

Технические аспекты дозиметрии в таможенной практике

В статье рассмотрены технические характеристики приборов, применяемых в таможенной практике для измерения мощности дозы гамма-излучения: дозиметров, дозиметров-радиометров, радиометров-спектрометров и измерителей-сигнализаторов поисковых. Проведена оценка влияния различных технических аспектов дозиметрии, в частности, конструктивных особенностей приборов радиационного контроля, программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров на точность дозиметрических измерений.

Приведены результаты измерений мощности дозы гамма-излучения ряда точечных радионуклидных источников приборами различного типа. Показано, что в случае применения этих приборов для измерения мощности дозы локальных источников, выявляемых в ходе проведения радиационного контроля на таможенной границе, в ряде случаев погрешность измерения может превысить значения, указанные в эксплуатационной документации к приборам.

Ключевые слова:

технические средства таможенного контроля делящихся и радиоактивных материалов, приборы радиационного контроля, характеристики дозиметров, измерение мощности дозы, точность измерений, конструктивные особенности.

**А.В.Борисенко, Ю.В.Чубов,
Н.В.Берлова**

Владивостокский филиал Российской таможенной академии, г. Владивосток

Таможенные органы Российской Федерации играют ключевую роль в обеспечении ядерной и радиационной безопасности государства, осуществляя меры по пресечению незаконного перемещения ядерных и других радиоактивных материалов через таможенную границу и контроль за соблюдением участниками внешнеэкономической деятельности установленных на таможенной территории ЕАЭС радиационных требований к продукции, изделиям и товарам, содержащим радиоактивные вещества [1].

Одной из важных задач в этой области является проверка заявленных характеристик контролируемых объектов, в том числе точное и достоверное измерение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения при проведении таможенного контроля делящихся и радиоактивных материалов (ДРМ) и других объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения (ИИ).

В настоящее время для измерения МАЭД в таможенных органах применяется широкая

номенклатура технических средств радиационного контроля, различающихся своими техническими характеристиками и конструктивными особенностями. Перечень и порядок применения этих средств определен в соответствии с таможенным законодательством ЕАЭС и РФ [2].

Опыт применения технических средств радиационного контроля в условиях проведения таможенного контроля показал, что при измерении МАЭД гамма-излучения полученные значения зависят от ряда факторов, связанных с техническими и конструктивными особенностями приборов и методикой их применения. К сожалению, несмотря на актуальность, вопрос о достоверности получаемых результатов измерения МАЭД при применении конкретного прибора радиационного контроля в таможенной практике пока недостаточно изучен.

Цель настоящей работы состоит в оценке влияния различных технических аспектов дозиметрии, в частности, технических и конструктивных особенностей приборов радиационного контроля, программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров на точность измерения МАЭД гамма-излучения в таможенной практике.

Для достижения цели работы были поставлены следующие задачи:

- проанализировать основные технические характеристики технических средств радиационного контроля для измерения МАЭД гамма-излучения;
- провести сравнительные измерения МАЭД гамма-излучения, испускаемого точечными радионуклидными источниками разного типа, с помощью технических средств, применяемых в таможенных органах для измерения МАЭД гамма-излучения;
- проанализировать полученные результаты и предоставить рекомендации таможенным

органам и производителям приборов радиационного контроля по учету выявленных особенностей.

Работа является продолжением исследований, проводимых во Владивостокском филиале Российской таможенной академии по изучению влияния характеристик приборов радиационного контроля на эффективность мер по пресечению незаконного перемещения ДРМ через таможенную границу [3].

1. Объекты и методика исследования

Объектами исследования являлись технические средства радиационного контроля, используемые в таможенных органах для измерения МАЭД: дозиметры ДКГ-РМ1203М, ДКГ-РМ1621, ДКГ-РМ1610, ДКС-АТ1123; измерители-сигнализаторы поисковые ИСП-РМ1401К-01, ИСП-РМ1401К-01М; радиометр-спектрометр МКС-А03.

Кроме того, с целью сравнения точности измерения МАЭД были проведены испытания и ряда других приборов, применяемых при проведении радиационного контроля в организациях и учреждениях Росатома, Роспотребнадзора, Ростехнадзора, МЧС и др., в частности, дозиметра ДКГ-РМ1211, дозиметров-радиометров МКС-РМ1405, МКС-15Д «Снегирь», МКС-АТ6130.

Перечень исследованных приборов с указанием их типа, вида и некоторых характеристик, влияющих на результаты измерения мощности амбиентного (индивидуального) эквивалента дозы, приведен в табл.1.

Выбранные в качестве объектов исследования технические средства радиационного контроля отличаются между собой не только по типу, виду и назначению, но и конструктивно: размерами, количеством и типом детекторов, алгоритмом работы, расстоянием между эффективным центром детектора и поверхностью прибора, заданной точностью измерения дозиметрических величин. Все приборы отнесены

Табл.1. Общие технические характеристики исследуемых приборов.

Модель прибора, производитель, страна	Тип и вид прибора	Определяемая дозиметрическая величина	$L^{(6)}$, мм
ДКГ-PM1610, «Полимастер», РБ	индивидуальный дозиметр	$H_p(10), \dot{H}_p(10)$	8,7
ДКГ-PM1621, «Полимастер», РБ	индивидуальный дозиметр	$H_p(10), \dot{H}_p(10)$	16
ДКГ-PM1203M, «Полимастер», РБ	инспекционный дозиметр	$H^*(10), \dot{H}^*(10)$	9
ДКГ-PM1211 ^(а) , «Полимастер», РБ	инспекционный дозиметр	$H^*(10), \dot{H}^*(10)$	10
ДКС-АТ1123 «АТОМТЕХ», РБ	инспекционный дозиметр	$H^*(10), \dot{H}^*(10)$	30
ИСП-PM1401К-01, «Полимастер», РБ	измеритель-сигнализатор	$\dot{H}^*(10)$	15,0
ИСП-PM1401К-01М, «Полимастер», РБ	измеритель-сигнализатор	$\dot{H}^*(10)$	15,0
МКС-А03, НПЦ «Аспект», РФ	радиометр-спектрометр	$\dot{H}^*(10)$	34,5 ^(б) 27 ^(г)
МКС-PM1405 ^(а) , «Полимастер», РБ	дозиметр-радиометр	$\dot{H}^*(10)$	8
МКС-15Д «Снегирь» ^(а) , НПЦ «Доза», РФ	дозиметр-радиометр	$\dot{H}^*(10)$	10
МКС-АТ6130 ^(а) , «АТОМТЕХ», РБ	дозиметр-радиометр	$\dot{H}^*(10)$	7

