

Особенности влияния характеристик приборов радиационного контроля на эффективность мер по пресечению незаконного перемещения радиоактивных материалов через таможенную границу ЕАЭС. Часть 1. Приборы дозиметрического контроля

С учетом требований действующих в Российской Федерации национальных и международных стандартов и регламентов исследованы основные технические характеристики приборов дозиметрического контроля, имеющих на оснащении таможенных органов Российской Федерации, а также некоторых новых, перспективных для применения в таможенных органах дозиметров. Рассмотрены характеристики, влияющие на эффективность мер по пресечению незаконного перемещения делящихся и радиоактивных материалов, товаров и объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения.

Ключевые слова:

таможенный контроль делящихся и радиоактивных материалов, приборы радиационного контроля, технические и эксплуатационные характеристики дозиметров.

**А.В.Борисенко, Ю.В.Чубов,
В.Н.Кустов, В.В.Темченко,
Ю.А.Белов**

(Владивостокский филиал Российской таможенной академии, г. Владивосток)

Введение

Таможенные органы Российской Федерации в рамках исполнения функции по пресечению незаконного перемещения через таможенную границу делящихся и радиоактивных материалов (ДРМ) с 1995 г. проводят радиационный контроль всех без исключения объектов таможенного контроля (товары, транспортные средства, физические лица и их багаж и т. д.) и осуществляют действия по проверке достоверности декларирования ДРМ, являющихся объектом внешнеэкономической деятельности (ВЭД) [1]. При этом должностными лицами таможенных органов решаются задачи:

- обнаружения объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения;
- поиска и локализации источников ионизирующего излучения в составе объектов контроля;
- определения характеристик обнаруженных объектов и ДРМ, перемещаемых в рамках осуществления ВЭД.

Радиационный контроль в зависимости от характера работ, как правило, включает измерение следующих параметров радиационных источников и ионизирующего излучения: активности радионуклидов; энергетического расщепления гамма-излучения радионуклидов; индивидуального эквивалента дозы и мощности амбиентного эквивалента дозы гамма- и нейтронного излучений; плотности потока альфа-, бета-частиц.

Радиационный контроль проводится с помощью технических средств таможенного контроля ДРМ (ТСТК ДРМ), перечень и порядок применения которых определен приказом ФТС России [2].

Очевидно, что эффективность применения ТСТК ДРМ, а значит и таможенного контроля в целом, существенным образом зависит от характеристик применяемых технических средств.

Практически все ТСТК ДРМ, эксплуатируемые в настоящее время в таможенных органах Российской Федерации, создавались в соответствии с техническими заданиями, разработанными ГТК (ФТС) России в 1995–2005 гг. с учетом действующих на тот момент требований и рекомендаций международных и национальных стандартов, регламентов, санитарных правил и норм, а также задач

таможенного контроля и финансовых возможностей таможенных органов.

В настоящее время, в связи с окончанием установленного срока эксплуатации большинства ТСТК ДРМ и изменениями характера решаемых задач, обусловленными совершенствованием таможенного законодательства Евразийского экономического союза, ФТС России предстоит значительно обновить парк ТСТК ДРМ, а для этого следует уточнить требования к характеристикам закупаемых технических средств.

В связи с этим в Учебном центре таможенного контроля за делящимися и радиоактивными материалами Владивостокского филиала Российской таможенной академии, наряду с учебной и учебно-методической деятельностью, проводится работа по исследованию влияния технических и эксплуатационных характеристик приборов радиационного контроля на эффективность мер по пресечению незаконного перемещения ДРМ через таможенную границу Евразийского экономического союза. В настоящей статье изложены первые результаты этих исследований.

1. Объекты и методика исследования

Объектами исследования являлись приборы дозиметри-

ческого контроля, имеющиеся на оснащении таможенных органов Российской Федерации: дозиметр микропроцессорный ДКГ-РМ1203М, индивидуальные дозиметры гамма- и рентгеновского излучений ДКГ-РМ1621 и ДКГ-РМ1610, дозиметр универсальный гамма- и рентгеновского излучений ДКС-АТ1123, измеритель-сигнализатор поисковый ИСП-РМ1401К-01. Указанные приборы, в соответствии с приказом ФТС России [2], применяются на этапах таможенного осмотра и таможенного досмотра в процессе таможенного контроля, направленного на пресечение незаконного перемещения ДРМ и таможенного контроля ДРМ, являющихся объектом ВЭД. Кроме того, они применяются для обеспечения радиационной безопасности при работе с ДРМ, досмотровой рентгеновской техникой и инспекционно-досмотровыми ускорительными комплексами.

Исследования также проводились в отношении двух новых приборов, появившихся на российском рынке и имеющих, судя по заявленным характеристикам, перспективы для применения в таможенных органах Российской Федерации – дозиметра гамма-излучения ДКГ-РМ1605 и дозиметра-радиометра МКС-РМ1405.

В основе исследований лежали измерения технических характеристик приборов и сравнительный анализ полученных результатов с данными, приведенными в технической документации к приборам, и требованиями к техническим средствам радиационного контроля, содержащихся в международных и национальных стандартах, нормах и правилах, рекомендациях МАГАТЭ.

Исследования проводились с учетом особенностей использования приборов в процессе таможенного контроля ДРМ, а также контроля товаров, транспортных средств и других объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения. В частности, учитывалась необходимость:

- применения приборов для измерения ионизирующего излучения с мощностью дозы до 1 мкЗ/ч на поверхности объекта и на расстояниях 0,1 м и 1 м от него;
- наличия жестких временных ограничений на проведение контроля с необходимостью принятия на основании полученных результатов (измерений) обоснованных решений о дальнейших действиях в отношении контролируемых объектов [1,3].

