вибро-акустических нагрузок, дБ	до 90
Линейность энергетической шкалы, %	<1%
Ресурс работы, год	не менее 10
Радиационная стойкость, возможность работать при потоках нейтронов, нейтрон/с·см^2	≈40

Из приведенной таблицы следует, что КГС обладают высоким энергетическим разрешением. Для энергии гамма-квантов 662 кэВ оно составляет (1,9 ± 0,3) %, что в несколько раз лучше, чем у популярных сцинтилляционных детекторов на основе кристаллов NaI(Tl). На рис. 1 представлены принципиальная схема и фотография КГС с объемом камеры 2000 см^3.

Интегральная нелинейность ксенонового гамма-спектрометра составляет менее 1 % в энергетическом диапазоне 30—3000 кэВ. Это означает, что при обработке экспериментальных данных, получаемых с помощью КГС, нет необходимости использования сложных программ для восстановления измеренных гамма-спектров и приведения их к линейной энергетической шкале. Обычно такие программы применяют при обработке результатов, получаемых с помощью сцинтилляционных детекторов, у которых интегральная нелинейность в указанном энергетическом диапазоне не позволяет использовать линейную калибровку.

При облучении нейтронами у КГС изменение положения гамма-линии регистрируемых гамма-источников и ухудшение энергетического разрешения при фоновых потоках нейтронов до 40 нейтрон/(с·см^2) не наблюдается.

Ксеноновый гамма-спектрометр способен работать при использовании блока цифровой электроники в обстановке с уровнем акустической нагрузки до 90 дБ без ухудшения энергетического разрешения [5].

Высокая стабильность КГС позволяет применять его в течение длительного времени. Гамма-спектрометр «Ксения» в составе научной аппаратуры «Букет» проработал на борту орбитальной станции «МИР» более 10 лет [6], при этом его основные характеристики остались практически неизменными.

К достоинствам КГС следует отнести также тот факт, что его спектрометрические характеристики слабо зависят от рабочего объема гамма-детектора, который может иметь размеры

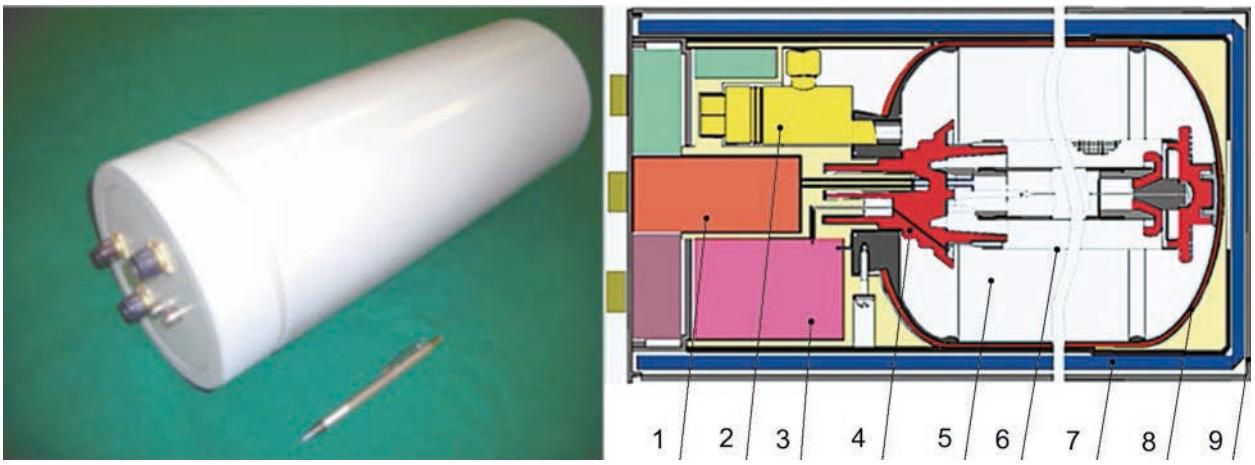

Рис. 1. Фотография и схема КГС: 1 – зарядочувствительный усилитель, 2 – кран для наполнения рабочим веществом, 3 – источник высоковольтного питания, 4 – керамический гермоввод, 5 – ионизационная камера, 6 – экранирующая сетка, 7 – тефлоновая изоляция, 8 – стальной корпус с композитным покрытием, 9 – внешний защитный корпус

от 200 до 6000 см^3. Это свойство было неоднократно проверено на его действующих прототипах. В связи с этим реальные габариты КГС, предназначенных для различных приложений, определяются прежде всего задачами и условиями их использования.

