

# О возможности применения радиометра-спектрометра МКС-А03 в целях проверки достоверности декларирования качественных и количественных характеристик делящихся и радиоактивных материалов

Рассматриваются возможности применения радиометра-спектрометра МКС-А03 в целях проверки достоверности декларирования качественных и количественных характеристик делящихся и радиоактивных материалов, являющихся объектами внешнеэкономической деятельности. Показано, что с помощью МКС-А03 и специализированного программного обеспечения «SpectraLineAmethyst» можно определять активность радиоизотопных источников в защитных контейнерах и без них, а также степень обогащения урана и его соединений.

**Ключевые слова:** делящиеся и радиоактивные материалы, радионуклиды, радиоизотопные источники, уран и его соединения, степень обогащения урана, спектрометр, радиометр-спектрометр.

**В.В.Темченко**

(Российская таможенная академия,  
Владивостокский филиал, г. Владивосток)

Одной из задач, стоящих перед таможенными органами Российской Федерации, является проверка достоверности декларирования качественных и количественных характеристик делящихся и радиоактивных материалов (ДРМ), являющихся объектами внешнеэкономической деятельности. Указанная задача решается с помощью специальных технических средств, относящихся к техническим средствам таможенного контроля делящихся и радиоактивных материалов (ТКДРМ) и обеспечения радиационной безопасности, перечень которых утвержден приказом Министерства финансов Российской Федерации [1].

Основными техническими средствами определения качественных и количественных характеристик ДРМ, имеющихся на оснащении таможенных органов РФ, в настоящее время являются: радиометр-спектрометр универсальный МКС-А03 [2]; спектрометр со сцинтилляционным детектором Гамма-1С/НВ-02 [3] и спектрометр с полупроводниковым детектором СКС-50М [4]. Данные приборы отличаются по своему назначению и позволяют решать следующие задачи.

Радиометр-спектрометр МКС-А03 предназначен для проведения таможенного досмотра товаров, транспортных средств, багажа физических лиц и других объектов таможенного контроля (ТК), имеющих повышенный уровень ионизирующего излучения. Он позволяет осуществлять:

- поиск источников гамма- и нейтронного излучений в составе объектов ТК;
- измерение мощностей эквивалентной дозы гамма- и нейтронного излучений на поверхности объекта ТК и выявленных источников излучения;
- измерение плотностей потока альфа- и бета-частиц на поверхности объекта ТК и выявленных источников излучения;
- идентификацию (определение наименования) гамма-излучающих радионуклидов, входящих в состав выявленных источников излучения.

Радиометр-спектрометр МКС-А03 является универсальным прибором, не требующим специальной подготовки работающих с ним должностных лиц таможенных органов. Им оснащены практически все таможенные посты фактического контроля таможенных органов РФ.

В отличие от МКС-А03, спектрометры типа Гамма-1С/НВ-02 и СКС-50М являются специализированными приборами, требующими определенной подготовки работающего с ними персонала. Спектрометры предназна-

чены для проведения фактического контроля в форме таможенного осмотра (или досмотра) ДРМ, являющихся объектом внешнеэкономической деятельности. Указанные приборы позволяют:

- определять наименование и активность радиоизотопных источников в защитных контейнерах (УКТ) и без них;
- контролировать степень обогащения урана и его соединений в УКТ и без них;
- определять изотопный состав плутония.

Оснащенность таможенных органов РФ спектрометрами типа Гамма-1С/НВ-02 и СКС-50М гораздо ниже, чем радиометром-спектрометром МКС-А03. Спектрометрами Гамма-1С/НВ-02 и СКС-50М оснащены всего около 26 таможенных постов, осуществляющих фактический контроль ДРМ, являющихся объектом внешнеэкономической деятельности (ВЭД).

