

Результаты разработки портативного ОЧГ-спектрометра гамма-излучения с электроохлаждением для полевых применений

Представлены результаты разработки портативного спектрометра на основе особо чистого германия (ОЧГ-спектрометра) с электроохладителем Стирлинга для полевых применений. Криостат спектрометра позволяет устанавливать коаксиальные ОЧГ-детекторы эффективностью до 40 % и планарные детекторы с чувствительной площадью до 3000 мм². Время охлаждения детектора — не более 8 ч. Несмотря на механические вибрации, создаваемые электроохладителем, полученное энергетическое разрешение спектрометра с коаксиальным детектором эффективностью 10 % составило менее 1,0 и 2,0 кэВ по энергиям 122 и 1332 кэВ, соответственно. Миниатюрное процессорное устройство (Android) позволяет управлять всеми режимами работы спектрометра, обеспечивает самодиагностику, первичную обработку, индикацию и сохранение спектров.

Ключевые слова: ОЧГ-детектор, гамма-спектрометрия, электроохладитель Стирлинга.

В. Ф. Кондратьев, Е. Л. Лошевич, О. Б. Пчелинцев, О. Д. Соколов, В. В. Гостило

Результаты разработки портативного ОЧГ-спектрометра гамма-випромінювання з електроохолодженням для польових застосувань

Наведено результати розробки портативного спектрометра на основі особливо чистого германію (ОЧГ-спектрометра) з електроохолоджувачем Стірлінга для польових застосувань. Криостат спектрометра дає змогу встановлювати коаксіальні ОЧГ-детектори ефективністю до 40 % і планарні детектори з чутливою площею до 3000 мм². Час охолодження детектора — не більший за 8 год. Незважаючи на механічні вібрації, створювані електроохолоджувачем, отримане енергетичне розділення спектрометра з коаксіальним детектором ефективністю 10 % становило менше 1,0 і 2,0 кеВ по енергіях 122 і 1332 кеВ, відповідно. Мініатюрний процесорний пристрій (Android) дозволяє управляти всіма режимами роботи спектрометра, забезпечує самодіагностику, первинну обробку, індикацію й збереження спектрів.

Ключові слова: ОЧГ-детектор, гамма-спектрометрія, електроохолоджувач Стірлінга.

© В. Ф. Кондратьев, Э. Л. Лошевич, А. Б. Пчелинцев, А. Д. Соколов, В. В. Гостило, 2015

Полупроводниковые детекторы из особо чистого германия (ОЧГ) находят широкое применение в радионуклидном анализе радиационных материалов при мониторинге окружающей среды, инспекционном контроле для обеспечения ядерной безопасности, контроле за несанкционированным перемещением ядерных материалов [1]. Имея превосходное энергетическое разрешение и высокую эффективность регистрации гамма-излучения, ОЧГ-детекторы обладают значительным превосходством для прецизионного анализа перед широкозонными полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами. Однако для обеспечения своих характеристик ОЧГ-детекторы должны быть охлаждены до температуры ниже 100 К [2]. При этом к аппаратуре для полевых применений предъявляются особенно жесткие требования по массе и габаритам.

Ранее для полевых применений нами был разработан портативный ОЧГ-спектрометр, охлаждаемый жидким азотом [3]. Оставаясь самым легким и компактным ОЧГ-спектрометром на рынке прецизионной спектротрической аппаратуры, данный спектрометр позволяет устанавливать коаксиальные детекторы с эффективностью регистрации до 20 % и планарные детекторы с чувствительной площадью до 2000 мм², обеспечивая их энергетическое разрешение на уровне лабораторного оборудования [4]. Однако появление на рынке малогабаритных электроохладителей (ЭО) различного типа стимулировало в последнее время разработку портативных спектрометров-идентификаторов на основе ОЧГ без применения жидкого азота [5, 6]. Несмотря на значительные недостатки (ухудшение энергетического разрешения из-за вибраций, производимых ЭО, значительная масса спектрометров, достаточно короткое время автономной работы, высокая стоимость) портативные ОЧГ-спектрометры с ЭО вызывают все больший интерес специалистов.

В данной статье представлены результаты разработки портативного ОЧГ-спектрометра с электроохладителем Стирлинга.

Конструкция спектрометра. Портативный ОЧГ-спектрометр с электроохлаждением разработан в соответствии с требованиями, предъявляемыми к радиоизотопным идентификаторам [7]. Он представляет собой единый модуль, в котором интегрированы все составные части спектрометра (рис. 1).