Следует также отметить, что стоимость изготовления данного детектора существенно меньше, чем, например, германиевых или CZT полупроводниковых, обладающих идентичной чувствительностью.

Указанные свойства КГС позволяют использовать его для обнаружения и идентификации радиоактивных и делящихся материалов, а также для проведения измерений при обращении с РАО и в процессе вывода из эксплуатации АЭС.

Управление данным спектрометром и обработка экспериментальных данных в режиме реального времени могут осуществляться дистанционно с применением персонального компьютера. Ниже приводятся методы управления и алгоритмы анализа данных, поступающих с КГС.

Комптоновская долина в спектрах, измеренных КГС

Известно, что в энергетическом спектре фотопик гамма-источника не меняет своего положения, несмотря на то что источник находится за препятствием. Однако общее число событий в области комптоновской долины [7] может существенно измениться в зависимости от размеров поглотителей гамма-излучения.

Наилучшим из разработанных к настоящему времени методов определения геометрического типа источников радиоактивного загрязнения является анализ в измеренном аппаратурном спектре соотношения детектируемых рассеянной и нерассеянной компонент излучения гамма-источника. При этом наиболее перспективным представляется анализ рассеянной части спектра в области так называемой комптоновской долины, которая соответствует зоне между пиком полного поглощения и правым краем комптоновского распределения (рис. 2).

Для моноэнергетического источника импульсы в области комптоновской долины возникают либо в результате многократного комптоновского рассеяния, либо из-за взаимодействий с полной потерей энергии фотонами, которые подверглись рассеянию на небольшие углы (в материале источника или в промежуточных материалах) перед тем, как попасть в детектор. Нерассеянные фотоны моноэнергетического

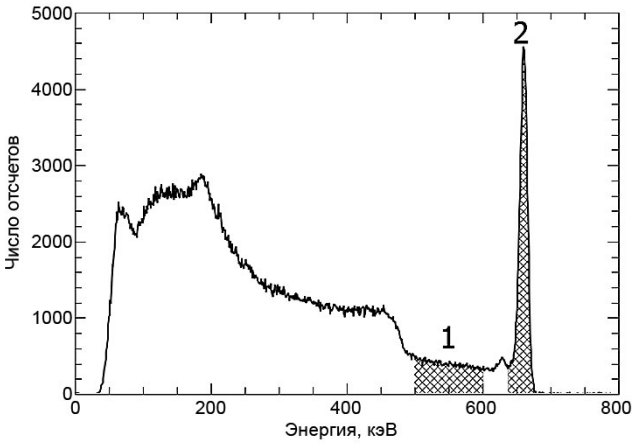

Рис. 2. Область комптоновской долины (1) и пика полного поглощения (2) на примере спектра ^{137}Cs, измеренного детектором гамма-излучения на основе сжатого ксенона

источника не могут сформировать импульсы в комптоновской долине в результате однократного взаимодействия в детекторе. В более сложных спектрах эта часть может содержать импульсы, образованные вследствие комптоновского рассеяния фотонов более высоких энергий.

Для выяснения влияния различных поглотителей на форму зарегистрированных энергетических спектров гамма-квантов была проведена серия экспериментов, результаты которых приведены ниже.

Метод измерений

Радиоактивный источник типа ОСГИ ^{137}Cs располагается напротив торца ксенонового гамма-детектора (КГД) на расстоянии 100 см от него. Для уменьшения регистрации вторичного рассеянного гамма-излучения КГД помещается в цилиндрический свинцовый коллиматор с толщиной стенки 3 см и диаметром 20 см (рис. 3).

Измерения проводятся в двух вариантах расположения КГД в коллиматоре:

1) торец КГД совмещен с краем коллиматора;

2) детектор углублен в цилиндрический коллиматор на 20 см. Это позволяет его экранировать от рассеянных гамма-квантов, которые образуются при взаимодействии с поглотителем.

Для наблюдения изменений в форме гамма-спектра, особенно в области комптоновской долины, использовался поглотитель из грунта (почва), который располагался между гамма-источником ^{137}Cs и КГД. Толщина поглотителя в экспериментах менялась и составляла 0 (нет поглотителя), 5, 10 и 20 см. Активность используемого источника гамма-излучения ^{137}Cs составляла 1 МБк.