Примечание: а) в таможенных органах не применяется; б) расстояние от эффективного центра детектора до поверхности прибора; в) сцинтилляционный детектор; г) счетчик Гейгера-Мюллера.

к средствам измерения, неоднократно проходили процедуру испытания в целях утверждения типа или перерегистрации в госреестре средств измерений (СИ) РФ.

Стоит отметить, что среди объектов исследования присутствуют приборы, функционально не предназначенные для измерения МАЭД:

- прибор ИСП-PM1401К-01, согласно эксплуатационной документации, является энергетически не скомпенсированным измерителем МАЭД, и его показания могут отличаться от показаний других дозиметров;
- дозиметры ДКГ-PM1610 и ДКГ-PM1621 предназначены для измерения мощности индивидуального эквивалента дозы (МИЭД) ($\dot{H}_p(10)$) рентгеновского и гамма-излучения.

Тем не менее, исходя из особенностей технического оснащения таможенных органов и задач, стоящих перед таможенными органами при проведении радиационного контроля, в таможенной практике приборы этого типа часто применяются для измерения МАЭД гамма-излучения. По этой причине они включены авторами в перечень объектов исследования, и их показания будут в дальнейшем интерпретированы как результаты измерения МАЭД, а не фактически измеряемыми значениями МИЭД или оценки МАЭД.

Большинство используемых в таможенных органах для измерения МАЭД приборов радиационного контроля были разработаны и централизованно поставлены в таможенные органы двадцать и более лет назад в значи-

тельных количествах: ИСП-PM1401К-01 – более трех тысяч экземпляров; ДКГ-PM1203М и ДКГ-PM1621 – более тысячи экземпляров; ДКГ-PM1610 и МКС-А03-1 – более пятисот экземпляров; ДКС-АТ1123 и ИСП-PM1401К-01М – более двухсот экземпляров каждого наименования.

Некоторые из этих приборов (ДКГ-PM1203М и ИСП-PM1401К-01) уже перестали выпускаться производителями, однако в таможенных органах в большинстве своем не выведены из эксплуатации.

При организации и проведении исследований авторами учитывались рекомендации по проведению измерения МЭД согласно эксплуатационной документации на приборы, методик их поверки и приложений к свидетельствам об утверждении типа средств измерений – описаний типа средств измерений.

В качестве источников гамма-излучения были взяты следующие точечные закрытые радионуклидные источники (ЗРИ) типа ОСГИ: Cs-137 ($A = 52,0$ кБк), Ва-133 ($A = 241,9$ кБк), Eu-152 ($A = 70,0$ кБк) и Со-60 ($A = 101,6$ кБк).

В табл.2 приведены сведения по энергиям сопутствующего гамма-излучения указанных выше источников.

На выбор номенклатуры источников и значений их активности повлияли следующие факторы: указанные точечные ЗРИ входят в состав образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ), используемых для калибровки и поверки средств измерения, и опасность от работы с ними маловероятна;

энергия гамма-излучения выбранных источников позволяет провести анализ энергетической зависимости результатов измерения в широком энергетическом диапазоне.

Испытания приборов осуществлялись в два этапа.

На первом этапе на основе результатов измерений МАЭД радиационного фона и источника Cs-137 из нескольких приборов разного типа (ДКГ-PM1203М – 10 шт.; ДКГ-PM1621 – 10 шт.; ДКГ-PM1610 – 2 шт.; ДКС-АТ1123 – 5 шт.; ИСП-PM1401К-01 – 10 шт.; ИСП-PM1401К-01М – 1 шт.; МКС-А03 – 5 шт.; ДКГ-PM1211 – 1 шт.; МКС-PM1405 – 1 шт.; МКС-15Д «Снегирь» – 1 шт.; МКС-АТ6130 – 1 шт.) был выбран тот, который имел наиболее близкие показания к среднему значению в серии измерений.

На втором этапе выбранными приборами проводились измерения МАЭД естественного радиационного фона и гамма-излучения точечных ЗРИ типа ОСГИ.

При проведении измерений практически для всех приборов, за исключением ИСП-PM1401К-01, ИСП-PM1401К-01М и МКС-А03-1 использовался режим ручного запуска измерений и сброса набранной статистики. Время измерения определялось исходя из достижения значений статистической погрешности измерений не более 15%, которая, как правило, выводится при измерении МАЭД на жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) прибора. В случае отсутствия индикации текущей статистической погрешности на ЖКИ прибора либо указания на ее значение

Табл.2. Ядерно-физические свойства изотопов [4].

Изотоп	Вид распада	Сопутствующее гамма-излучение, E , кэВ, (квантовый выход, %)
Со-60	β^- -распад	1173 (100%); 1332 (100%)
Ва-133	Электронный захват	77 (23%); 81 (33%); 276 (7%); 302 (18%); 356 (62%); 383 (9%)
Cs-137	β^- -распад	661 (95%)
Eu-152	β^- -распад β^+ -распад Электронный захват	121 (29%); 244 (8%); 778 (13%); 964 (15%); 1112 (13%); 1408 (21%)

в эксплуатационной документации во время проведения измерений расчеты статистической погрешности проводились по результатам серии измерений значений МАЭД стандартными статистическими методами с учетом рекомендаций из методик поверки приборов.