При разработке любого спектрометра с электроохлаждением, а портативного спектрометра особенно, ключевое значение имеет правильный выбор типа охладителя. Для

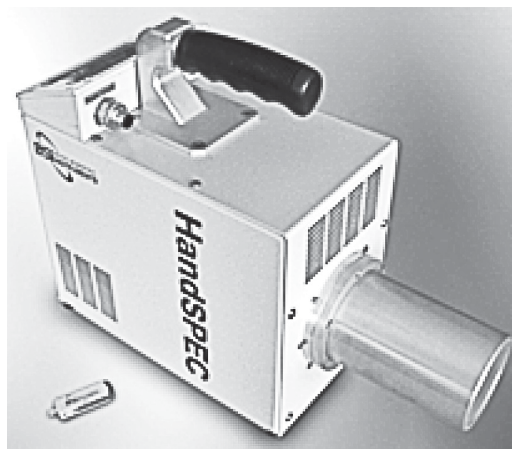


Рис. 1. Портативный ОЧГ-спектрометр

системы охлаждения ОЧГ-детектора в данном спектрометре использован ЭО типа SL400 фирмы AiM, Германия [8], масса которого равна 3,2 кг. Потребляемая мощность ЭО SL400 — 60 Вт; при этом мощность охлаждения на уровне 80 К составляет около 4 Вт, что позволяет устанавливать в криостате коаксиальные ОЧГ-детекторы эффективностью до 40 % и планарные детекторы с чувствительной площадью до 3000 мм². Время охлаждения детектора — не более 8 ч.

Некоторые применения портативных спектрометров требуют защиты детектора от внешних излучений. С этой целью разработана съемная свинцовая защита толщиной 10 мм с коллиматорами различных диаметров: 40, 25, 10, 5 мм. Вольфрамовая защита толщиной 7 мм с меньшими размерами съемных коллиматоров сконструирована и изготовлена для измерений обогащенного урана. Свинцовая защита может быть легко зафиксирована на фланце криостата вольфрамовыми винтами через специальные отверстия. Коллиматоры могут вкручиваться в защиту. Для уменьшения рассеянного рентгеновского излучения от вольфрама защита и коллиматоры имеют внутреннюю оловянную прокладку толщиной 1 мм, покрытую медным слоем толщиной 1,5 мм.

Размеры разработанного спектрометра составляют 369×285×141 мм, масса с ОЧГ-детектором эффективностью 20 % без свинцовой защиты — 12 кг.

Электроника и программное обеспечение. Электронный тракт спектрометра включает предусилитель с резистивной обратной связью и цифровой многоканальный анализатор (МСА, 16 каналов) с интегрированным высоковольтным питанием детектора и питанием предусилителя. Миниатюрное процессорное устройство на базе операционной системы Android позволяет управлять всеми режимами работы спектрометра, обеспечивает самодиагностику, осуществляет первичную обработку, индикацию и сохранение спектров. Встроенная энергонезависимая память 4 Гб (с возможностью расширения до 32 Гб) позволяет хранение практически неограниченного количества набранных спектров и результатов их обработки.

Все параметры настройки спектрометра могут устанавливаться в меню. Набор спектра производится в живое и реальное время, а также без ограничения времени. Возможно практически неограниченное расширение основ библиотеки нуклидов, как и загрузка новых конфигураций измерения, включая моделируемые методом Монте-Карло.

С помощью встроенного дисплея пользователь может делать точный анализ радионуклидов и их активности, а также получать результаты в режиме онлайн с автоматическим GPS-указанием расположения спектрометра. Примененный для визуализации результатов сенсорный Super-AMOLED дисплей (4", 800×400 пикселей) обеспечивает высокую яркость и контрастность изображения, что делает работу комфортной даже на ярком солнечном свете. Сложные вычисления в режиме реального времени и показ результатов обеспечиваются высокочастотным (1 ГГц) процессором и видеоускорителем.

Связь с главным компьютером для обмена данными осуществляется через USB или WiFi-соединение. Портативный спектрометр полностью поддерживается и управляется программным обеспечением семейства SpectraLine [9].