Опыт эксплуатации спектрометров Гамма-1С/НВ-02 и СКС-50М показал, что они позволяют успешно решать задачи контроля достоверности декларирования качественных и количественных характеристик ДРМ, являющихся объектом внешнеторговых операций. Однако указанные приборы были достаточно давно приняты на оснащение таможенных органов, и у большинства из них уже истек или истекает в ближайшее время назначенный срок службы. Кроме того, у спектрометров типа Гамма-1С/НВ-02 по истечении определенного времени выявился дефект, связанный с ухудшением разрешающей способности детектора, что существенным образом сказалось на функциональных возможностях прибора.

В результате, в настоящее время в большинстве таможенных постов, осуществляющих фактический контроль ДРМ, являющихся объектом ВЭД, в качестве прибора, позволяющего осуществлять проверку достоверности декларирования качественных и количественных характеристик ДРМ, остался только

спектрометр СКС-50М. Данная ситуация несет в себе риск, связанный с невозможностью осуществления таможенного контроля ДРМ, являющихся объектом ВЭД, в случае выхода из строя в таможенном органе спектрометра СКС-50М. Поэтому актуальной задачей является поиск путей выхода из сложившейся ситуации.

Одним из таких путей, на наш взгляд, является использование для определения качественных и количественных характеристик ДРМ возможностей радиометра-спектрометра МКС-А03. Дело в том, что радиометр-спектрометр МКС-А03 является полноценным спектрометром, и измеренные им спектры гамма-излучения могут быть обработаны с помощью специализированного программного обеспечения (ПО) SpectraLineAmethyst [5] спектрометра Гамма-1С/НВ-02.

Учитывая сказанное, на базе учебного центра таможенного контроля делящихся и радиоактивных материалов Владивостокского филиала Российской таможенной академии (далее – учебный центр ТК ДРМ ВФ РТА) была проведена работа по исследованию возможностей использования радиометра-спектрометра МКС-А03 для целей определения качественных и количественных характеристик ДРМ.

Исследовались следующие вопросы:

- возможность подключения радиометра-спектрометра МКС-А03 в качестве устройства детектирования к спектрометру Гамма-1С/НВ-02 и измерения спектров гамма-излучения с помощью спектрометрического тракта МКС-А03 под управлением ПО SpectraLineAmethyst спектрометра Гамма-1С/НВ-02;
- возможность настройки ПО SpectraLineAmethyst спектрометра Гамма-1С/НВ-02 на обработку спектров гамма-излучения, измеренных с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03.

Кроме того, были проанализированы возможности использования измеренных с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03 спектров гамма-излучения для целей определения качественных и количественных характеристик ДРМ, являющихся объектом ВЭД.

Предположение о возможности использования радиометра-спектрометра МКС-А03 в качестве детектора для спектрометра Гамма-1С/НВ-02 основывалось на нескольких фактах. Во-первых, оба прибора выпускаются одним и тем же производителем и базируются на единой элементной базе и схожих схемотехнических решениях. Во-вторых, и радиометр-спектрометр МКС-А03, и детектор УДС-ГЦА-В380-25-25-RS-ВТ-1 спектрометра Гамма-1С/НВ-02 являются самостоятельными спектрометрическими устройствами, способными регистрировать спектры гамма-излучения, и имеют абсолютно идентичные разъемы для подключения к внешним устройствам. При этом управление работой детектора спектрометра Гамма-1С/НВ-02 осуществляется специализированным ПО, установленным на обыкновенном неспециализированном компьютере (ноутбуке). Кроме того, в учебном центре ТКДРМ ВФ РТА имелся опыт совместного использования более ранних версий рассматриваемых приборов, а именно, подключение и использование в качестве детектора к спектрометру Гамма-1С/НВ радиометра-спектрометра МКС-А02. Все это давало основание надеяться, что радиометр-спектрометр МКС-А03 может быть использован в качестве детектора для спектрометра Гамма-1С/НВ-02.

Действительно, при подключении радиометра-спектрометра МКС-А03 к компьютеру, на котором установлено ПО SpectraLineAmethyst спектрометра Гамма-1С/НВ-02, программа берет управление радиометром-спектрометром на себя точно так же, как это происходит при подключении штатного устройства детектирования УДС-ГЦА-В380-25-25-RS-ВТ-1.