Рис. 3. Схема установки, предназначенной для оценки возможности применения ксеноновых гамма-спектрометров для определения геометрического типа источника радиоактивного загрязнения

Перед началом измерений энергетических спектров от гамма-источников проводилась калибровка энергетической шкалы гамма-спектрометра и определялся фон в лаборатории.

Экспериментальные результаты измерения комптоновской долины

Перед каждым экспериментом измерялось фоновое гамма-излучение в рабочем помещении, которое учитывалось при обработке экспериментальных данных. Один из таких спектров показан на рис. 4, на котором отчетливо видны характерные гамма-линии от естественных радиоактивных изотопов: ^{40}K (1 460 кэВ) и ^{228}Th (2 614 кэВ).

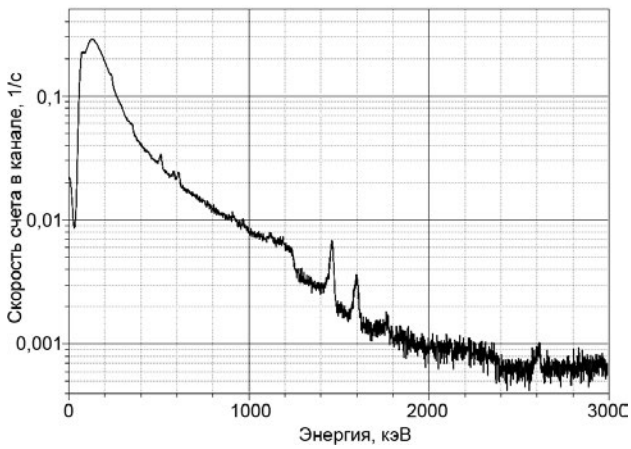

Рис. 4. Спектр фонового гамма-излучения в рабочем помещении

На рис. 5 приведены энергетические спектры, измеренные КГС, при наличии грунта различной толщины, а также спектр фонового гамма-излучения.

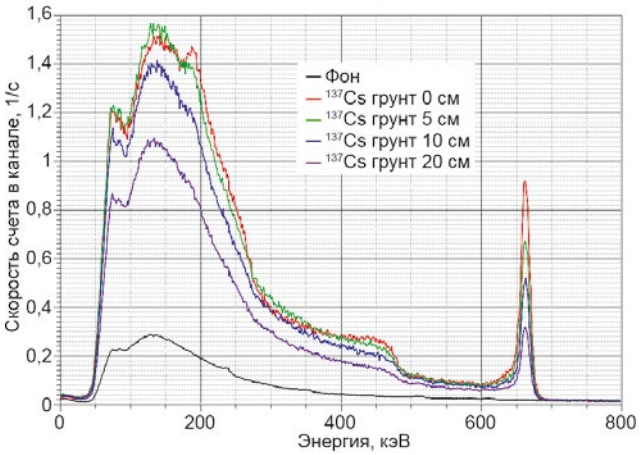

Рис. 5. Спектры от источника ^{137}Cs с поглотителями (грунт) различной толщины и фонового гамма-излучения

На рис. 6 более подробно показано изменение комптоновской долины в зависимости от толщины грунта, а также приведены измеренные спектры от источника ^{137}Cs с вычтенным фоном и нормированные на площади пиков полного поглощения.

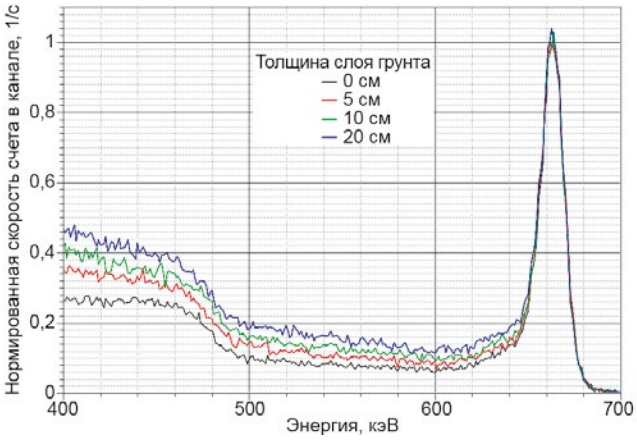

Рис. 6. Изменение комптоновской долины в зависимости от толщины грунта

С ростом толщины поглощающего слоя отчетливо наблюдается относительное увеличение площади комптоновской долины, которая выбиралась в диапазоне энергий гамма-квантов от 500 до 600 кэВ.