Все измерения проводились в одинаковых условиях (по температуре, давлению и влажности). Расстояние от поверхности приборов до ИИИ составляло, как правило, 0,1 м, а в некоторых случаях прибор располагался на поверхности ИИИ.

Условия проведения измерений (расстояние от ИИИ до поверхности прибора, диапазон измеряемых величин МАЭД) определялись методикой проведения радиационного контроля товаров, транспортных средств и физических лиц в ходе таможенного контроля, установленными радиационными требованиями к продукции, изделиям, являющимися ИИИ (Решение Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 № 299). Например, значение

МАЭД на наружной поверхности посылки с радиационной упаковкой не должно превышать 1,0 мкЗв/ч. Это же значение МАЭД, измеренное на расстоянии 0,1 м от внешней поверхности изделий, содержащих радионуклидные источники, является критерием освобождения их от контроля после оформления санитарно-эпидемиологического заключения.

2. Результаты исследования и обсуждение

2.1. Результаты измерения МАЭД и расчета МЭД

Результаты измерений МАЭД гамма-излучения от локальных ЗРИ типа ОСГИ приведены на рис.1.

Анализ полученных графиков дает основание утверждать, что измеренные различными приборами значения МАЭД гамма-излучения для каждого из радионуклидов имеют существенные различия. Наибольший разброс показаний приборов (различие до 170%)

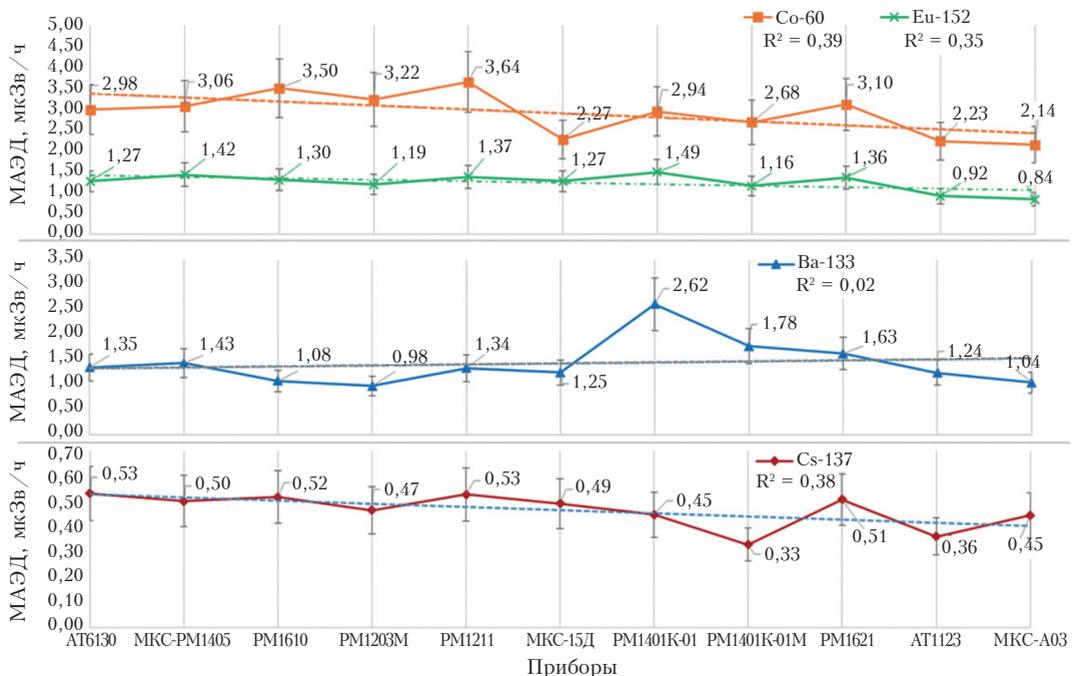


Рис.1. Результаты измерения МАЭД источников гамма-излучения, полученные приборами разного типа.

Примечание: На графиках приведены рассчитанные с использованием средств анализа Excel трендовые линии, а также значения величин достоверности аппроксимации (коэффициенты детерминации) R^2 .

наблюдается при измерении МАЭД гамма-излучения источников Со-60 и Ва-133. В частности, для Со-60 аномально высокие показания имеют место у приборов ДКГ-РМ1610, ДКГ-РМ1211, а показания МКС-15Д «Снегирь», МКС-А03 и АТ1123 сильно занижены. Для Cs-137 и Eu-152 результаты измерения МАЭД для каждого прибора укладываются в пределах погрешности 20%.

Представленные результаты измерения МАЭД не позволяют дать им однозначное объяснение. Вместе с тем, попытаемся установить причины, обуславливающие полученные результаты, поскольку с подобной ситуацией могут столкнуться не только должностные лица таможенных органов, осуществляющие радиационный контроль радиационно-опасных объектов, но и работники иных контрольно-надзорных органов, в чьи функции входит проведение аналогичных измерений.

Прежде всего, отметим, что существует множество факторов, влияющих на результаты измерения МАЭД (конструктивные и технические особенности приборов, нормативно-правовые и методические аспекты дозиметрического контроля и др.), и в каждом конкретном случае их влияние может быть различно. В этой статье остановимся на анализе некоторых из них:

- конструктивные особенности прибора (глубина расположения эффективного центра детектора; положение детектора прибора по отношению к падающему ионизирующему излучению);
- влияние программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров.