Она позволяет запускать и останавливать набор спектра, записывать в оперативную память и сохранять на жесткий диск компьютера, а также обрабатывать спектры гамма-излучения, измеренные с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03.

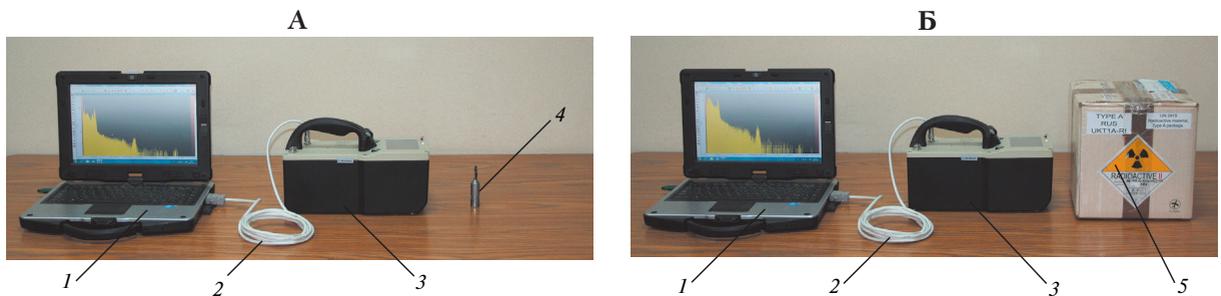
Необходимо отметить, что подключение радиометра-спектрометра МКС-А03 к компьютеру осуществляется через порт параллельного доступа RS-232 с помощью штатного интерфейсного кабеля, входящего в комплектацию МКС-А03, как это показано на рис.1.

Следующим шагом явилось изучение возможности настройки ПО SpectraLineAmethyst спектрометра Гамма-1С/НВ-02 на обработку спектров гамма-излучения, измеренных с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03.

Дело в том, что в устройстве детектирования УДС-ГЦА-В380-25-25-РС-ВТ-1 спектрометра Гамма-1С/НВ-02 используется сцинтиляционный детектор на основе монокристалла  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  размером  $25 \times 25 \times 25$  мм, а в радиометре-спектрометре МКС-А03 – детектор на основе монокристалла  $\text{NaI}(\text{Tl})$  размером  $40 \times 40 \times 40$  мм. Поэтому детекторы имеют отличающиеся друг от друга характеристики (энергетическое разрешение, эффективность регистрации и т. д.), и, прежде чем обрабатывать измеренные с помощью МКС-А03 спектры гамма-излучения, требуется определен-

ная перенастройка ПО SpectraLineAmethyst спектрометра Гамма-1С/НВ-02.

При проведении работ в этом направлении, прежде всего, была сформирована т. н. «конфигурация», соответствующая радиометру-спектрометру МКС-А03, являющаяся неотъемлемой частью ПО SpectraLineAmethyst и представляющая собой набор файлов, содержащих параметры регистрации и обработки гамма-спектров с указанием путей к ним. Затем с помощью калибровочных источников  $\text{Am-241}$ ,  $\text{Ba-133}$ ,  $\text{Cs-137}$ ,  $\text{Co-60}$ ,  $\text{Th-232}$  и  $\text{Eu-152}$  были построены зависимости, соответствующие характеристикам радиометра-спектрометра МКС-А03: «канал–энергия» (т. н. калибровка по энергии); «энергия–ширина на половине высоты пика полного поглощения» (т. н. калибровка по полуширине) и «энергия–эффективность регистрации» (т. н. калибровка по эффективности). Далее была проведена проверка и соответствующая корректировка параметров т. н. «сценариев обработки», представляющих собой набор макрокоманд, определяющих последовательность операций, осуществляемых ПО SpectraLineAmethyst в процессе обработки спектра при решении той или иной задачи (например, контроль активности радионуклидов в защитных контейнерах (УКТ) или контроль степени обогащения урана в УКТ).