Для количественной оценки этого эффекта в каждом из спектров были вычислены площади пиков полного поглощения ($S_{пик}$) и

комптоновской долины ($S_{долины}$). Результаты этих расчетов показаны на рис. 7.

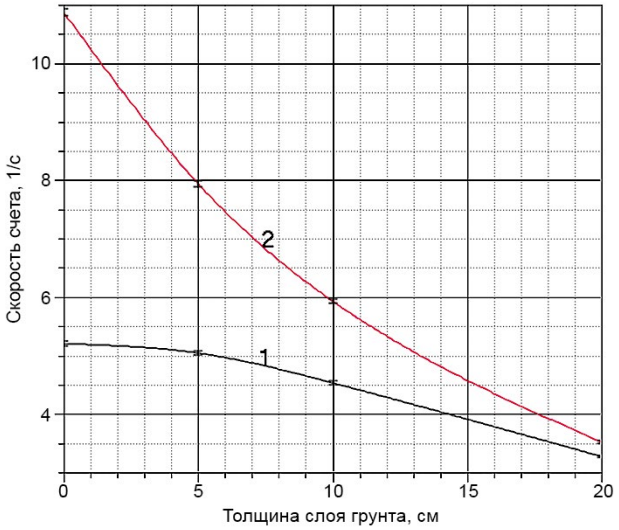

Рис. 7. Зависимость площадей комптоновской долины (1) и пика полного поглощения (2) от толщины грунта

Были также определены отношения площадей пиков полного поглощения и комптоновской долины ($S_{пик}/S_{долины}$) в зависимости от толщины слоя грунта. Площадь комптоновской долины вычислялась в интервале 500—600 кэВ, а пика полного поглощения — в результате аппроксимации распределением Гаусса (рис. 8).

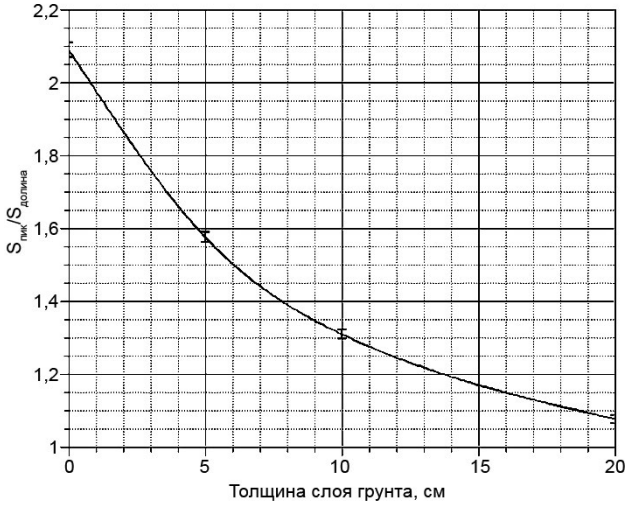

Рис. 8. Зависимость отношения площадей пиков полного поглощения и комптоновской долины ($S_{пик}/S_{долины}$) от толщины слоя грунта

Из рис. 8 следует, что величина отношения $S_{пик}/S_{долины}$ позволяет определять глубину залегания точечного источника гамма-излучения.

Для оценки этой возможности были проведены измерения гамма-спектров от источника ^{137}Cs, смещенного относительно центральной оси детектора, для слоев грунта различной толщины (0, 5, 10 см). Эксперименты проводились для двух положений — торцевые части детектора и защиты находились в одной плоскости (положение 1) и торцевая часть детектора была углублена относительно торцевой части защиты на 20 см (положение 2).

На рис. 9—11 приведены зависимости площади пика полного поглощения, площади комптоновской долины и отношения площади пиков полного поглощения к площади комптоновской долины ($S_{пик}/S_{долины}$) для различных смещений источника относительно центральной оси детектора в зависимости от толщины грунта. Детектор находился в положении 1.