В спектрометре предусмотрены три режима работы. В режиме *easy mode* пользователь может выбрать непрерывное время измерения или определить желательный

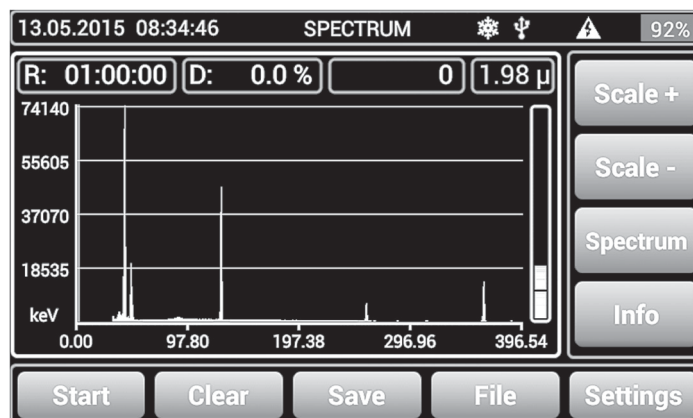


Рис.2 . Окно спектра, доступное с сенсорного экрана touch screen

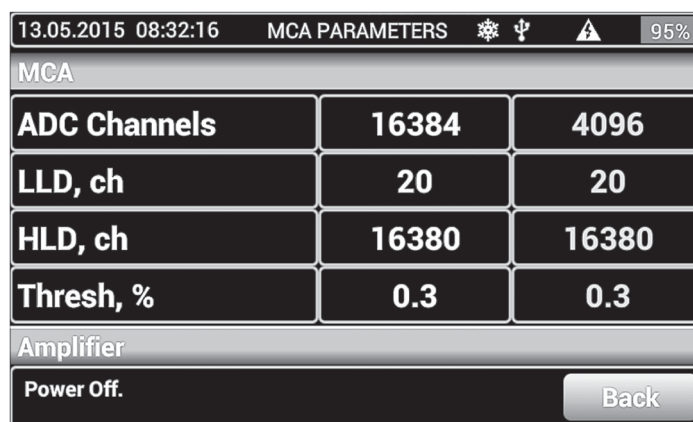


Рис.3 . Окно установок, доступное с сенсорного экрана touch screen

временной интервал в секундах. Измерение спектра начинается нажатием единственной кнопки. Информация обновляется каждую секунду (рис. 2). Ручная энергетическая калибровка выполняется на сенсорном экране выбором автоматически идентифицируемых спектральных линий со скоростью счёта над фоновым уровнем и установкой соответствующих энергий по библиотеке радионуклидов.

В режиме работы *search mode* мощность дозы вычисляется интегрированием всех импульсов, попавших в спектр, и визуализируется на экране в микрозивертах в час ($\mu\text{Sv/h}$). При избытке мощности дозы сверх определенного пользователем порога прибор производит визуальную и акустическую тревогу. Радионуклиды идентифицируются по библиотеке радионуклидов автоматически. Список определяемых радионуклидов и соответствующих скоростей счёта появляется на экране. Рабочие установки спектрометра легко регулируются с помощью сенсорного экрана (рис. 3).

В режиме работы *expert mode* пользователь может выбрать: область интереса на спектре или отношение областей спектра (этот выбор удобен, например, для измерения обогащенного урана в цилиндрах UF₆); тип набора спектров между реальным временем, живым временем или интегралом (измерение продолжится, пока определенная рабочая площадь пика не достигнута); повторяемый режим измерений. В этом режиме работы спектрометр также может быть соединен через USB или беспроводной

интерфейс передачи данных с дополнительным ноутбуком. Эта опция удобна для вычисления активности радионуклидов с использованием других программ.

Спектрометр оснащен двумя литий-ионными батареями, каждая из которых рассчитана на питание спектрометра в течение 4 ч без подзарядки. Возможна замена (горячий обмен) батарей, что обеспечивает 8 ч непрерывного рабочего времени в полевых условиях. В случае разрядки аккумуляторов программное обеспечение известит об этом соответствующим сообщением. Если сообщение будет проигнорировано, высоковольтное питание детектора снимется автоматически при достижении критически низкого уровня зарядки батарей, чтобы предотвратить возможное повреждение детектора.

