

# Лабораторное измерительное оборудование для радиационного анализа материалов и веществ

А. О. Ничипорчук, Д. В. Горшков, В. Д. Гузов, А. Н. Толкачев

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Республика Беларусь  
andrei.nichipor@gmail.com

**Аннотация.** Оснащенность таможенной службы современными техническими средствами периодического и оперативного радиационного контроля на сегодняшний день является весьма актуальной. Для эффективного выполнения задач радиационного контроля целесообразно постоянно поддерживать на должном уровне и совершенствовать соответствующие стационарные и мобильные лаборатории, укомплектовывать их качественным, современным оборудованием и аппаратно-программными комплексами.

Выпускаемая и разрабатываемая продукция предприятием «АТОМТЕХ» позволяет охватить следующие задачи, решаемые данными лабораториями: измерение содержания гамма-излучающих радионуклидов в питьевой воде, продуктах питания, сельскохозяйственном сырье, продукции лесного хозяйства, строительных материалах, почве и других объектах окружающей среды (гамма-бета спектрометры МКС-АТ1315); измерение удельной (объемной) активности гамма-излучающих радионуклидов в воде, продуктах питания, продукции агропромышленного комплекса и в иных материалах, анализ сложного радионуклидного состава проб материалов и веществ (разрабатываемые радиометры-спектрометры МКГ-АТ1145); одновременное или раздельное измерение суммарной альфа-активности и суммарной бета-активности различных проб, «токослойных» и толстослойных» счетных образцов, образцов на основе АФА-фильтров, измерение активности, плотности потока и внешнего излучения для источников типа 1П9, 2П9, 3П9, 1С0, 2С0, 3С0. А также контроль радиоактивного загрязнения поверхностей методом мазков (радиометры РКС-АТ1329).

**Ключевые слова:** лабораторное оборудование; радиационный контроль; альфа-излучение; бета-излучение; гамма-излучение; спектрометры; радиометры

## I. ВВЕДЕНИЕ

Экспертный радиационный контроль материалов, подвергаемых исследованию в лабораториях таможенных служб, позволяет сделать вывод об радиационной чистоте продукции и материалов, о соответствии содержания радионуклидов в них нормативным государственным и международным требованиям. Для эффективного решения данной задачи следует применять современное и качественное оборудование. Предприятие «АТОМТЕХ» имеет многолетний опыт разработки и выпуска продукции для решения широкого перечня задач радиационного контроля. Одним из направлений деятельности предприятия является выпуск оборудования для

оснащения стационарных и мобильных лабораторий соответствующими средствами измерений содержания альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов.

## II. ГАММА-БЕТА СПЕТРОМЕТРЫ МКС-АТ1315

Гамма-бета-спектрометры МКС-АТ1315 предназначены для одновременного и селективного определения:

- удельной (объемной) активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах объектов окружающей среды;
- удельной эффективной активности естественных радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в строительных материалах.

Позволяют проводить экспресс-анализ стандартизованных проб плавок металла на радиационную чистоту.

Спектрометр представляет собой комбинированное спектрометрическое и радиометрическое средство измерений, позволяющее осуществлять радиационный контроль объектов окружающей среды, путем регистрации и анализа смешанного гамма-бета излучения (исполнение с гамма- и бета-каналами) или гамма-излучения (исполнение с гамма-каналом).



Рис. 1. Внешний вид гамма-бета спектрометров МКС-АТ1315

Для регистрации гамма-излучения используется спектрометрический блок детектирования гамма-излучения на основе сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) размерами  $\varnothing 63 \times 63$  мм. Для регистрации бета-излучения применяется интеллектуальный блок детектирования бета-излучения на основе пластмассового сцинтиллятора размерами  $\varnothing 128 \times 9$  мм.

Блоки детектирования размещаются в блоке защиты, который представляет собой сварной стальной корпус, заполненный свинцом. Толщина свинцовой защиты составляет 10 см. В верхней части блока защиты располагается поворотная крышка, обеспечивающая доступ для установки сосудов с пробами объектов контроля.

Питание спектрометра осуществляется от USB-порта персонального компьютера с помощью кабеля. Накопленная в виде спектров гамма- и бета-излучения информация обрабатывается средствами специализированного программного обеспечения «SPTR» и выводится на монитор персонального компьютера.