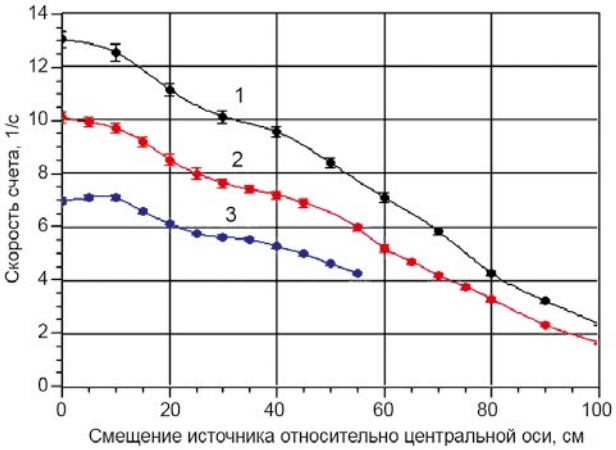

Рис. 9. Зависимость площади пика полного поглощения от смещения источника относительно центральной оси детектора для различной толщины грунта: 1 — без грунта, 2 — грунт 5 см, 3 — грунт 10 см. Детектор — в положении 1

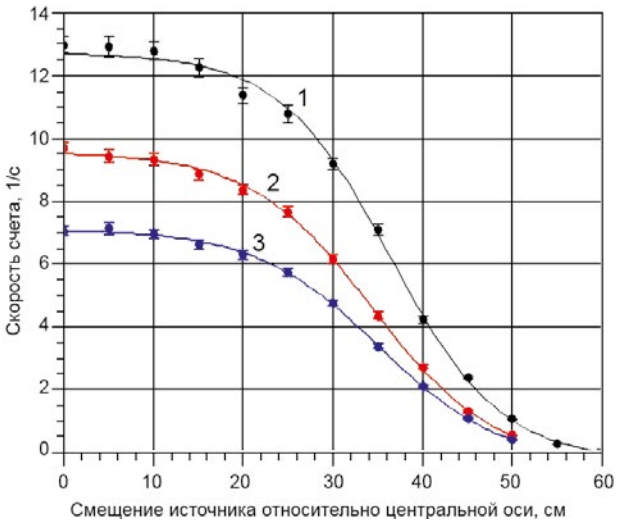

Рис. 10. Зависимость площади комптоновской долины от смещения источника относительно центральной оси детектора для различной толщины грунта: 1 — без грунта, 2 — грунт 5 см, 3 — грунт 10 см. Детектор — в положении 1

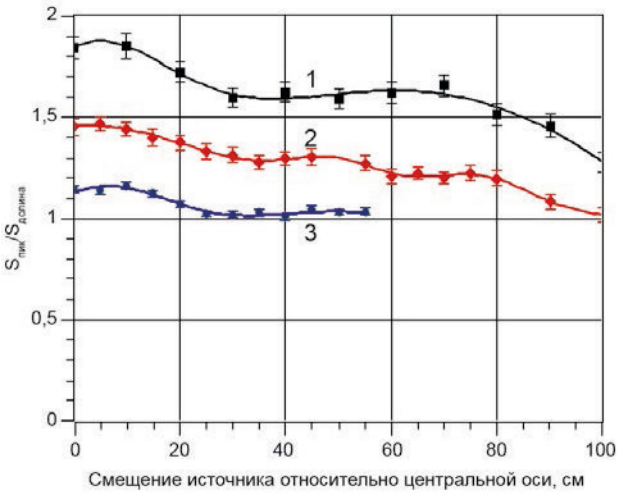

Рис. 11. Зависимость отношения площадей пиков полного поглощения и комптоновской долины ($S_{пик}/S_{долины}$) от смещения источника относительно центральной оси детектора для различной толщины грунта: 1 – без грунта, 2 – грунт 5 см, 3 – грунт 10 см. Детектор – в положении 1

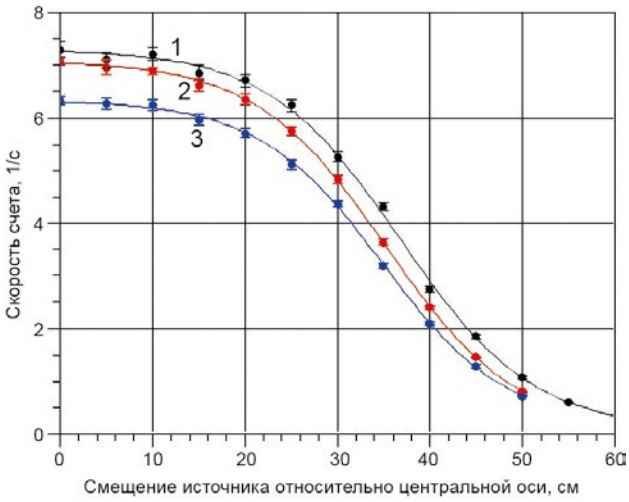

Рис. 13. Зависимость площади комптоновской долины от смещения источника относительно центральной оси детектора для различной толщины грунта: 1 – без грунта, 2 – грунт 5 см, 3 – грунт 10 см. Детектор – в положении 2

На рис. 12—14 приведены зависимости площади пика полного поглощения, площади комптоновской долины, отношения площади пиков полного поглощения к площади комптоновской долины ($S_{пик}/S_{долины}$) от смещения источника относительно центральной оси детектора для различной толщины грунта. Детектор находился в положении 2.