Следовательно, наиболее значимыми с точки зрения та-

моженного контроля являются показатели достоверности полученных результатов и оперативности работы приборов.

Для оценки достоверности получения результатов проводились измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения естественного радиационного фона и ионизирующего излучения, создаваемого радионуклидными источниками, имеющими как одиночные энергетические пики, так и широкий спектр гамма-излучения.

В качестве исследуемой характеристики, влияющей на оперативность работы приборов, рассматривалось время отклика прибора – время между первичным облучением детектора и достижением 90% показаний конечного значения мощности дозы дозиметра [4].

Время отклика прибора является достаточно важной характеристикой, поскольку в случае попадания должностного лица таможенного органа в радиационно-опасную зону, от того, насколько быстро будет зафиксирован повышенный уровень ионизирующего излучения, зависит время его нахождения в радиационно-опасной зоне и, соответственно, индивидуальная доза, полученная им при выполнении должностных обязанностей.

При исследовании времени отклика рассматриваемых приборов авторы исходили из следующих положений.

1. Исследование характеристик приборов, применяемых в таможенных органах, в т. ч. времени отклика на изменение мощности дозы, проводилось по единым для всех приборов (индивидуальным и инспекционным дозиметрам) методикам. Это связано с тем, что при проведении радиационного контроля должностные лица таможенных органов часто вынуждены применять имеющиеся в таможенном органе дозиметрические приборы не по прямому функциональному назначению, а исходя из имеющихся в наличии. При этом индивидуальные дозиметры используются как инспекционные дозиметры для измерения параметров ионизирующего излучения (контроля транспортного индекса (и категории груза), определения границы радиационно-опасной зоны, контроля радиационной обстановки на территории таможенного органа, определения потенциальной опасности выявляемых в ходе таможенного контроля радиационных объектов). О принципиальной возможности такого использования индивидуального дозиметра ДКГ-РМ1621 ранее указывалось его разработчиками [5].

2. Исследуемые дозиметры разрабатывались на основе требований к техническим характеристикам и методикам проведения их измерений, установленных стандартами и техническими условиями 30–40-летней давности, но еще действующих. Однако в последние годы появился ряд новых либо уточненных документов Международной электротехнической комиссии, которые учитывают современный уровень развития технологий, а также требования к безопасности и качеству. В этой связи, при оценке характеристик приборов потребитель сталкивается с проблемой, когда практически невозможно без проведения испытаний сравнить параметры интересующих приборов по причине того, что они либо не указаны в эксплуатационной документации, либо отсутствует методика их оценки.

Так, в соответствии с описаниями типа средств измерений [6], основными нормативными документами, устанавливающими требования к техническим характеристикам дозиметров ДКГ-РМ1203М, ДКГ-РМ1605, ДКС-АТ1123 и дозиметру-радиометру МКС-РМ1405, являются ГОСТ 27451-87 [7], ГОСТ 28271-89 [8] и технические условия на дозиметры.

Требования к индивидуальным дозиметрам гамма- и рентгеновского излучений ДКГ-РМ1621 и ДКГ-РМ1610 установлены ГОСТ 27451-87. Требования к номенклатуре показателей качества указанных приборов установлены ГОСТ 4.59-79 [9].

ГОСТ 27451-87 и ГОСТ 28271-89 не содержат требований к параметрам времени отклика прибора на изменение мощности дозы. В них имеются лишь требования к таким временным характеристикам (время установления рабочего режима, среднее время восстановления и время непрерывной работы), которые не могут в полной мере служить параметрами, влияющими на оперативность работы приборов. Однако согласно ГОСТ 27451-87, ГОСТ 29074-91 [10] технические требования, учитывающие особенности применения (эксплуатации) средств измерений на различных объектах, отличающиеся от требований, установленных стандартом, могут устанавливаться в нормативно-технической документации на средства измерений.

Анализ показывает, что в качестве характеристик, влияющих на оперативность работы приборов, приводятся:

- в российских стандартах – время реакции [11] или время установления показаний

измерителя после внезапного изменения измеряемой величины [8,12] (в современной оценке технических характеристик приборов дозиметрического контроля этот параметр остался лишь для характеристики медицинских дозиметров [13]);

- в эксплуатационной документации на дозиметры ДКГ-РМ1203М, ДКГ-РМ1621 и ДКС-АТ1123 – время срабатывания прибора при ступенчатом увеличении (уменьшении) мощности дозы (для ДКГ-РМ1605 и МКС-РМ1405 эти параметры в эксплуатационной документации отсутствуют);
- в стандартах МЭК [14] – время отклика.

По мнению авторов, все три характеристики в сущности близки между собой, имеют общий англоязычный термин (response time, step response time) [15], хотя методики их измерения различны.

Так, время установления показаний измерителя – время, необходимое для установления устойчивого показания с определенными отклонениями после внезапного изменения измеряемой величины [13].

Методика проведения испытаний дозиметров с целью определения этой характеристики, в соответствии с ГОСТ 25935-83 [16], кото-

рый распространяется на дозиметрические приборы, предназначенные в т. ч. для измерения мощности эквивалентной дозы фотонного излучения и устанавливает методы измерения основных параметров дозиметров, приведена в ГОСТ 17226-71 [12].