Исследование спектрометрических характеристик. Исследования спектрометрических характеристик и влияния на них механической вибрации примененного ЭО проводились с коаксиальным ОЧГ-детектором эффективностью 10 %, изготовленным по стандартной технологии. В технологическом криостате с жидким азотом этот детектор обеспечивал энергетическое разрешение 0,75 и 1,7 кэВ по энергиям 122 и 1332 кэВ, соответственно. Энергетическое разрешение разработанного спектрометра с таким детектором составило менее 1,0 и 2,0 кэВ по энергиям 122 и 1332 кэВ, соответственно. Подобные результаты подтверждают значительное влияние механических вибраций ЭО на энергетическое разрешение портативного спектрометра. Тем не менее, полученные спектрометрические характеристики позволяют решать большинство задач по радионуклидному анализу в полевых условиях [1].

Выводы

Полученные характеристики портативного ОЧГ-спектрометра гамма-излучения вполне позволяют решать задачи прецизионного радионуклидного анализа в полевых условиях. Некоторое ухудшение энергетического разрешения спектрометра из-за вибраций, производимых ЭО, в будущем может быть устранено благодаря улучшению качества данного ЭО или выбором другого типа ЭО с меньшим уровнем вибраций. Дополнительным техническим решением по снижению влияния вибрации на энергетическое разрешение может служить введение в спектрометрический тракт электронных фильтров для подавления импульсов от вибраций ЭО. С учетом того факта, что характеристики ЭО в значительной степени определяют практически все эксплуатационные характеристики ОЧГ-спектрометра (как метрологические, так и габаритные), именно наличие и доступность высококачественных ЭО будут определять перспективы развития всей спектрометрической аппаратуры на основе ОЧГ-детекторов с электроохлаждением.

Представленные результаты получены в рамках исследовательского проекта No. 1.7 «Разработка портативного прецизионного идентификатора для радионуклидного гамма-анализа», поддержанного Европейским фондом регионального развития (контракт No. L-KC-11-0002 между Центром компетенции транспортного машиностроения (<http://tmkc.lv/>) и Латвийским агентством инвестиций и развития (www.liaa.gov.lv)). Авторы выражают свою благодарность указанным организациям за поддержку исследований и разработок.

Список использованной литературы

1. Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов: Пер. с англ. ВНИИА / Райлли Д., Энслин Н., Смит мл. Х., Крайнер С. — М.: ЗАО «Издательство Бином», 2000. — 720 с.
2. Knoll G. Radiation Detection and measurements. — 3rd Ed. — John Wiley & Sons, Inc., 2000. — 802 p.
3. Sokolov A., Loshevich E., Kim S., Brutscher J., Rozite A., Nazarenko A. (2013). Ultra Compact HPGe Spectrometer for In-situ Measurements. CD Proceedings of ESARDA 35th Annual Meeting, 2730– May 2013, Bruges, Belgium.
4. www.bsi.lv
5. Falcon 5000® Portable HPGe-Based Radionuclide Identifier (2012). [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.canberra.com/pdf/Products/Falcon-SS-C38597.pdf>
6. Micro-trans-SPECTM (2012). [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.ortec-online.com/Solutions/gammaspectroscopy.aspx>
7. IPSC/2010/08/03/AMI Call for Testing Procedure for Illicit Trafficking Radiation Assessment Program — Equipment.
8. www.aim-ir.com
9. http://www.bsi.lv/spectraline_eng.html

References

1. Reilly, D., Ensslin, N., Smith Jr., H., Kreiner, S. (2000), "Passive Non-Destructive Analysis of Nuclear Materials" [Passivnyi nerazrushaiuschii analiz yadernykh materialov], translation from English, Moscow, Binom Publisher, 720 p. (Rus)
2. Knoll, G. (2000), "Radiation Detection and Measurements", 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 802 p.
3. Sokolov, A., Loshevich, E., Kim, S., Brutscher, J., Rozite, A., Nazarenko, A. (2013), "Ultra Compact HPGe Spectrometer for In-situ Measurements". CD Proceedings of ESARDA 35th Annual Meeting, 27–30 May 2013, Bruges, Belgium.
4. Electronic source: www.bsi.lv
5. Falcon 5000® Portable HPGe-Based Radionuclide Identifier (2012), available at: <http://www.canberra.com/pdf/Products/Falcon-SS-C38597.pdf>
6. Micro-trans-SPECTM (2012), available at: <http://www.ortec-online.com/Solutions/gammaspectroscopy.aspx>
7. IPSC/2010/08/03/AMI Call for Testing Procedure for Illicit Trafficking Radiation Assessment Program — Equipment.
8. Electronic source: www.aim-ir.com
9. Electronic source: http://www.bsi.lv/spectraline_eng.html

Получено 18.05.2015.