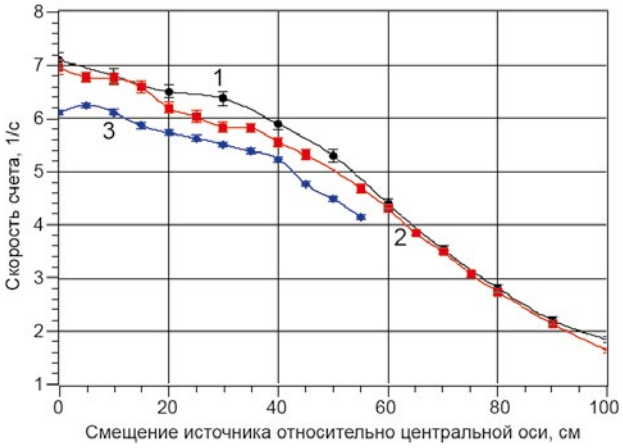

Рис. 12. Зависимость площади пика полного поглощения от смещения источника относительно центральной оси детектора для различной толщины грунта: 1 – без грунта, 2 – грунт 5 см, 3 – грунт 10 см. Детектор – в положении 2

При размещении детектора в положении 1 величина отношения $S_{пик}/S_{долины}$ слабо зависит от сдвига источника относительно центральной оси детектора, что позволяет использовать ее

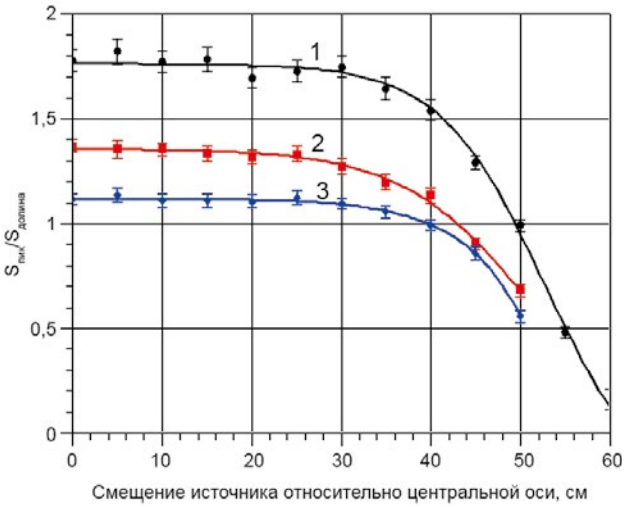

Рис. 14. Зависимость отношения площадей пиков полного поглощения и комптоновской долины ($S_{пик}/S_{долины}$) от смещения источника относительно центральной оси детектора для различной толщины грунта: 1 – без грунта, 2 – грунт 5 см, 3 – грунт 10 см. Детектор – в положении 2

для оценки глубины залегания распределенных источников гамма-излучения до 1 м.

В случае нахождения детектора в положении 2 величина отношения $S_{пик}/S_{долины}$ слабо зависит от сдвига источника относительно центральной оси детектора только на расстояние до 40 см, соответствующее полю зрения, что позволяет использовать ее для оценки глубины залегания распределенных источников гамма-излучения в этом диапазоне.

Как следует из рис. 12—14, фотопик гамма-источника ^{137}Cs сохраняет свое положение. Однако

изменяется количество событий в пике полного поглощения в зависимости от толщины грунта (почвы), который был помещен между КГД и ^{137}Cs, поэтому можно сделать вывод, что использовать площадь пика для определения глубины залегания источника возможно до тех пор, пока количество событий в нем не уменьшится до уровня фона.

Заключение

Исходя из результатов проведенных экспериментов, можно разработать специальный метод измерения толщины поглотителя, который располагается между КГС и гамма-источником, определить активность последнего и его радионуклидный состав. Это позволит с большей точностью узнать местоположение источника при проведении радиационного обследования и оценки количества РАО, образующихся при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ). В реальных ситуациях такими поглотителями могут быть стенки из бетона, кирпича, нержавеющей стали и других материалов.