Согласно требованиям этого стандарта, время установления показаний измерителя τ должно быть таким, чтобы при изменении уровня мощности дозы показание измерителя достигло менее чем за 8 с следующей величины:

$$N_{\tau} = N + \frac{63}{100}(N_1 - N), \quad (1)$$

где N – начальное показание измерителя, N_1 – конечное показание измерителя.

В то же время, согласно стандарту Международной электротехнической комиссии МЭК 60846-1 [12], время отклика при измерении амбиентного или направленного эквивалента дозы/мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения определяется временем между первичным облучением детектора и достижением показаний 90% конечного измеряемого прибором значения мощности дозы. В соответствии с [12], при воздействии на измеритель мощности эквивалента дозы ступенчатого или медленного приращения или понижения менее чем через 10 с после воздействия конечной

мощности эквивалента дозы показание измерителя должно достичь значения:

$$G_i + 0,9(G_f - G_i), \quad (2)$$

где G_i – начальное показание и G_f – конечное показание соответственно.

(Период времени 10 с применяется для значений G_f , составляющих более 1 мкЗв/ч, но менее чем 10 мЗв/ч).

Требование МЭК 60846-1 распространяется на дозиметры, позволяющие измерять мощность амбиентного или направленного эквивалента дозы и предназначенные для контроля радиационной обстановки. Для индивидуальных дозиметров, в соответствии с МЭК 61526:2010 [17], время отклика при измерении эквивалентов индивидуальной дозы определяется по-другому: при воздействии на дозиметр ступенчатого повышения мощности эквивалента дозы прибор должен показывать значение с погрешностью менее чем $(-17 \div +25)\%$ верхнего значения мощности эквивалента дозы в течение 10 с после воздействия на дозиметр конечной мощности эквивалента дозы [18].

При исследованиях по измерению мощности эквивалента дозы авторы исходили из того, что при проведении таможенного контроля объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения одной из важных процедур, осу-

ществляемых должностными лицами таможенных органов, является измерение мощности дозы естественного радиационного фона. Для этого во всех исследуемых дозиметрах предусмотрена возможность измерения в течение определенного времени величины мощности дозы естественного фона гамма-излучения либо автоматически при включении прибора, либо, при необходимости, – по команде пользователя.

Поскольку процесс измерения ионизирующего излучения носит статистический характер, то в соответствии с требованиями ГОСТ 28271-89 [8], отклонение показаний радиометров и дозиметров от истинного значения измеряемой величины, вызываемые статистическими флуктуациями (коэффициент вариации), должны быть не более 20% (при доверительной вероятности 0,95).

Практически все исследуемые авторами дозиметры обеспечивают непрерывность процесса измерения и статистическую обработку результатов измерений и имеют на экране прибора функцию индикации коэффициента вариации, соответствующего статистической погрешности измерений. Исключение составляет дозиметр ДКГ-РМ1203М, у которого, согласно эксплуатационной

документации, при использовании режима запуска начала измерений статистическая погрешность не превышает 20%.

Вместе с тем, следует отметить, что и в ГОСТ 28271-89, и в основополагающем документе для всех видов средств измерений ионизирующего излучения ГОСТ 27451-87 предел допускаемой относительной основной погрешности установлен в 50%. Но, как справедливо было указано в [19], требования вышеуказанных документов в такой формулировке к допускаемой относительной основной погрешности не выполнимы. Стандарт [8] в этом вопросе, по мнению [20], ориентирован на изготовителя, а не на пользователя. А это еще раз подтверждает тезис [21], что выбор дозиметрического прибора, который бы отвечал всем требованиям потребителя, в нашем случае – таможенника, ориентируясь только на существующие стандарты, данные Росреестра и эксплуатационную документацию, без проведения испытаний – практически невыполнимая задача.

2. Исследование временных характеристик приборов дозиметрического контроля

Время отклика дозиметра

Время отклика дозиметров определялось в соответ-

ствии с МУ 2.6.5.008-2016 [4] и МУ 2.6.5.026-2016 [18]. Фоновое значение мощности дозы в месте проведения эксперимента составляло 0,1 мкЗв/ч, граница условно истинной величины мощности дозы 1 мкЗв/ч составляет 10-кратное превышение фонового значения мощности дозы и соответствует условию проведения метода испытаний согласно МУ 2.6.5.008-2016 и МУ 2.6.5.026-2016. В качестве источника излучения использовался образцовый контрольный источник на основе изотопа Cs-137.

Выбор в качестве верхнего значения мощности дозы величины, равной 1 мкЗв/ч, обусловлен, как отмечалось уже выше, тем, что по этому значению определяются границы зоны для проведения таможенного контроля объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения, осуществляемого в форме таможенного осмотра должностными лицами таможенных органов, не имеющих допуск к работе с источниками ионизирующего излучения.

Полученные результаты, представленные в табл. 1, показывают, что наименьшее время отклика из рассмотренных приборов имеет дозиметр ДКГ-АТ1123. В этом приборе в качестве детектора используется сцинтилляци-

онная пластмасса с добавками тяжелых металлов, высокая плотность и большой эффективный атомный номер которой определяют высокую эффективность и чувствительность детектора при регистрации фотонного излучения. Эффективность регистрации и чувствительность газонаполненных детекторов ионизационного типа, имеющих в остальных исследуемых приборах, значительно ниже сцинтилляционных. Тем не менее, для дозиметров ДКГ-РМ1203М (детектор – счетчик Гейгера-Мюллера СБМ-20), ДКГ-РМ1621 и дозиметра-радиометра МКС-РМ1405 (в обоих детекторы – счетчик Гейгера-Мюллера Бета-1) получены соответствующие и близкие к требованиям стандартов значения времени отклика.