2.2. Влияние конструктивных особенностей приборов на результаты измерения МАЭД

Как было отмечено ранее, все исследованные приборы относятся к средствам измере-

ний ионизирующих излучений и разработаны в соответствии с ГОСТ 27451-87 [5], в котором установлено, что «... габаритные размеры, их числовые значения ... должны быть установлены в стандартах и (или) технических условиях на конкретные средства измерения», а «... требования по эргономике и технической эстетике должны устанавливаться по согласованию между изготовителем и потребителем...».

Основные конструктивные особенности приборов, влияющие на точность измерения МАЭД, включают в себя: расположение эффективного центра детектора относительно поверхности прибора и направление падения на детектор ионизирующего излучения; тип, вид и количество детекторов; наличие программно-технических средств управления и обработки информации и особенности их работы.

Глубина расположения эффективного центра детектора относительно поверхности каждого прибора различна: от 7 мм (МКС-АТ6130) до 34,5 мм (МКС-А03) (табл.1). Из этого следует, что в случае проведения измерений МАЭД на поверхности источников, получаемые значения для этой пары приборов, если не принимать во внимание влияние других факторов, должны теоретически различаться в 24,3 раза.

Подтверждением этому являются приведенные на рис.2 сравнительные результаты расчета значений мощности эквивалентной дозы (МЭД) в случаях нахождения источников на поверхности приборов. Значения МЭД для точечных ЗРИ типа ОСГИ рассчитывались по известной активности на дату проведения измерений. Для удобства анализа по горизонтальной оси графика приборы расположены в порядке возрастания расстояния от поверхности прибора до эффективного центра.

В случае, если расстояние от источника до поверхности прибора увеличивается до 0,1 м, значения рассчитанных МЭД для АТ6130 и МКС-А03 будут различаться в 1,6 раза.

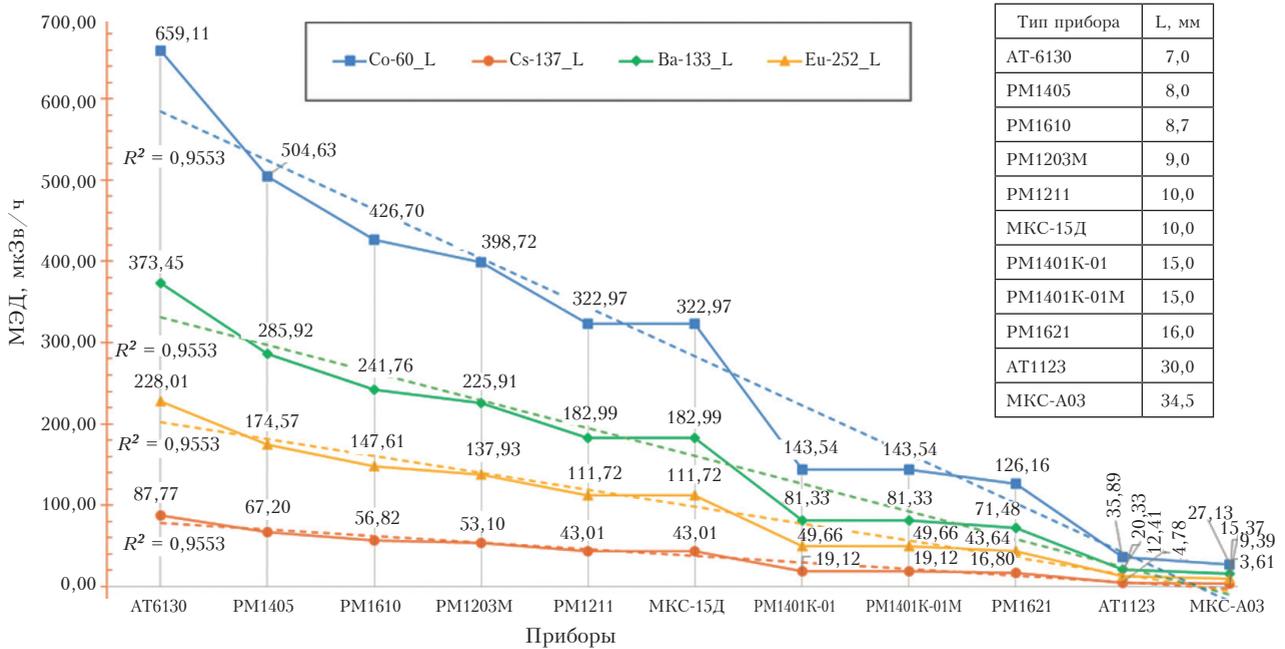


Рис.2. Результаты расчета МАЭД, полученные для исследуемых радионуклидов: источник находился на поверхности прибора.

При этом расхождения в рассчитанных значениях МАЭД гамма-излучения от каждого типа источника для каждого типа прибора составят не более 20%.

Вместе с тем, результаты эксперимента показывают (рис.1), что взаимосвязь между расстоянием «источник – эффективный центр детектора» и значениями МАЭД фактически несущественна. Однако использование средств анализа Excel позволило вычислить для расчетных и экспериментальных графиков трендовые линии, а также значения величин достоверности аппроксимации (коэффициенты детерминации) R^2 . Это позволило установить, что для источников Co-60, Cs-137 и Eu-152 наблюдается взаимосвязь в расчетных и экспериментальных трендовых линиях: расстояние «источник – эффективный центр детектора» и значения МАЭД и МАЭД. Причем значения величин R^2 для расчетных МАЭД совпадают и близки к 1, что свидетельствует о наличии хорошей взаимосвязи между расстоянием «источник – эффективный центр детектора» и рассчитанным МАЭД.

Однако сами значения R^2 свидетельствуют о том, что на значения МАЭД, кроме расстояния «источник – эффективный центр детектора», оказывают существенное влияние и иные факторы. Особенно это заметно в результатах измерения МАЭД для источника Ba-133.