Для определения материала, из которого они изготовлены, можно использовать коэффициенты поглощения, которые вычисляются при обработке измеренных спектров.

Данная работа была выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Литература

1 . *Ulin S. E. et al.* Application of xenon gamma-ray detectors in portal monitors for detection and identification of radioactive and fissile materials // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering : Hard X-Ray and Gamma-Ray Detector Physics and Penetrating Radiation Systems VIII, 14—17 августа 2006 г. — San Diego, 2006. P .631917. DOI: 10 .1117/12 .68111

2 . *Ulin S. et al.* Xenon Gamma-Ray Spectrometer for Radioactive Waste Controlling Complex // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 675. No. 4. P .042023. DOI: 10 .1088/1742-6596/675/4/042023

3 . *Власик К. В. и др.* Автоматизированная система на основе ксеноновых гамма-спектрометров для контроля газообразных радиоактивных выбросов ядерного реактора // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2004. Т. 2. С. 45—53.

4 . *Маджидов А. И. и др.* Автоматизированный и роботизированный гамма-спектрометрический комплекс для обследования ядерно-физических установок при выводе их из эксплуатации // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях : Сборник материалов XI Российской научной конференции, Москва, 26—29 октября 2021 года. Т. 4. — Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2022. С. 176—182.

5 . *Novikov A. S. et al.* New Modification of Xenon Gamma-Ray Detector with High Energy Resolution // Optical Engineering. 2013. Vol. 53. No. 2. P .021108. DOI: 10 .1117/1OE .53 .2 .0211

6 . *Yurkin Yu. T. et al.* Measurement of the gamma-ray lines with high-pressure xenon spectrometer on board the orbital station MIR // Proceedings SPIE. 1993. Vol. 2006. Pp. 108—111. DOI: 10 .1117/12 .16282

7 . *Demin V. M., Kolodin E. M. Panin M. P.* Determination of ^{137}Cs Radioactive Contamination over Soil Depth Using a Xenon Spectrometer // Atomic Energy. 2021. Vol. 129. No. 3. Pp. 163—168. DOI: 10 .1007 s10512-021-00729-4.

Информация об авторах

Маджидов Азизбек Истамович, старший преподаватель, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: AIMadzhidov@ .mephi .r

Дмитренко Валерий Васильевич, профессор, доктор физико-математических наук, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: vvdmitrenko@gmail.com.

Улин Сергей Евгеньевич, профессор, доктор физико-математических наук, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: SEUlin@gmail.com.

Грачев Виктор Михайлович, доцент, кандидат физико-математических наук, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: VMGrachev@mephi .ru

Власик Константин Федорович, инженер, кандидат физико-математических наук, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: KFVlasik@mephi .ru

Егоров Роман Романович, ведущий инженер, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: RREgorov@mephi .ru

Кривова Кира Валериановна, инженер, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: KVKriviva@mephi .ru

Утешев Зияэтдин Мухамедович, инженер, кандидат физико-математических наук, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: ZMUteshev@mephi .ru

Шустов Александр Евгеньевич, старший преподаватель, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), e-mail: AEShustov@mephi .ru

Библиографическое описание статьи

Маджидов А. И., Дмитренко В. В., Улин С. Е., Грачев В. М., Власик К. Ф., Егоров Р. Р., Кривова К. В., Утешев З. М., Шустов А. Е. Влияние коллиматора и поглотителя на спектры, измеренные с помощью прототипа ксенонового гамма-спектрометра // Радиоактивные отходы. 2024. № 1 (26). С. 26—34. DOI: 10 .25283/258 -9707-2024-1-26-34.

IMPACT OF COLLIMATOR AND ABSORBER ON THE SPECTRA MEASURED WITH HIGH PRESSURE XENON GAMMA-RAY SPECTROMETER PROTOTYPE

Madzhidov A. I., Dmitrenko V. V., Ulin S. E., Vlasik K. F., Grachev V. M., Egorov R. R., Krivova K. V., Uteshev Z. M., Shustov A. E.

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

Article received on December 21, 2023

The paper investigates the possibility in principle of determining the nuclide composition and activity of gamma-sources by analyzing the measured gamma-spectra provided an absorber installed between the gamma-sources and a xenon gamma-spectrometer placed in a cylindrical lead collimator.