В табл. I представлены технические и метрологические характеристики МКС-АТ1315.

ТАБЛИЦА I. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МКС-АТ1315

Характеристика	Значение		
Диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения	от 50 до 3000 кэВ		
Диапазон граничных энергий бета-излучения	от 150 до 3550 кэВ		
Пределы погрешности характеристики преобразования	±1%		
Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении удельной активности (объёмной) активности радионуклидов <sup>137</sup> Cs, <sup>40</sup> K и <sup>90</sup> Sr	±20%		
Диапазоны измерений удельной (объёмной) активности:	Бк/кг (Бк/л)		
Радионуклид <sup>137</sup> Cs			
• сосуд Маринелли 1,0 л	1 – 1·10 <sup>5</sup>		
• плоский сосуд 0,5 л	6 – 4·10 <sup>5</sup>		
• плоский сосуд «Дента» 0,1 л	15 – 1·10 <sup>6</sup>		
Радионуклид <sup>40</sup> K			
• сосуд Маринелли 1,0 л	20 – 2·10 <sup>4</sup>		
• плоский сосуд 0,5 л	75 – 2·10 <sup>4</sup>		
• плоский сосуд «Дента» 0,1 л	170 – 2·10 <sup>4</sup>		
Радионуклид <sup>90</sup> Sr			
• сосуд Маринелли 1,0 л	10 – 3·10 <sup>5</sup>		
• плоский сосуд 0,5 л	10 – 3·10 <sup>5</sup>		
• плоский сосуд «Дента» 0,1 л	100 – 1·10 <sup>6</sup>		
Радионуклид <sup>226</sup> Ra			
• сосуд Маринелли 1,0 л	3 – 1·10 <sup>4</sup>		
Радионуклид <sup>232</sup> Th			
• сосуд Маринелли 1,0 л	3 – 1·10 <sup>4</sup>		
Минимальная измеряемая активность за 3 часа, Бк/кг (Бк/л), не более	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>90</sup> Sr
• сосуд Маринелли 1,0 л	1	20	10
• плоский сосуд 0,5 л	6	75	10
• плоский сосуд «Дента» 0,1 л	15	170	100
Масса прибора, не более	198 кг		

Для гамма-бета спектрометров МКС-АТ1315 аттестованы и зарегистрированы следующие методики выполнения измерений:

- МВИ.МН 1181-2011 «Методика выполнения измерений объёмной и удельной активности <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs и <sup>40</sup>K на гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315 в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и

кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды»;

- МВИ.МН 4498-2013 «Методика выполнения эффективной удельной активности природных радионуклидов радия-226, тория 232, калия-40 на гамма-бета спектрометрах МКС-АТ1315»;
- МВИ.МН 6018-2018 «Удельная активность гамма-излучающих радионуклидов в пробах плавок металла. Методика выполнения измерений при проведении радиометрического контроля металла с использованием гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315».

Перед проведением радиационного контроля объектов окружающей среды и стройматериалов проводится пробоподготовка, в случае необходимости выполняет дробление, озоление или концентрирование. Выполняется анализ объёма пробы для выбора соответствующей геометрии измерения. После размещения пробы в измерительном сосуде, она в обязательном порядке взвешивается для учета плотности объекта контроля. Только после этого переходят к непосредственному измерению пробы на спектрометре.

Результаты измерения могут быть использованы для дальнейшего заключения о соответствии содержания радионуклидов в объекте измерения требованиям нормативных правовых актов.

### III. РАДИОМЕТРЫ РКС-АТ1329

Радиометры РКС-АТ1329 предназначены для проведения измерений:

- суммарной α-активности и суммарной β-активности счетных образцов на основе аэрозольных аналитических фильтров типа АФА;
- суммарной α-активности и суммарной β-активности «толстослойных» счетных образцов, приготовленных из вещества пробы (например путем выпаривания либо иным методом);
- суммарной α-активности и суммарной β-активности «тонкослойных» счетных образцов, приготовленных из вещества пробы (например путем электролитического осаждения);
- активности, плотности потока, внешнего α- и β-излучения для источников типа 1П9, 2П9, 3П9, 1С0, 2С0, 3С0.

Позволяют контролировать радиационное загрязнение поверхностей методом мазков.