Положение детектора прибора по отношению к падающему ионизирующему излучению при проведении измерений МАЭД на поверхности объектов контроля выбирается из соображений удобства и наглядности отображаемых результатов измерений. При этом не учитывается глубина расположения эффективного центра детектора относительно поверхности прибора и направление градуировки по чувствительности падающего на прибор излучения.

Как правило, производитель приборов дозиметрического контроля указывает в эксплуатационной документации значения анизотропии чувствительности (а иногда приводит и диаграммы) для конкретных энергий излучения гамма-источника (например, 22 кэВ (Cd-109); 59,5 кэВ (Am-241); 662 кэВ (Cs-137) и

1250 кэВ (Co-60)) в угловых интервалах при вращении прибора в вертикальной и горизонтальных плоскостях от 0° до ±180°. Значения величин анизотропии чувствительности могут изменяться в широких пределах. Например, для ДКГ-PM1203М анизотропия чувствительности прибора при вращении его в вертикальной плоскости для энергии гамма-излучения 59,5 кэВ и угла детектирования относительно направления градуировки 0° составляет 0%, для 180° – ±15%, а для –90° – 95% [6]. Для ДКГ-PM1211 для нижнего диапазона энергий (59,5 кэВ) для угла 0° анизотропия чувствительности прибора отсутствует, а при вращении в вертикальной плоскости на 90° она составляет 50% [7].

В разделах «Методика поверки» эксплуатационной документации на ряд приборов

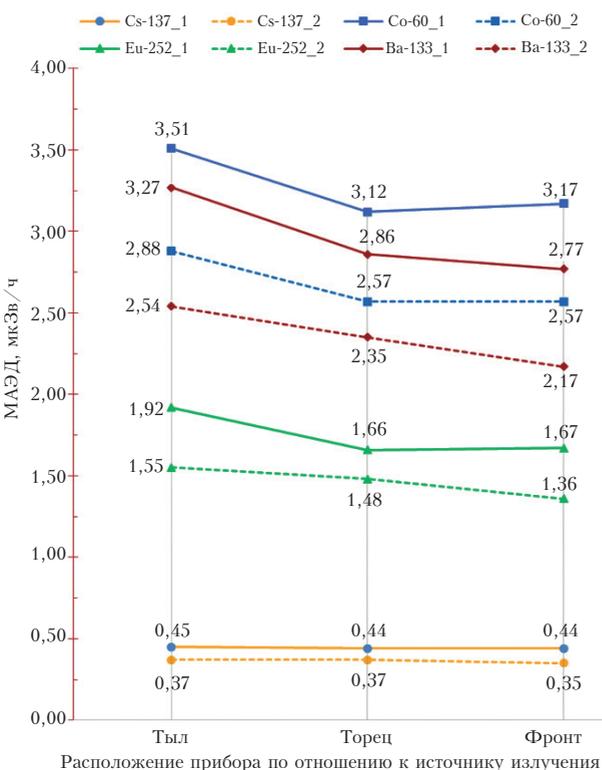


Рис. 3. Результаты измерения МАЭД гамма-излучения от источников типа ОСГИ для ИСП-PM1401К-01: 1 – расстояние от источника до поверхности прибора составляет 0,1 м; 2 – расстояние от источника до эффективного центра детектора составляет 0,1 м.

(ДКГ-PM1203М, ДКГ-PM1211, ДКГ-PM1610; ИСП-PM1401К-01 и ИСП-PM1401К-01М) указано, что определение метрологических характеристик в ходе поверки приборов осуществляется при их размещении на поверочной дозиметрической установке с источником гамма-излучения Cs-137 так, чтобы лицевая панель прибора, на которой, кроме кнопок управления, расположен ЖКИ, была обращена к источнику излучения, а ось потока излучения (направление градуировки по чувствительности) проходила через эффективный центр гамма-детектора, отмеченный на корпусе прибора [8].

В практической деятельности при измерении МАЭД на поверхности объектов контроля расположить прибор в соответствии с требованиями методики поверки, и снять его показания невозможно. Обычно измерения проводят, располагая тыльную сторону прибора на поверхности радиоизотопного источника или на требуемом расстоянии от него (0,1 м; 1 м).

В качестве примера на рис.3 приведены результаты измерения МАЭД с помощью измерителей-сигнализаторов поисковых ИСП-PM1401К-01 в случаях различного направления падающего на прибор излучения (к сожалению, для этого прибора нам не удалось найти сведения по значениям анизотропии чувствительности). В рамках этих измерений для ИСП-PM1401К-01 продемонстрировано влияние глубины расположения эффективного центра детектора относительно поверхности прибора на значения МАЭД.

Измерения проводились для 2-х вариантов: 1 – расстояние от источника до поверхности прибора составляло 0,1 м, 2 – расстояние от источника до эффективного центра составляло 0,1 м. В каждом из вариантов прибор последовательно располагался по отношению к падающему излучению в трех проекциях: тыльная, нижняя боковая и лицевая стороны прибора.

Из представленных данных видно, что влияние анизотропии на изменение показаний прибора фактически несущественно при измерении МАЭД источника Cs-137.

Для источников Co-60, Eu-152 и Ba-133 измеренные значения МАЭД заметно выше (на 10–15%) при измерении тыльной стороной прибора, чем фронтальной или торцевой.

Известно, что конструктивной особенностью большинства приборов на основе сцинтиляционных детекторов является смещение эффективного центра от торцевой поверхности детектора, что может оказать влияние на измеряемое значение мощности дозы, особенно при расположении прибора на небольших расстояниях от источника излучения [9]. В частности, одной из конструктивных особенностей прибора ИСП-PM1401К-01 является расположение эффективного центра детектора на глубине 11 мм от торцевой поверхности и 15 мм от тыловой и фронтальной поверхностей.