Отличительной особенностью дозиметров ДКГ-РМ1203М, ДКГ-РМ1621 и дозиметра-радиометра МКС-РМ1405 является способность автоматического запуска начала измерений при резком изменении величины регистрируемой мощности дозы. При запуске начала измерений происходит автоматический сброс статистики набранных значений мощности дозы, в соответствии с которой прибор индицирует среднее значение величины мощности дозы и начинает

Табл.1. *Время отклика дозиметров.*

Модель дозиметра	Условие срабатывания модели	Время срабатывания по ТУ, с	Измеренное время отклика, с
ДКГ-PM1203M	увеличение МЭД в 10 раз	10	13 ± 3
ДКГ-PM1621	увеличение МЭД в 10 раз от начального низкого до установленного высокого значения, превышающего 10 мкЗв/ч	5	12 ± 2
	уменьшение МЭД в 10 раз от начального высокого до установленного низкого значения, превышающего 10 мкЗв/ч	10	–
ДКГ-PM1610	–	–	120 ± 13
ДКГ-PM1605	–	–	61 ± 13
МКС-PM1405	–	–	11 ± 3
ДКС-AT1123*	измерение мощности дозы 50 нЗв/ч	60	–
	измерение мощности дозы 0,3 мкЗв/ч	10	2,2 ± 0,6
	измерение мощности дозы 2 мкЗв/ч и более	2	–

*В качестве заявленных в эксплуатационной документации технических характеристик приводится время проведения измерений мощности дозы при достижении 20% статистической погрешности.

набирать новую статистику измеряемых значений, характерную исключительно для текущей точки его расположения. При проведении измерений время отклика фактически соответствует интервалу времени между началом облучения детектора и моментом времени сброса набранной статистики.

Стоит отметить, что измеренное значение времени отклика для дозиметра ДКГ-PM1621 в 2 раза превышает время срабатывания на резкое изменение мощности дозы, указанное в эксплуатационной документации на прибор. Возможно, это связано с тем, что условия, соответствующие заявленному в эксплуатационной документации времени срабатывания,

соответствуют диапазону измерения мощности дозы от 10 мкЗв/ч, а измерение времени отклика проводилось при значительно меньшем верхнем значении мощности дозы.

Несомненно, время отклика существенно зависит от величины верхнего значения мощности дозы. Очевидно, что с увеличением воздействующего на прибор значения мощности эквивалента дозы время отклика будет уменьшаться. Однако данный вопрос в представленной авторами работе подробно не исследовался.

Время отклика дозиметров ДКГ-PM1610 и ДКГ-PM1605 оказалось в несколько раз больше допустимых значений.

Дозиметры ДКГ-PM1605 и ДКГ-PM1610 тоже обладают способностью автома-

тического сброса набранной статистики. Но запуск измерений у этих приборов происходит с большой задержкой. Особенно это касается дозиметра ДКГ-PM1610. При скачкообразном изменении мощности дозы изменение статистики набираемых данных в ДКГ-PM1610 происходит постепенно. Поочередно в ячейки локальной памяти прибора, содержащие «пониженные» значения мощности дозы, записываются значения, соответствующие повышенному уровню излучения. Вследствие этого индицируемое значение мощности дозы растет постепенно, и лишь спустя 2 минуты происходит сброс набранной статистики, в результате чего показания прибора резко увеличивают-

ся и на экране индицируется значение мощности дозы, соответствующее требуемому диапазону верхнего значения мощности дозы, при котором определяется время отклика прибора. Отметим, что даже при увеличении верхнего значения мощности дозы до 8 мкЗв/ч предварительная оценка времени отклика для дозиметра ДКГ-PM1610 составила $30 \pm 4 \text{ с}$, что в три раза превышает регламентируемое значение времени отклика.

Высокое значение времени отклика для ДКГ-PM1610 можно объяснить тем, что проверка этого параметра осуществлялась при верхней границе H_p равной 1 мкЗв/ч , в то время, как МЭК 61526:2010, на который ссылается производитель на своем сайте [19], определяет верхнюю границу H_p равной 1 мЗв/ч .

Время установления показаний дозиметра

В соответствии с требованиями ГОСТ 25935-83, определение времени установления рабочего режима и времени установления показаний измерителя осуществляется по ГОСТ 17226-71 (в соответствии с формулой (1)) при выполнении технических условий согласно ГОСТ 27451-87.

Конечное значение мощности дозы в проведенных измерениях составляло

$1,32 \text{ мкЗв/ч}$ и определялось расположением дозиметров на определенном расстоянии от источника гамма-излучения Со-60. За начальное значение показаний дозиметра при возрастающей мощности дозы и за конечное значение показаний измерителя при уменьшающейся мощности дозы была взята величина естественного радиационного фона в помещении порядка $0,11 \text{ мкЗв/ч}$, значение которой не приводит к дополнительной погрешности измерений, превышающей основную неопределенность дозиметра для точки, в которой проводились измерения [12].

Для таких выбранных начальных и конечных значений при увеличении мощности дозы ее величина равна $0,87 \text{ мкЗв/ч}$, при уменьшении – $0,56 \text{ мкЗв/ч}$.

Измерения времени установления показаний измерителя проводились без использования режима запуска начала измерений. Дозиметры поочередно подвергались воздействию увеличенной (уменьшенной) мощности дозы. Это обусловлено, во-первых, тем, что методика проведения измерений не предполагает использование процедуры запуска измерений, а во-вторых, тем, что индивидуальный дозиметр предназначен, прежде всего, для ношения с целью предупреждения человека о вхожде-

нии в зону с высоким уровнем гамма-излучения. И от того, как быстро будет зафиксирован повышенный уровень гамма-излучения, зависит время нахождения человека в радиационно-опасной зоне. Результаты измерений времени установления показаний измерителя приведены в табл.2.