**Рис.1.** Измерение спектров гамма-излучения радиоизотопных источников в защитных контейнерах (Б) и без них (А) с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03 под управлением ПО SpectraLineAmethyst: 1 – компьютер спектрометра Гамма-1С/НВ-02 с установленным на нем ПО SpectraLineAmethyst; 2 – интерфейсный кабель RS-232; 3 – радиометр-спектрометр МКС-А03; 4 – радиоизотопный источник на подставке; 5 – УКТ1А-Р1 с размещенным в нем радиоизотопным источником.

На завершающем этапе бала проверена корректность работы ПО SpectraLineAmethyst при проведении измерений и обработке спектров гамма-излучения ДРМ в случае контроля активности радиоизотопных источников, находящихся в УКТ и без них, а также в случае контроля степени обогащения соединений урана.

Проверка корректности работы ПО SpectraLineAmethyst в случае контроля активности радиоизотопных источников проводилась следующим образом. В качестве образцов ДРМ использовались имеющие известную активность контрольные калибровочные источники типа ОСГИ на основе изотопов Ва-133, Cs-137, Со-60 и Еu-152, а в качестве защитного контейнера – имеющаяся в учебном центре ТКДРМ ВФ РТА упаковка типа УКТ1А-Р1. Для каждого источника проводились измерения спектров гамма-излучения и расчет активности как в случае отсутствия УКТ (т. н. открытый источник), так и в случае размещения источника в УКТ, как это показано на рис.1. При расчете активности использовались сценарии обработки гамма-спектров «Активность открытых источников» и «Активность источников в контейнерах». При этом для каждой ситуации проводилось не менее пяти измерений спектра и соответствующих расчетов активности, на основе результатов которых затем рассчитывались средние значения активности и доверительного интервала (при вероятности  $P = 0,95$ ) активности кон-

тролируемых источников. Полученные таким образом результаты представлены в табл.1.

Из представленных в табл.1 сведений следует, что после проведенной настройки ПО SpectraLineAmethyst корректно обрабатывает спектры гамма-излучения, измеренные с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03, и достаточно точно рассчитывает активность радиоизотопных источников в УКТ и без него. Отклонение измеренной активности от паспортных значений не превышает  $\approx 20\%$ .

Далее была проверена возможность определения с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03 и ПО SpectraLineAmethyst степени обогащения соединений урана с использованием сценария «U в стандартных контейнерах». В качестве образца урана использовался имеющийся в учебном центре ТКДРМ ВФ РТА сувенир International Nuclear Information System (INIS) Международного Агентства Атомной энергии (МАГАТЭ) из стекла, содержащий соли природного урана (т. н. урановое стекло), производства компании Jizerske sklo, Чешская республика. Указанный образец использовался в качестве т. н. «эталонного образца» для построения калибровки по степени обогащения урана, поскольку известно [6], что содержание изотопа U-235 (степень обогащения) в природном уране составляет 0,72%. Затем этот же образец использовался и как «контролируемый образец» урана, т. е. измерялся спектр гамма-излучения образца и рассчитывалась степень обогащения урана

**Табл.1.** Результаты измерений и расчета активности радиоизотопных источников в УКТ и без них с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03 и ПО SpectraLineAmethyst.

