

УДК 539.1.074-049.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ФОНОВОЙ СКОРОСТИ СЧЁТА И МИНИМАЛЬНОЙ ИЗМЕРЯЕМОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОМЕТРА АЛЬФА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.А. ЗАЙЦЕВ^{1,2}, Ю.Е. ТУРОНЧИК¹, И.А. ЛАГУЦКИЙ^{1,2}, Д.С. ДАНИЛЕВИЧ¹

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

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Беларусь)

E-mail: zaytsev_da@atomtex.com

Аннотация. В статье рассматривается метод активной защиты для решения задачи повышения чувствительности радиометрических средств контроля путем снижения фоновой скорости счёта и минимальной измеряемой активности. Предложен и экспериментально апробирован метод активной защиты на основе схемы «антисовпадений» на примере его интеграции в радиометр альфа- и бета-активности. В качестве дополнительного модуля использован соосно расположенный сцинтилляционный детектор на базе кристалла CsI(Tl) с кремниевым фотоумножителем. Экспериментальные исследования демонстрируют метрологическую целесообразность интеграции активной защиты в радиометр для расширения рабочего диапазона при контроле слабых источников ионизирующего излучения.

Abstract. This article discusses an active protection method designed to improve the sensitivity of radiometric monitoring devices by reducing the background count rate and the minimum detectable activity. An active protection method based on an “anti-coincidence” circuit is proposed and experimentally validated, using its integration into an alpha- and beta-activity radiometer as an example. A coaxially mounted CsI(Tl) crystal scintillation detector with a silicon photomultiplier is used as an additional module. Experimental studies demonstrate the metrological feasibility of integrating active protection into a radiometer to extend the operating range when monitoring weak sources of ionizing radiation.

Введение

Экологический мониторинг требует постоянного и точного контроля содержания радионуклидов на различных территориях и объектах для своевременного обнаружения и предотвращения негативных последствий на здоровье человека и окружающую среду [1]. Для решения данной задачи применяется радиометр РКС-АТ1329.

Современные требования к радиометрическому контролю в условиях низких уровней радиоактивности обуславливают необходимость повышения чувствительности измерительных средств. В связи с этим целью настоящего исследования является оценка факторов влияющих на измерение низко активных проб и применение методов для улучшения характеристик средств измерений.

Метод активной защиты и постановка задач

Для обеспечения радиационного контроля используются средства измерения, регистрирующие ионизирующее излучение. В качестве базового измерительного прибора может быть применён радиометр РКС-АТ1329, обеспечивающий одновременную раздельную регистрацию, альфа- и бета-частиц, измерение поверхностной активности, определение плотности потока частиц и активности исследуемых проб.

Одной из основных характеристик радиометра является минимально измеряемая активность (далее МИА), которая определяет уровень чувствительности прибора при работе с образцами малой активности.

МИА рассчитывается по формуле 1.1.

$$\text{МИА} = \frac{3,29 \sqrt{n_{\phi} \left(\frac{1}{t_{\phi}} + \frac{1}{t_{и}} \right)}}{\varepsilon} \quad (1)$$

где n_{ϕ} – интегральная скорость счёта фона; t_{ϕ} – время измерения фона; $t_{и}$ – время измерения источника ионизирующего излучения; ε – чувствительность блока детектирования к источнику ионизирующего излучения.

Исходя из формулы 1.1 можно сделать вывод, что понижение уровня МИА возможно либо путем увеличения времени измерения, что нежелательно для работы особенно в полевых условиях, или путем уменьшения фоновой скорости счёта.

Фоновая скорость счёта радиометра – это усреднённая частота регистрации импульсов детектирующей системой в условиях отсутствия контрольного источника ионизирующего излучения. Её формирование обусловлено суперпозицией природных радионуклидов и космического излучения.

При выполнении работы использовался метод активного уменьшения фона [2]. Данный метод подразумевает использование дополнительного модуля регистрации гамма-излучения. При прохождении гамма-кванта через детектор радиометра, он с определённой вероятностью пройдет через детектор дополнительного модуля. В случае прохождения одного гамма-кванта через оба детектора срабатывает система «антисовпадений», которая исключает, такой сигнал из расчётов фоновой скорости счёта. Тем самым это приводит к уменьшению фоновой скорости счёта радиометра от естественного и космического гамма-излучения и уменьшению влияния сопутствующего гамма-излучения исследуемого образца.