Согласно полученным данным, наименьшими значениями времени установления показаний измерителя обладают дозиметры ДКГ-PM1203M, ДКГ-PM1621 и дозиметр-радиометр МКС-PM1405. Для них получены практически одинаковые значения времени установления показаний измерителя, соответствующие требованиям [12], предъявляемым к измерителям мощности дозы. Для дозиметра ДКС-AT1123 полученные значения близки к требованиям ГОСТа. Для дозиметров ДКГ-PM1610 и ДКГ-PM1605 значения времени установления показаний оказались в несколько раз больше допустимых значений.

Полученные результаты можно объяснить тем, что дозиметры ДКГ-PM1203M, ДКГ-PM1621 и дозиметр-радиометр МКС-PM1405 способны автоматически осуществлять процедуру запуска начала измерений при резком изменении величины регистрируемой мощности дозы. При автоматическом сбросе

Табл.2. *Время установления показаний дозиметров.*

Модель дозиметра	Время установления показаний τ при увеличении мощности дозы, с	Время установления показаний τ при уменьшении мощности дозы, с
ДКГ-PM1203M	8,4	9,8
ДКГ-PM1621	11,4	7,2
ДКГ-PM1610	148,0	71,4
ДКГ-PM1605	42,6	27,0
МКС-PM1405	9,4	7,0
ДКС-AT1123	9,2	13,4

статистики набранных значений мощности дозы, в соответствии с которой прибор индицирует среднее значение величины мощности дозы и рассчитывает статистическую погрешность измерений, дозиметр показывает среднее значение мощности дозы, полученное на основе данных, характерных исключительно для текущей точки расположения прибора.

3. Исследования по измерению мощности амбиентного эквивалента дозы

Измерение мощности дозы естественного радиационного фона

При измерении мощности дозы естественного ради-

ационного фона в помещении фиксировалось время, в течение которого, начиная с момента запуска начала измерений, на приборе устанавливалась 20% погрешность. Результаты измерений приведены в табл.3.

Представленные в табл.3 результаты показывают, что при измерении мощности дозы естественного радиационного фона дозиметр ДКС-AT1123 достигает заданной погрешности за время менее 1 минуты, дозиметры ДКГ-PM1203M, ДКГ-PM1621 и дозиметр-радиометр МКС-PM1405 за время не более 5 мин, а дозиметры ДКГ-PM1610 и ДКГ-PM1605 за аномально большое время – почти до 30 мин.

Измерение мощности дозы техногенно измененного радиационного фона

Следующим после измерения естественного радиационного фона действием, которое осуществляют должностные лица таможенных органов в процессе таможенного контроля объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения с помощью дозиметров, является измерение мощности дозы излучения на поверхности и расстоянии 1 м от поверхности контролируемого объекта, т. е. измерение мощности дозы техногенно измененного радиационного фона. При этом необходимо, чтобы статистическая погрешность (коэффициент вариации), как и в случае с естественным ра-

Табл.3. *Время измерения мощности дозы естественного радиационного фона дозиметрами разных типов.*

Наименование дозиметра	Время достижения статистической погрешности измерений 20%, с					Среднее время измерений
	1	2	3	4	5	
ДКГ-PM1203M	160	174	178	198	147	170±20
ДКГ-PM1621	283	318	263	287	272	290±30
ДКГ-PM1610	620	584	588	593	517	580±50
ДКГ-PM1605	1734	1662	1484	1389	1823	1600±200
МКС-PM1405	296	304	337	285	303	310±20
ДКС-AT1123	28	22	16	15	16	19±7

Табл.4. Значения мощности дозы гамма-излучения в течение времени проведения измерений.

Наименование дозиметра	Время измерений, с										
	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Значения МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч										
ДКГ-PM1203М	0,33	0,48	0,53	0,54	0,54	0,55	0,53	0,55	0,56	0,55	0,55
ДКГ-PM1621	0,44	0,65	0,63	0,62	0,69	0,66	0,64	0,6	0,55	0,52	0,52
ДКГ-PM1610	0,34	0,32	0,41	0,45	0,53	0,6	0,57	0,57	0,63	0,66	0,67
ДКГ-PM1605	0,11	0,16	0,21	0,34	0,29	0,36	0,53	0,56	0,54	0,52	0,51
МКС-PM1405	0,3	0,44	0,55	0,54	0,53	0,51	0,52	0,52	0,53	0,56	0,54
ДКС-AT1123	0,42	0,49	0,54	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56

диационным фоном, не превышала 20%. Для достижения указанной погрешности, как уже указывалось, требуется определенное время. Причем, чем большее значение имеет измеряемая величина мощности дозы, тем меньше времени требуется прибору до достижения 20% статистической погрешности. В течение времени измерения показания приборов могут значительно колебаться, что может вызывать определенные вопросы у проводящих измерения лиц. Поэтому прежде всего представляет интерес то, как ведут себя показания приборов в процессе измерения техногенно измененного радиационного фона.

Для исследования процесса динамики отображения результатов измерения мощности дозы дозиметры поочередно располагались на определенном расстоянии от образцового спектрометрического гамма-источника Co-60, при котором значение мощности дозы гамма-излучения примерно в

пять раз превышало значение мощности дозы естественного радиационного фона. Для каждого прибора фиксировались показания через каждые 10 с измерений в интервале от 0 до 100 с. Измерения проводились с использованием режима запуска начала измерений. Результаты измерений представлены в табл.4.