Источник и дата его аттестации	Паспортная активность на дату аттестации	Измеренная активность на дату аттестации	
		без УКТ	в УКТ1А-Р1
Ва-133 № 296 1.07.2014	140 ± 4 кБк	132 ± 13 кБк	114 ± 16 кБк
Cs-137 № 6982 26.08.2020	48,4 ± 5 кБк	45 ± 9 кБк	43 ± 5 кБк
Со-60 № 295 1.07.2014	97 ± 3 кБк	99 ± 13 кБк	94 ± 12 кБк
Eu-152 № 299 1.07.2014	110 ± 3 кБк	118 ± 9 кБк	109 ± 7 кБк

с использованием построенной ранее калибровки по обогащению. Было проведено несколько (не менее 5) измерений спектра и соответствующих расчетов степени обогащения, на основе которых было рассчитано среднее значение и доверительный интервал (при вероятности  $P = 0,95$ ) степени обогащения контролируемого образца. В результате было получено, что степень обогащения контролируемого образца составляет  $0,73 \pm 0,04\%$ , что подтверждает принципиальную возможность определения степени обогащения урана и его соединений в стандартных контейнерах с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03 и ПО SpectraLineAmethyst.

Таким образом, можно сказать, что радиометр-спектрометр МКС-А03 может быть использован в качестве детектирующего устройства для спектрометра Гамма-1С/НВ-02 вместо его штатного детектора, и, при соответ-

ствующей настройке ПО SpectraLineAmethyst, имеется возможность определения по спектрам гамма-излучения, измеренным с помощью радиометра-спектрометра МКС-А03 в качестве детектирующего устройства, активности радионуклидных источников в защитных контейнерах (УКТ) и без них, а также сплетении обогащения соединений урана в стандартных контейнерах. Данный факт дает основания надеяться, что радиометр-спектрометр МКС-А03 может найти применение для целей проверки достоверности декларирования качественных и количественных характеристик ДРМ, являющихся объектом внешнеэкономических операций. Однако для принятия окончательного вывода необходимо провести дополнительные исследования с использованием реальных ДРМ, являющихся объектами внешнеэкономической деятельности, что предполагается сделать в дальнейшем.

### Литература

1. Об утверждении перечня технических средств таможенного контроля, используемых при проведении таможенного контроля. Приказ Минфина РФ от 01.03.2019 № 33н.
2. Радиометр-спектрометр универсальный портативный МКС-А03. Руководство по эксплуатации ДЦКИ.411168.009 РЭ. Научно-производственный центр «Аспект» им. Ю.К. Недачина. Дубна, б.г. 34 с.
3. Спектрометр энергии гамма-излучения сцинтилляционный портативный Гамма-1С/НВ-02. Руководство по эксплуатации ДЦКИ.412131.004-02 РЭ. Научно-производственный центр «Аспект» им. Ю.К. Недачина. Дубна, б.г. 32 с.
4. Комплекс спектрометрический СКС-50М. Руководство по эксплуатации АБЛК.412131.406 РЭ. М.: ООО Предприятие «Грин стар технолоджиз», 2005. 28 с.
5. SpectraLineAmethyst. Комплекс программного обеспечения для задач таможенного контроля ядерных и радиоактивных материалов. Руководство пользователя. Зеленоград: ООО «ЛСРМ», 2022. 44 с.
6. Тананаев И.Г. Уран: учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. 92 с.

## On the Possibility of Using the MKC-A03 Radiometer-Spectrometer to Verify the Reliability of Declaring the Qualitative and Quantitative Characteristics of Fissile and Radioactive Materials

Temchenko Valery (Russian Customs Academy, Vladivostok Branch, Vladivostok, Russia)

**Abstract.** The possibilities of using the MKC-A03 radiometer-spectrometer to verify the reliability of declaring the qualitative and quantitative characteristics of fissile and radioactive materials that are objects of foreign trade operations are considered. It is shown that using the ISS-A03 and the specialized software “SpectraLineAmethyst” it is possible to determine the activity of radioisotope sources in and without protective containers, as well as the degree of enrichment of uranium and its compounds.

**Key words:** *fissile and radioactive materials, radionuclides, radioisotope sources, uranium and its compounds, the degree of uranium enrichment, spectrometer, radiometer-spectrometer.*

*В.В.Темченко (к.ф.-м.н., доцент) – Российская таможенная академия, Владивостокский филиал, г. Владивосток.*

*Контакты: тел. +7 (423) 263-67-11; e-mail: TemchenkoVV@yandex.ru.*