В ходе работы были поставлены задачи:

- разработать конструкцию с оптимальным расстоянием между двумя соосными детекторами;
- разработать составные части макета для дальнейшей сборки и проверки характеристик;
- провести практические эксперименты по выбору детектора дополнительного модуля регистрации гамма-излучения;
- провести экспериментальные исследования характеристик макета.

Реализация поставленных задач

В ходе работы была поставлена задача по разработке оптимальной конструкции радиометра для обеспечения максимальной эффективности работы системы «антисовпадений». Для этого необходимо обеспечить минимальное расстояние между детекторами, сохранив надёжность конструкции и не допустив нарушения светозащищённости дополнительного модуля. Два детектора должны располагаться соосно друг другу, обеспечивая полное перекрытие площадей детекторов.

Разработка и изготовление составных частей макета радиометра производилась на базе серийного выпускаемого радиометра РКС-АТ1329. Состав макета радиометра:

блок детектирования альфа- и бета-излучения;

механическая часть радиометра РКС-АТ1329;

дополнительный модуль регистрации гамма-излучения.

В конструкции макета радиометра использован блок детектирования, в котором реализована совместная раздельная регистрация альфа- и бета-излучения. За основу механической части макета была использована свинцовая защита радиометра РКС-АТ1329, доработанная для решения поставленной задачи. Для размещения дополнительного модуля было принято решение обеспечить необходимое пространство для установки дополнительного модуля в свинцовом диске, расположенном в основании радиометра, который также будет обеспечивать светозащиту детектора дополнительного модуля (рис. 1).

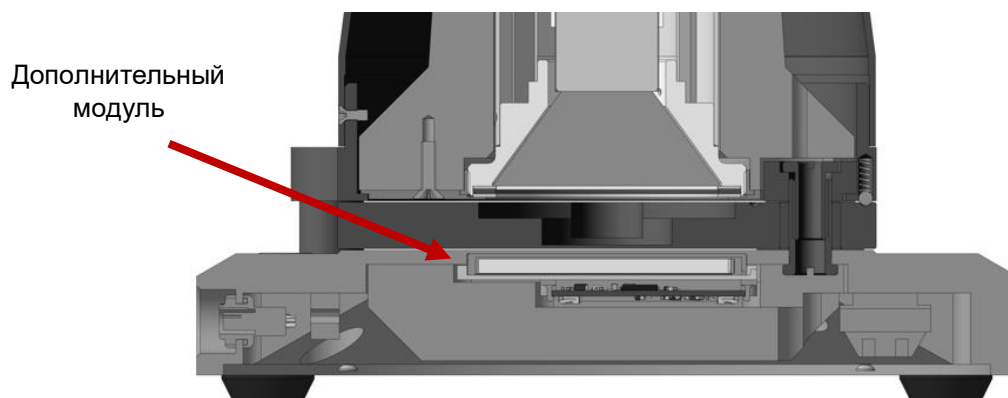


Рис. 1. Расположение дополнительного модуля в макете

Модуль регистрации гамма-излучения выполнен на базе детектора CsI(Tl). Выбор данного детектора обусловлен отсутствием гигроскопичности, высокой плотностью и возможностью использования кремниевого фотоумножителя (SiPM) [3], что позволило уменьшить габариты данного модуля.

В качестве анализатора импульсов модуля регистрации гамма-излучения были взяты платы аналогового усилителя и процессора управления индикатора радиоактивности ИР-АТ2523. Для обработки сигналов от детектора были использованы счетный и спектрометрический каналы обработки. Спектрометрический канал необходим для исследований и отладки работы узла детектирования.

Результаты измерений макета радиометра с системой «антисовпадений» и без нее представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерений

Скорость счёта с системой «антисовпадений», имп/с	Скорость счёта без системы «антисовпадений», имп/с	Уменьшение скорости счёта в %
0,398	0,765	47,9

В таблице 2 представлены расчетные значения МИА для макета радиометра с и без системы «антисовпадений» при наборе фоновой скорости счёта за время 3600 с и измерении источника ионизирующего излучения за время 1800 с.