Из табл.4 видно, что по истечении 60 с после начала измерений все приборы начинают показывать сопоставимые результаты. Однако статистическая погрешность результатов для дозиметров ДКГ-PM1610 и ДКГ-PM1605 по окончании времени проведения измерений составила 25% и 30% соответственно, а для остальных приборов требуемая 20% погрешность имела место спустя 30 с для дозиметра ДКГ-PM1203М, 50 с для ДКГ-PM1621 и 60 с для дозиметра-радиометра МКС-PM1405 после начала проведения измерений. Динамика значений мощности дозы для дозиметров,

имеющих газонаполненные ионизационные детекторы, проиллюстрирована на рис.1. Здесь выносками отмечены значения времени, при которых показания приборов (ДКГ-PM1203М, ДКГ-PM1621, МКС-PM1405) индицировалось с 20% погрешностью.

Весьма важным моментом при проведении измерений мощности дозы гамма-излучения в процессе таможенного контроля объектов с повышенным уровнем ионизирующего излучения является достоверность получаемых результатов. При этом источниками излучения могут являться как естественные, так и искусственные радиоактивные изотопы, испускающие гамма-кванты различной энергии.

В связи с этим представляет интерес анализ показаний приборов в зависимости от энергии регистрируемых гамма-квантов.

Для проведения необходимых измерений в качестве источников ионизирующего

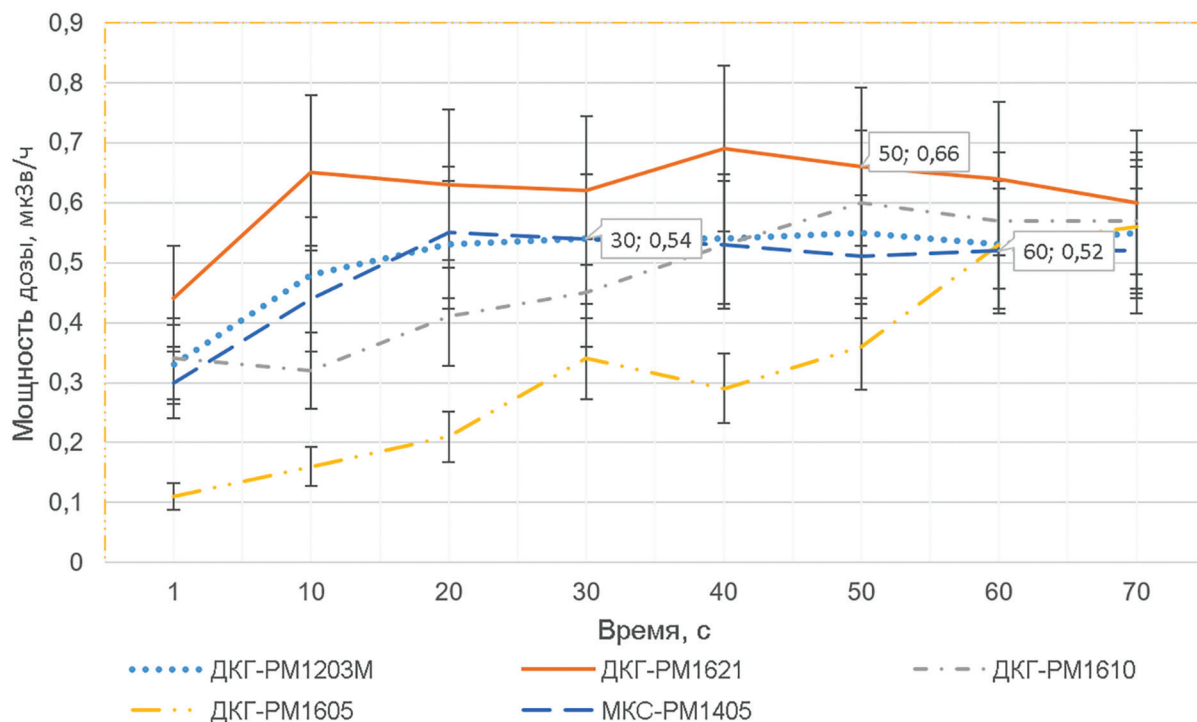


Рис.1. Зависимость значений мощности дозы гамма-излучения от длительности проведения измерений.

Табл.5. Значения мощности дозы естественного радиационного фона и мощности дозы гамма-излучения на поверхности источника ионизирующего излучения.

	Энергии гамма-излучения, кэВ	ДКГ-PM1203М	ДКГ-PM1621	ДКГ-PM1610	ДКГ-PM1605	МКС-PM1405	ДКС-AT1123	ИСП-PM1401К-01М
фон		0,11	0,09	0,12	0,07	0,11	0,08	0,08
Am-241	59,1	4,30	4,00	5,60	3,00	4,40	4,10	1,00
Cs-137	661,6	2,10	2,10	3,90	1,92	2,84	3,30	0,69
Co-60	1252,9	31,60	28,20	55,60	32,60	40,70	6,70	10,70
Eu-152	120 ÷ 1400	15,77	18,40	29,30	20,80	25,40	4,80	5,60
Ba-133	80 ÷ 380	35,60	69,20	63,40	54,10	60,40	20,40	11,40
Th-232	238 ÷ 2615	19,70	16,10	19,20	13,50	15,00	5,30	9,20

Табл.6. Значения мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности источника ионизирующего излучения.