Рис. 2. Внешний вид радиометра РКС-АТ1329

Радиометры РКС-АТ1329 имеют три модификации. В радиометре РКС-АТ1329 для регистрации альфа-излучения и бета-излучения используется блок детектирования альфа-бета излучения, выполненный с применением сцинтилляционного «фосвич детектора», который выполнен на основе сцинтилляционного пластика размерами  $\varnothing 63 \times 1$  мм с нанесенным слоем ZnS(Ag). В радиометре РКС-АТ1329А для регистрации альфа-излучения используется блок детектирования альфа-излучения, на основе сцинтилляционного детектора ZnS(Ag) диаметром 60 мм. В радиометре РКС-АТ1329В для регистрации бета-излучения применяется, на основе на основе пластмассового сцинтиллятора размерами  $\varnothing 60 \times 1$  мм. Блок детектирования радиометров размещается в блоке защиты, который представляет собой свинцово-сурьмяной сплав и заключен в алюминиевый корпус с гальваническим покрытием. Подобная конструкция радиометра позволяет уменьшить внешнее фоновое излучение. Счетный образец объекта радиационного контроля устанавливается в радиометр с помощью устройства размещения образцов.

Питание радиометра осуществляется от USB-порта персонального компьютера с помощью кабеля. Накопленная информация в виде зарегистрированных импульсов при взаимодействии альфа- и/или бета-излучения с рабочим веществом детектора, обрабатывается средствами специализированного программного обеспечения «АТ1329» и выводится на монитор персонального компьютера.

В табл. II представлены технические и метрологические характеристики РКС-АТ1329

ТАБЛИЦА II. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РКС-АТ1329

Характеристика	Значение
Чувствительность	
• к $\alpha$ -излучению ( $^{239}\text{Pu}$ ), не менее	0,25 Бк $^{-1}$ ·с $^{-1}$
• к $\beta$ -излучению ( $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ), не менее	0,30 Бк $^{-1}$ ·с $^{-1}$
Эффективность регистрации	
• к $\alpha$ -излучению ( $^{239}\text{Pu}$ ), не менее	60%
• к $\beta$ -излучению ( $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ), не менее	70%
Диапазон регистрируемых энергий	
• $\alpha$ -излучения	3 – 7 МэВ
• $\beta$ -излучения	155 кэВ – 3,5 МэВ

Характеристика	Значение
Диапазон измерения скорости счета	
• $\alpha$ -канал	0 – 10 $^5$ с $^{-1}$
• $\beta$ -канал	0 – 10 $^5$ с $^{-1}$
Диапазон измерения суммарной активности	
• $\alpha$ -канал	0,01 – 10 $^4$ Бк
• $\beta$ -канал	0,1 – 10 $^4$ Бк
Минимальная измеряемая активность за 1 час, не более	
• $\alpha$ -канал	0,02 Бк
• $\beta$ -канал	0,28 Бк
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения	$\pm 20\%$
Масса прибора, не более	
РКС-АТ1329	22 кг
РКС-АТ1329А	10 кг
РКС-АТ1329В	22 кг

Для радиометров РКС-АТ1329 аттестованы и зарегистрированы следующие методики выполнения измерений:

- МВИ.МН 6097-2018 «Плотность потока альфа-частиц и плотность потока бета-частиц. Методика выполнения измерений при контроле радиоактивного контроля поверхности методом мазков с использованием радиометров типа РКС-АТ1329»;
- МВИ.МН 6098-2018 «Объемная суммарная альфа-активность и объемная суммарная бета-активность радионуклидов в питьевой воде. Методика выполнения измерений с использованием радиометров типа РКС-АТ1329»;
- МВИ.МН 6098-2018 «Объемная суммарная альфа-активность и объемная суммарная бета-активность аэрозолей в воздухе. Методика выполнения измерений с использованием радиометров типа РКС-АТ1329».

#### IV. РАДИОМЕТРЫ-СПЕКТРОМЕТРЫ МКГ-АТ1145

На текущий момент предприятие «АТОМТЕХ» разрабатывает стационарные радиометры-спектрометры МКГ-АТ1145. Они предназначены для измерения активности, удельной (объемной) активности гамма-излучающих радионуклидов в воде, продуктах питания, продукции агропромышленного комплекса и в иных материалах, анализ сложного радионуклидного состава проб материалов и веществ.