Расчетные значения МЭД для этих расстояний (при расположении источника на поверхности прибора) составляют 0,92 мкЗв/ч и 0,86 мкЗв/ч (разница всего 7%) соответственно, а в случае расположения источника на расстоянии 0,1 м относительно поверхности прибора значение МЭД будет фактически одинаковым.

Влияние программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров на результаты измерения МАЭД. Еще одной особенностью современных средств измерений является активное внедрение программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров, применение которых позволяет улучшить качественные характеристики прибора.

Микропроцессор под управлением программного обеспечения (ПО) осуществляет весь процесс измерений: автоматический выбор времени измерения с учетом допустимой статистической погрешности; управление всеми режимами прибора, начиная с тестирования состояния основных узлов прибора, вычисления МЭД и ЭД по заданному алгоритму и заканчивая выводом результатов измерений.

Показания прибора определяются алгоритмом его работы, реализующим модель регистрации ионизирующего излучения (например, [10]) и обеспечивающим непрерывность процесса измерений, их статистическую обработку, быструю адаптацию к изменению уровня МЭД фотонного излучения и оперативное представление полученной информации на ЖКИ [11].

Практика применения современных приборов радиационного контроля показывает, что

Табл.3. Сравнительные результаты измерения МАЭД гамма-излучения от источников Cs-137, Ba-133, Co-60, Eu-152.

Прибор	Дата выпуска	Номер в Госреестре СИ	МАЭД, мкЗв/ч			
			Cs-137	Ba-133	Co-60	Eu-152
ИСП-PM1401К-01	10.08.2004 ТУ ВУ 100345122.034-2003	26601-04	0,32±0,01	2,56±0,02	0,71±0,01	0,97±0,01
	04.04.2007 ТУ РБ 100345122.034-2003	26601-04	0,31±0,01	2,40±0,01	0,74±0,02	0,97±0,01
	20.11.2012 ТУ ВУ 100345122.034-2008	26601-12	0,34±0,01	2,43±0,04	2,16±0,02	1,33±0,03
ИСП-PM1401К-01М	26.11.2012 ТУ ВУ 100345122.034-2011	26601-12	0,30±0,01	1,64±0,04* 1,31±0,03** 1,13±0,02***	2,15±0,02	1,00±0,05

Примечание. Значения: *) сразу после включения; **) через 1 мин.; ***) через 3 мин.

точность измерений во многом зависит не от элементной базы и характеристик детекторов, а от применяемых алгоритмов работы прибора, вычислительной мощности микропроцессоров и качества используемого встроенного и прикладного программного обеспечения.

В табл.3 приведены результаты измерения МАЭД гамма-излучения от источников Cs-137, Ba-133, Co-60, Eu-152 измерителями-сигнализаторами поисковыми ИСП-PM1401 К-01 разных годов выпуска (с разными номерами свидетельств о регистрации средств измерения в реестре СИ).

Для каждого источника излучения измерения проводились в одинаковых условиях.

Сравнивая результаты измерения трех приборов ИСП-PM1401К-01 разных годов выпуска, можно отметить, что для приборов 2004 и 2007 годов выпуска, имеющих одинаковый номер в госреестре СИ РФ, наблюдаются практически одинаковые значения МАЭД гамма-излучения при измерении трех источников (Cs-137, Co-60, Eu-152).

Результаты измерения МАЭД прибором 2012 года выпуска показали превышение значений МАЭД гамма-излучения у Cs-137 и Eu-152 в 1,4 раза, а у Co-60 более чем в 3,4 раза.

При измерении прибором ИСП-PM1401К-01М для Cs-137, Co-60 и Eu-152 наблюдается незначительное снижение значения МАЭД, в пределах 10%, в сравнении со значениями, полученными ИСП-PM1401К-01, выпущенного в 2012 году, в то время как для Ba-133 наблюдаются значительно заниженные, в сравнении с другими радионуклидами, значения МАЭД.

Согласно анализу эксплуатационной документации на приборы и информации, полученной от предприятия-изготовителя этих технических средств, можно отметить следующее.

ИСП-PM1401К-01 является энергетически не компенсированным; основная относительная погрешность измерения МЭД гарантируется только по линии Cs-137 в коллимирован-

ном пучке, поэтому его показания при измерении фотонного излучения других энергий могут отличаться от значений МЭД, измеренных другими приборами, что не является признаком неисправности прибора.

Система детектирования гамма-излучения ИСП-PM1401К-01 построена на основе применения двух детекторов – сцинтилляционного детектора и счетчика Гейгера-Мюллера. Сцинтилляционный детектор работает в диапазоне до 10 мкЗв/ч, а счетчик Гейгера-Мюллера – свыше 10 мкЗв/ч.

В эксплуатационной документации и описаниях к средствам измерения приборов ИСП-PM1401К-01 и ИСП-PM1401К-01М приведены сведения о технических условиях на приборы (табл.3) и встроенном программном обеспечении микропроцессоров. Для ИСП-PM1401К-01 с датами выпуска 10.08.2004 и 04.04.2007 используется программное обеспечение ТИГР.305555.006; для ИСП-PM1401К-01 выпуска 20.11.2012 – ТИГР.00017.00.02-04; для ИСП-PM1401К-01М выпуска от 26.11.2012 – ТИГР.00017.00.02.2-31.

На основе анализа полученных результатов МАЭД гамма-излучения и представленной информации можно сделать предположения, что результаты измерения существенно зависят от алгоритма работы встроенного в программное обеспечение микропроцессора. В частности, близкие значения результатов измерений МАЭД для Cs-137 обусловлены использованием этого радионуклида для проверки приборов.

В ходе проведения измерений прибором ИСП-PM1401К-01М МАЭД радионуклида Ba-133 была выявлена следующая аномалия в работе прибора, заключающаяся в нестабильности его показаний (для радионуклида Cs-137 показания прибора стабильны).