Keywords: *isotope, gamma spectrometer, nuclear physics facilities, compton effect, energy spectrum, xenon, radioactive waste, characterization of radioactive waste.*

The study was supported by the Federal Program for Strategic Academic Leadership «Prioritet-2030».

References

1 . Ulin S. E. et al. Application of xenon gamma-ray detectors in portal monitors for detection and identification of radioactive and fissile materials. *Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering : Hard X-Ray and Gamma-Ray Detector Physics and Penetrating Radiation Systems VIII,* August 14—17, 2006. — San Diego, 2006. P .631917. DOI: 10 .1117/12 .68111

2 . Ulin S. et al. Xenon Gamma-Ray Spectrometer for Radioactive Waste Controlling Complex. *Journal of Physics: Conference Series,* 2016, vol. 675, no .4, p .042023. DOI: 10 .1088/1742-6596/675/4/042023

3 . Vlasik K. F. et al. Avtomatizirovannaya sistema na osnove ksenonovykh gamma-spektrometrov dlya kontrolya gazoobraznykh radioaktivnykh vybrosov

yadernogo reaktora [High-Pressure Xenon Spectrometer Application in Automatic Monitoring of Radionuclide Concentrations in the Ventilation System of a Nuclear Reactor]. *Yadernye izmeritel'no-informatsionnye tekhnologii — Nuclear measurement and information technologies,* 2004, vol. 2, pp. 45—53.

4 . Madzhidov A. I. et al. Avtomatizirovannyy i robotizirovannyy gamma-spektrometricheskiy kompleks dlya obsledovaniya yaderno-fizicheskikh ustanovok pri vyvode ikh iz ekspluatatsii [Prospects of Xenon Gamma Spectrometer Application as a Recording Device on Board of an Automated and Robotic Gamma-Ray Spectrometric Complex for the Decommissioning of Nuclear Physical Installations]. *Proceedings of the 10th Russian Scientifi Conference Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies*. Moscow, October 26—29, 2021. Moscow, NSI RAS Publ., 2022. Pp. 176—180.

5 . Novikov A. S. et al. New Modification of Xenon Gamma-Ray Detector with High Energy Resolution. *Optical Engineering,* 2013, vol. 53, no. 2, P. 021108. DOI: 10 .1117/1OE .53 .2 .0211

6 . Yurkin Yu. T. et al. Measurement of the gamma-ray lines with high-pressure xenon spectrometer on board the orbital station MIR. *Proceedings SPIE,* 1993, vol. 2006, pp. 108—111. DOI: 10.1117/12.162824.

7 . Demin V. M., Kolodin E. M. Panin M. P. Determination of ^{137}Cs Radioactive Contamination over Soil Depth Using a Xenon Spectrometer. *Atomic Energy,* 2021, vol. 129, no. 3, pp. 163—168. DOI: 10 .1007 s10512-021-00729-4.

Information about the authors

Madzhidov Azizbek Istamovich, senior lecturer, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: AIMadzhidov@mephi .ru

Dmitrienko Valery Vasilyevich, professor, Ph . . of Sciences, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: vvdmitrenko@gmail.com.

Ulin Sergey Yevgenyevich, professor, Ph . . of Sciences, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: SEUlin@gmail.com.

Grachev Victor Mikhailovich, associate professor, Ph . . science, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: VMGrachev@mephi .ru

Vlasik Konstantin Fedorovich, engineer, Ph . . science, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: KFVlasik@mephi .ru

Egorov Roman Romanovich, lead engineer, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: RREgorov@mephi .ru

Krivova Kira Valerianovna, engineer, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: KVKriviva@mephi .ru

Uteshev Ziyaetdin Mukhamedovich, engineer, Ph . . science, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: ZMUteshev@mephi .ru

Shustov Alexander Yevgenyevich, senior lecturer, National Research Nuclear University MEPhI (31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia), e-mail: AEShustov@mephi .ru

Bibliographic description

Madzhidov A. I., Dmitrenko V. V., Ulin S. E., Grachev V. M., Vlasik K. F., Egorov R. R., Krivova K. V., Uteshev Z .M., Shustov A. E. Impact of Collimator and Absorber on the Spectra Measured with High Pressure Xenon Gamma-Ray Spectrometer Prototype. *Radioactive Waste,* 2024, no. 1 (26), pp. 26—34. DOI: 10 .25283/258 -9707-2024-1-26-34. (In Russian).