	Энергии гамма-излучения, кэВ	ДКГ-PM1203М	ДКГ-PM1621	ДКГ-PM1610	ДКГ-PM1605	МКС-PM1405	ДКС-AT1123	ИСП-PM1401К-01М
Am-241	59,1	0,22	0,16	0,2	0,2	0,15	0,11	0,07
Cs-137	661,6	0,51	0,5	0,55	0,36	0,38	0,38	0,39
Co-60	1252,9	0,95	0,75	0,95	0,78	0,81	0,58	0,72
Eu-152	120 ÷ 1400	0,47	0,5	0,6	0,45	0,53	0,39	0,52
Ba-133	80 ÷ 380	1,15	1,5	1,13	1,25	1,35	1,17	1,43
Th-232	238 ÷ 2615	0,82	0,74	0,75	0,68	0,74	0,55	0,61

Табл.7. Оценка влияния расстояния эффективного центра от поверхности детектора на величину мощности дозы гамма-излучения на поверхности детектора и на расстоянии 0,1 м от поверхности источника ионизирующего излучения.

Прибор	R_0 , мм	K_0	K_{10}
PM1405	8,00	156,3	0,86
PM1610	8,70	132,1	0,85
PM1203M	9,00	123,5	0,84
AT1123	10,00	100,0	0,83
PM1401K-01M	11,90	70,6	0,80
PM1605	13,50	54,9	0,78
PM1621	15,00	44,4	0,76

R_0 – расстояние от поверхности детектора до эффективного центра;
 K_{10} – коэффициент ($1/r^2$) для расстояния R_0 ; K_0 – коэффициент ($1/r^2$) для расстояния $R_{10} = R_0 + 0,1$ м.

излучения использовались точечные источники гамма-излучения типа ОСГИ, имеющие как одиночные пики, так и широкий спектр испускаемого гамма-излучения. Измерения мощности дозы проводились в одинаковых для всех приборов внешних условиях, в соответствии с требованиями руководств по эксплуатации и с учетом расположения эффективных центров приборов. Полученные результаты представлены в табл. 5 и 6.

При проведении таможенного контроля объектов, имеющих повышенный уровень ионизирующего излучения, должностными лицами таможенных органов помимо дозиметров используются и измерители-сигнализаторы поисковые типа ИСП-PM1401K-01M, предназначенные для регистрации средней скорости счета гамма- и нейтронного излу-

чений с целью поиска (обнаружения и локализации) радиоактивных и ядерных материалов. Данный прибор является измерителем-сигнализатором и имеет режим измерения мощности дозы гамма-излучения. ИСП-PM1401K-01M имеет свидетельство об утверждении типа средств измерений и допущен к применению на территории Российской Федерации. Поэтому наряду с показаниями исследуемых приборов авторы сочли целесообразным привести в табл. 5 и 6 показания и измерителя-сигнализатора ИСП-PM1401K-01M.

Из представленных в табл. 5 и 6 данных можно сделать следующие выводы. Естественный радиационный фон гамма-излучения все приборы показывают одинаковый, в пределах погрешности измерений.

При измерениях на поверхности источника наблюдается сильный разброс (иногда на порядок) результатов измерения мощности дозы, который не укладывается в погрешности измерений.

Данный разброс значений можно объяснить тем, что расстояние от эффективного центра чувствительной области детектора до поверхности прибора у всех приборов различно, а мощность дозы H^* от точечного источника ионизирующего излучения уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния до него:

$$H^* \sim \frac{A}{r^2},$$

где A – активность источника излучения, r – расстояние от источника излучения до эффективного центра детектора. В табл.7 проиллюстрирована оценка влияния расстояния эффективного центра от поверхности детектора на величину мощности дозы гамма-излучения на поверхности детектора и на расстоянии 0,1 м от поверхности источника ионизирующего излучения.

При измерениях на расстоянии 0,1 м от поверхности источника ионизирующего излучения разброс результатов определения мощности дозы разными приборами становится меньше, место расположения эффективного центра детектора в приборе на резуль-

таты измерений фактически не оказывает влияния. При этом значение мощности дозы может в основном зависеть от характеристик типа используемого детектора и качества проведенного измерения.

В табл.7 наблюдаются близкие по величине значения мощности дозы для ДКГ-PM1621 и ИСП-PM1401К-01М практически для всех измеренных радионуклидов. Неплохое совпадение для всех исследованных приборов можно наблюдать для америция, цезия и европия, в то время как устойчивый разброс значений мощности дозы для ДКГ-PM1203 и ДКГ-PM1621 при измерении бария объяснить можно скорее всего различной энергетической чувствительностью детекторов, используемых в этих приборах.

Обращают на себя внимание неплохие результаты, полученные при помощи ИСП-PM1401К-01М. Это можно объяснить тем, что у измерителя-сигнализатора два гамма-детектора: сцинтилляционный на основе кристалла CsI(Tl) и газоразрядный ионизационный детектор (счетчик Гейгера-Мюллера). И здесь, по всей вероятности, кроме геометрического расположения детекторов, существенным является алгоритм обработки информации, поступающей с детекторов, и метод расчета значения мощности дозы.

Выводы

Приборы, определенные приказом ФТС России для обеспечения радиационной безопасности, теоретически должны применяться для контроля радиационной обстановки, в т. ч. для проведения ИДК, однако на практике приборы, имеющиеся в конкретных таможенных органах, применяются не по прямому назначению. В частности, индивидуальные дозиметры порой применяются как для измерения индивидуального эквивалента дозы и ее мощности, так и для измерения ambientного эквивалента дозы и ее мощности.