Радиометр-спектрометр МКГ-АТ1145 представляет собой комбинированное средство измерений, состоящее из спектрометрического блока детектирования, размещаемом в блоке защиты со свинцовыми стенками толщиной 40 мм, заключенными в стальной корпус. В качестве объекта измерения используется проба исследуемого вещества или материала, помещенная в сосуд объемом 0,5 л.



Рис. 3. Внешний вид радиометров-спектрометров МКГ-АТ1145

Приборы будут иметь 2 модификации: в одной используется спектрометрический блок детектирования на основе сцинтилляционного кристалла NaI(Tl) размерами  $\varnothing 40 \times 40$  мм (МКГ-АТ1145), во второй – спектрометрический блок детектирования на основе сцинтилляционного кристалла SrI<sub>2</sub>(Eu) размерами  $\varnothing 38 \times 38$  мм (МКГ-АТ1145С). Основным преимуществом детектора SrI<sub>2</sub>(Eu) перед NaI(Tl) является более низкое значение энергетического разрешения, при сравнительно-схожей чувствительности к гамма-излучению, что позволяет эффективнее разделять SrI<sub>2</sub>(Eu) сложные радионуклидные составы.

В табл. III представлены технические и метрологические характеристики МКГ-АТ1145.

ТАБЛИЦА III. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МКГ-АТ1145

Характеристика	Значение
Диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения	от 50 до 3000 кэВ
Типовое значение относительного энергетического разрешения для энергии 662 кэВ ( <sup>137</sup> Cs):	
• для МКГ-АТ1145 NaI(Tl)	7,5%
• для МКГ-АТ1145С SrI <sub>2</sub> (Eu)	3,3%
Пределы погрешности характеристики преобразования	±1%
Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении удельной активности (объёмной) активности	±30%
Диапазоны измерений удельной (объёмной) активности	Бк/кг (Бк/л)
• Радионуклид <sup>134</sup> Cs,	20 – 1·10 <sup>5</sup>
• Радионуклид <sup>137</sup> Cs	20 – 1·10 <sup>5</sup>
• Радионуклид <sup>131</sup> I	15 – 1·10 <sup>5</sup>
• Радионуклид <sup>40</sup> K	200 – 2·10 <sup>4</sup>
• Радионуклид <sup>60</sup> Co (для АТ1145С)	200 – 5·10 <sup>4</sup>
Масса прибора, не более	40 кг

Питание прибора осуществляется от USB-порта персонального компьютера с помощью кабеля. Накопленная в виде спектров гамма-излучения информация обрабатывается средствами специализированного программного обеспечения «АТМА» и выводится на монитор персонального компьютера.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все выпускаемое стационарное оборудование производства предприятия «АТОМТЕХ» разработано в соответствии с требованиями государственной системы обеспечения единства измерений, является сертифицированным на территории России, Беларуси и Казахстана, имеет действующее аттестованное метрологи выполнения измерений, отвечает требованиям международных и отечественных стандартов. Десятки выпущенных спектрометров и радиометров работают в составе многочисленных отечественных и зарубежных лабораторий радиационного контроля и регулярно участвуют в процедурах межлабораторных сличений.

Программное обеспечение, поставляемое в комплекте с данными приборами, имеет удобный пользовательский интерфейс, позволяет выдавать отчеты о проведенных измерениях, формировать и хранить базу данных результатов измерений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Жуковский А.И. Ничипорчук А.О., Хрущинский А.А., Кутень С.А. Имитация объёмных мер активности металлов // Приборы и методы измерений. 2016. Т. 7, № 2. С. 219-226.
- [2] Горшков Д.В., Ничипорчук А.О. Методическое обеспечение измерений суммарной альфа и суммарной бета-активности на радиометре РКС-АТ1329 // Материалы конференций XXVI Международного семинара «Спектрометрический анализ аппаратура и обработка данных». 18-22 ноября 2019 г. Обнинск, 2019.
- [3] ГОСТ 27451-87. Средства измерений ионизирующих излучений. Методы измерения основных параметров.
- [4] ГОСТ 26874-86. Спектрометры энергий ионизирующих излучений. Методы измерения основных параметров.
- [5] ГОСТ 8.010-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Общие положения.
- [6] ГОСТ 17209-89. Средства измерений объёмной активности радионуклидов в жидкости. Общие технические требования и методы испытаний.
- [7] ГОСТ 23923-89. Средства измерений удельной активности радионуклида. Общие технические требования и методы испытаний.