В соответствии с эксплуатационной документацией, при измерениях МАЭД прибором

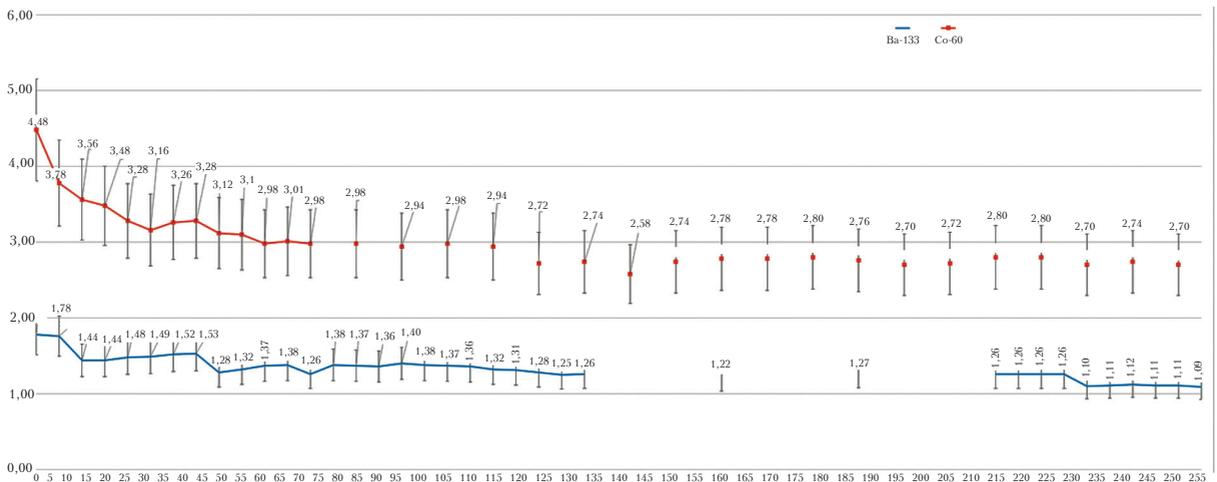


Рис.4. График, демонстрирующий изменения показаний ИСП-PM1401K-01M при измерении Ba-133 и Co-60.

ИСП-PM1401K-01M критерием выполненного измерения в пределах допускаемой основной относительной погрешности измерений является прекращение мигания размерности измеряемой величины « $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ». При помещении прибора в точку на расстоянии 0,1 м от источника гамма-излучения Ba-133 мигание размерности на ЖКИ прибора прекращалось при индикации МАЭД около 2 мкЗв/ч, что, согласно эксплуатационной документации, соответствует измеренному значению МАЭД.

Тем не менее, в течение длительного промежутка времени (около 6 мин) показания прибора в точке проведения измерений падали и устанавливались около 1 мкЗв/ч. Динамика показаний значений МАЭД при измерении с помощью ИСП-PM1401K-01M Ba-133 и Co-60 приведена на рис.4.

Таким образом, остается открытым вопрос о длительности проведения измерений МАЭД гамма-излучения и корректности алгоритма работы прибора при регистрации гамма-излучения различных энергий. Из вышесказанного следует, что применение рассмотренной в статье модификации прибора для измерения МАЭД радионуклидных источников в практической деятельности таможенных органов является ограниченным.

Выводы и предложения

Таможенные органы при проведении радиационного контроля делящихся и радиоактивных материалов и других объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения применяют широкую номенклатуру приборов радиационного контроля, отнесенных к средствам измерения, отличающихся между собой не только по типу, виду и назначению, но и конструктивно: размерами, количеством и типом детекторов, алгоритмом работы, расстоянием между эффективным центром детектора и поверхностью прибора, заданной точностью измерения дозиметрических величин (коэффициентом вариации).

При проведении таможенного контроля объектов, имеющих повышенный уровень ионизирующего излучения, должностные лица таможенных органов:

- а) в большинстве случаев измеряют МАЭД, значения которых не превышают 1 мкЗв/ч;
- б) измерения проводят на поверхности объектов контроля либо на расстоянии 0,1 м;
- в) при проведении измерений МАЭД на поверхности объектов контроля положение детектора прибора по отношению к падающему ионизирующему излучению выбирают из соображений удобства и наглядности

отображаемых результатов измерений, без учета глубины расположения эффективного центра детектора и направления градуировки падающего на прибор излучения;

д) для измерения МАЭД часто используют приборы радиационного контроля, не предназначенные для этих целей, например, индивидуальные дозиметры гамма- и рентгеновского излучения (ДКГ-РМ1621, ДКГ-РМ1610), а также поисковые измерители-сигнализаторы (ИСП-РМ1401К-01), в которых основная относительная погрешность измерения МАЭД производителем гарантируется только по линии Cs-137 в коллимированном пучке;

е) проводят измерения МАЭД радионуклидов различного происхождения, энергия излучения которых находится в широком диапазоне – от десятков до тысяч кэВ;

В результате проведенных исследований по оценке влияния конструктивных особенностей приборов и программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров на результаты измерения МАЭД было установлено, что:

а) измерение МАЭД гамма-излучения от локальных ЗРИ типа ОСГИ приборами различного типа приводит к значительному разбросу результатов, достигающему 170%, причем наибольший разброс наблюдается для Co-60 и Ba-133. При измерении МАЭД Cs-137, используемого, как правило, для метрологической поверки приборов, наблюдаются близкие показания;

б) на точность измерения МАЭД оказывают влияние конструктивные особенности приборов (расположение эффективного центра детектора относительно поверхности прибора и направления падения ионизирующего излучения; тип, вид и количество детекторов);

с) на точность измерений современных приборов оказывают влияние не только характеристики детекторов и элементная база приборов, но и применяемые алгоритмы работы,

вычислительные мощности микропроцессоров и версии (качество исполнения) используемого встроенного и прикладного программного обеспечения.