Таблица 2. Значения МИА

МИА с системой «антисовпадений», Бк	МИА без системы «антисовпадений», Бк	Уменьшение МИА, %
0,2	0,28	28

Для готового макета радиометра был проведён эксперимент по определению энергий импульсов, зарегистрированных в обоих детекторах. Данный эксперимент позволяет оценить, какая энергия преобладает в спектре фонового излучения радиометра, и какая энергия участвует в вычислениях системы «антисовпадений» (рис.2), энергетическая калибровка спектра соответствует 3 кэВ/канал.

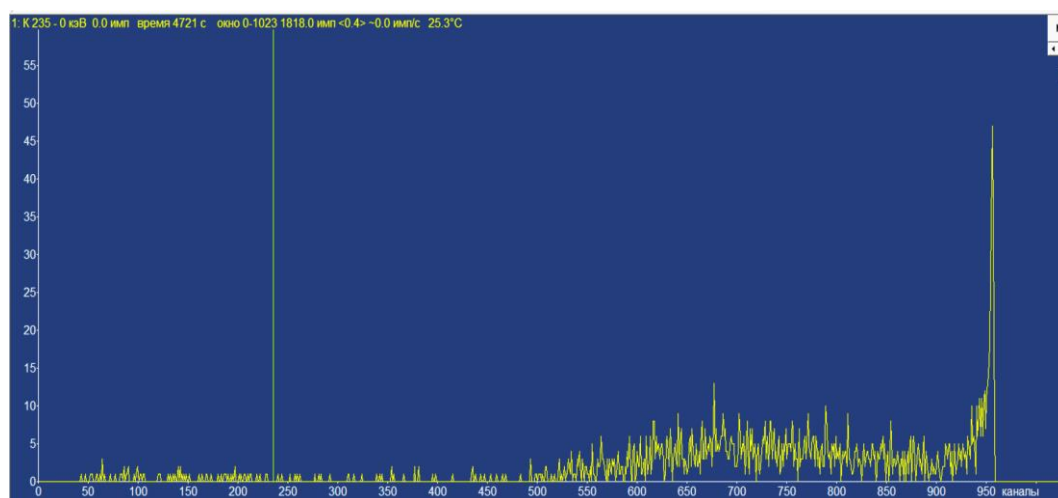


Рис. 2. Спектр импульсов, зарегистрированных детектором дополнительного модуля в режиме совпадений

Исходя из спектра совпадений, представленного на рис. 2, можно сделать вывод, что основной вклад в систему «антисовпадений» макета радиометра вносит высокоэнергетическое ионизирующее излучение с энергией более 1,5 МэВ [4] соответствующее высокоэнергетическому космическому-излучению и естественным радионуклидам, находящимся в окружающей среде (например изотоп 228-Th).

Заключение

В ходе исследования была достигнута цель по уменьшению уровня минимальной измеряемой активности радиометра путем интеграции дополнительного модуля регистрации гамма-излучения. Разработана и экспериментально апробирована конструкция макета с модулем активной защиты на базе сцинтилляционного кристалла CsI(Tl) и кремниевого фотоумножителя. Применение метода «антисовпадений» позволило снизить фоновую скорость счёта на 47,9 %, что обеспечило уменьшение уровня минимально измеряемой активности на 28 % при сохранении времени измерений. Спектральный анализ импульсов, зарегистрированных в обоих детекторах, подтвердил эффективность селективного подавления высокоэнергетической компоненты фонового излучения, обусловленной космическим-излучением и природными радионуклидами окружающей среды. Полученные результаты демонстрируют метрологическую целесообразность интеграции активной защиты в радиометрические средства для расширения их рабочих диапазонов при решении задачи обнаружения источников ионизирующего излучения малой активности.

Список использованных источников

1. Done L., Ioan M.-R. Minimum Detectable Activity in gamma spectrometry and its use in low level activity measurements // Applied Radiation and Isotopes. — 2016. — Vol. 114. — P. 28–32. — DOI: 10.1016/j.apradiso.2016.05.004.
2. Hung N. Q., Hai V. H., Tuyet T. K., Tuan H. L. A Low Background Gamma Ray Spectrometer with Antic cosmic Shielding // Communications in Physics. — 2016. — Vol. 26, № 1. — P. 93–97. — DOI: 10.15625/0868-3166/26/1/7474.
3. Grodzicka-Kobylka M., Moszyński M., Szcześniak T. Silicon photomultipliers in gamma spectroscopy with scintillators // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2019. — Vol. 926. — P. 129–147. — DOI: 10.1016