Эти результаты подчеркивают необходимость учета конструктивных особенностей приборов и программно-технических средств управления и обработки информации на базе микропроцессоров при измерении МАЭД точечных источников гамма-излучения в ходе проведения радиационного контроля.

Вместе с тем, по результатам проведенного исследования можно рекомендовать следующее:

а) таможенным органам:

- своевременно проводить работы по обновлению парка приборов дозиметрического контроля с учетом задач, стоящих перед таможенными органами в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности на таможенной границе;
- при получении навыков работы с техническими средствами РК уделять особое внимание вопросам измерения мощности дозы с помощью различных технических средств радиационного контроля;

б) производителям приборов радиационного контроля:

- в тесном сотрудничестве с потребителями (таможенными органами) разработать методические рекомендации по применению приборов радиационного контроля для измерения МАЭД, в которых должны быть отражены необходимые технические характеристики и особенности применения каждого прибора, включая методику и порядок проведения измерений;
- при разработке новых средств измерения МАЭД учитывать для какой категории потребителей разрабатываются приборы и какие задачи они будут решать;
- обратить особое внимание на разработку и отладку программно-технических средств управления и обработки информации

на базе микропроцессоров, в части, касающейся обеспечения точности измерения МАЭД для различных диапазонов энергий регистрируемого гамма-излучения и стабильности показаний приборов.

В заключение авторы отмечают, что результаты проведенных исследований, выводы и предложения носят рекомендательный характер и не претендуют на абсолютную истину. Вопрос достоверности показаний приборов радиационного контроля достаточно сложен,

и требует более тщательного исследования. Помимо факторов, влияющих на измерения МАЭД и исследованных в данной работе, существуют и иные факторы, заслуживающие внимание, к которым относятся: тип детектора, учет энергетической зависимости чувствительности детекторов, влияние сопутствующего бета-излучения и пр. Результаты проведенных исследований по этому направлению планируется изложить в последующих публикациях.

Литература

1. Решение Комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 № 299 «О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе». URL: <https://base.garant.ru> (дата обращения: 23.09.2024).
2. Приказ Минфина России от 01.03.2019 № 33н «Об утверждении перечня технических средств таможенного контроля, используемых при проведении таможенного контроля». URL: <https://base.garant.ru> (дата обращения: 23.09.2024).
3. Борисенко А.В., Чубов Ю.В., Кустов В.Н., Темченко В.В., Белов Ю.А. Особенности влияния характеристик приборов радиационного контроля на эффективность мер по пресечению незаконного перемещения радиоактивных материалов через таможенную границу ЕАЭС. Часть 1. Приборы дозиметрического контроля // АНРИ. 2018. № 1(92). С. 22-39.
4. Таблицы физических величин. Справочник. Под редакцией академика Кикоина И.К. М.: Атомиздат, 1976. 1106 с.
5. Государственный стандарт СССР ГОСТ 27451-87 (СТ СЭВ 4666-84, СТ СЭВ 6061-87) «Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия». URL: <https://base.garant.ru> (дата обращения: 23.09.2024).
6. Дозиметр микропроцессорный ДКГ-PM1203М. Руководство по эксплуатации ТИГР.412118.006 РЭ. URL: <https://ntcexpert.ru/images/stories/radiograf/dkg-rm1203-manual.pdf?ysclid=m41e69oa3126821850> (дата обращения: 23.09.2024).
7. Дозиметр гамма-излучения ДКГ-PM1211. Модификации: ДКГ-PM1211, ДКГ-PM1211-01, ДКГ-PM1211-02, ДКГ-PM1211-03. Руководство по эксплуатации. 34 с.
8. Измеритель-сигнализатор поисковый ИСП-PM1401К-01М. Руководство по эксплуатации СУДЕ.412113.002.01Э. ООО «СофтЭксперт». 2014. 36 с.
9. Лукашевич Р.В., Фоков Г.А. Расчет положения эффективного центра энергосделения сцинтилляционных детекторов для задач калибровки при малых расстояниях «источник–детектор» // Приборы и методы измерений. 2021. № 3(12). С 239-248.
10. Модель регистрации гамма-излучения детекторами различного размера. URL: https://ntcexpert.ru/documents/Model_of_gamma_ray_registration_rus.ppsx (дата обращения: 11.12.2024).
11. Фомин В.В., Никольский Б.Б. Система управления блоком детектирования для регистрации ионизирующего излучения // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2017. № 2. С. 1-7.

Technical Aspects of Dosimetry in Customs Practice

Borisenko Aleksandr, Chubov Yuri, Berlova Natalja (Vladivostok branch of the Russian Customs Academy, Vladivostok, Russia)

Abstract. The article discusses the technical characteristics of devices used in customs practice to measure the dose rate of gamma radiation: dosimeters, radiometer dosimeters and search alarm meters. The impact of various technical aspects of dosimetry on the accuracy of dosimetric measurements, in particular, the design features of radiation monitoring devices, software and hardware controls and information processing based on microprocessors, has been evaluated.

The results of measurements of the gamma radiation dose rate of a number of point and extended radionuclide sources by various types of devices are presented. It is shown that when using these devices to measure the dose rate of local sources detected during radiation control at the customs border, in some cases the measurement error may exceed the values specified in the operational documentation for the devices.

Keywords: *technical means of customs control of fissile and radioactive materials, radiation monitoring devices, characteristics of dosimeters, dose rate measurement, measurement accuracy, design features.*

*А.В.Борисенко (к.х.н., доцент, нач. уч. центра ТКДРМ), Ю.В.Чубов (к.ф.-м.н., в.н.с.),
Н.В.Берлова (к.т.н., доцент., в.н.с.)*

Владивостокский филиал Российской таможенной академии, г. Владивосток

Контакты: +7 (902) 555-95-85, borisenko2@mail.ru