Перечень технических характеристик, приведенных в эксплуатационной документации на приборы, в т. ч. в описаниях средств измерений, не соответствует установленным стандартам, на которые ссылается производитель в своей техдокументации.

Проведенные исследования физических характеристик приборов, влияющих на оперативность и достоверность получаемых результатов о величине мощности дозы гамма-излучения, показали следующее.

1. Показатель оперативности по результатам измерения времени отклика, времени срабатывания приборов и мощности дозы естественного радиационного фона

наилучший у дозиметров ДКС-АТ1123, ДКГ-PM1203М, дозиметра-радиометра МКС-PM1405 и индивидуального дозиметра ДКГ-PM1621. Указанные приборы достаточно быстро реагируют на 10-кратное увеличение и уменьшение мощности дозы в пределах 1 мкЗв/ч.

Для индивидуального дозиметра ДКГ-PM1610 и дозиметра ДКГ-PM1605 показатели оперативности значительно ниже. В частности, при измерении мощности дозы естественного радиационного фона для получения результата измерений с приемлемой 20% статистической погрешностью дозиметром ДКГ-PM1610 необходимо затратить вдвое больше времени (около 10 минут), чем при применении индивидуального дозиметра ДКГ-PM1621, а дозиметр ДКГ-PM1605 при аналогичной оценке проигрывает даже дозиметру ДКГ-PM1610, у которого необходимое время на аналогичные измерения составляет 25 минут.

2. Исследования на достоверность получаемых значений мощности дозы естественного и техногенно-измененного радиационного фона показали ряд интересных результатов:

а) в случае проведения измерений радиационного фона все приборы показали прак-

тически одинаковое значение мощности дозы;

б) при измерении на поверхности точечного источника ионизирующего излучения наблюдается сильный разброс (иногда на порядок) результатов измерения мощности дозы, который не укладывается в погрешности измерений и объясняется расположением эффективных центров детекторов;

с) результаты измерения мощности дозы на расстоянии 0,1 м свидетельствуют о том, что все приборы, как и в случае измерения радиационного фона, показывают близкие значения, хотя есть и отклонения, которые можно объяснить энергетической зависимостью чувствительности используемых в приборах детекторов; в дальнейшем необходимо более детально исследовать этот вопрос.

3. Общая оценка исследуемых приборов такова:

а) Применяемые в настоящее время в таможенных органах Российской Федерации дозиметры ДКГ-PM1203M, ДКС-AT1123, индивидуальный дозиметр ДКГ-1621 и измеритель-сигнализатор ИСП-PM1401К-01M полностью отвечают требованиям, предъявляемым должностными лицами таможенных органов к приборам дозиметрического контроля при проведении радиационно-

го контроля в отношении товаров, транспортных средств и иных объектов, перемещаемых через таможенную границу Евразийского экономического союза на ее российском участке.

б) Технические характеристики дозиметра-радиометра МКС-PM1405 не уступают, а в некоторых случаях даже превосходят технические характеристики дозиметра ДКГ-PM1621. К тому же при наличии таких дополнительных функциональных возможностей МКС-PM1405, как измерение плотности потока бета-частиц и наличие поискового режима, прибор после более детального исследования всех его характеристик можно рекомендовать для применения в таможенных органах Российской Федерации.

с) Несмотря на то, что индивидуальный дозиметр ДКГ-PM1610 позволяет измерять мощность дозы как непрерывного, так и импульсного гамма- и рентгеновского излучения длительностью более 1 мс, и имеет, на первый взгляд, ряд преимуществ по сравнению с другими дозиметрами, проведенные исследования технических характеристик прибора ставят под сомнение целесообразность его использования в таможенных органах для целей проведения радиацион-

ного контроля. Вместе с тем, нельзя не отметить, что в настоящее время индивидуальный дозиметр ДКГ-PM1610 выпускается в шести модификациях: ДКГ-PM1610, ДКГ-PM1610-01, ДКГ-PM1610A, ДКГ-PM1610A-01, ДКГ-PM1610B, ДКГ-PM1610B-01, отличающихся друг от друга пределами допускаемой основной относительной погрешности измерений, диапазоном измерения мощности дозы, элементами питания и наличием/отсутствием канала передачи данных в соответствии со стандартом ISO15693. Как правило, любые модификации представляют собой более совершенные модели первоначально выпущенного прибора, в которые внесены ряд усовершенствований и изменений, например, расширен диапазон регистрируемых энергий, диапазон измеряемой величины, изменен алгоритм обработки сигналов и т. п., исправлены ошибки и недочеты, выявленные при эксплуатации предыдущей модели. В связи с этим, для объективной оценки технических характеристик индивидуального дозиметра типа ДКГ-PM1610 целесообразно провести исследование всех приборов выпускаемого модельного ряда дозиметра ДКГ-PM1610.

d) У дозиметра ДКГ-PM1605 целый набор положительных характеристик: широкий диапазон измеряемой величины мощности дозы гамма- и рентгеновского излучений; имеется возможность запуска начала измерений; приспособлен к функционированию в неблагоприятных условиях эксплуатации; металлический корпус дозиметра устойчив к воздействию высоких (до 100 °С) температур и морской воды; имеется режим «Поиск» источников гамма- и рентгеновского излучений. Это, на первый взгляд, открывает широкие перспективы его применения в таможенных органах РФ. Однако исследование технических характеристик прибора и сравнение его функциональных возможностей с другими дозиметрами показали, что в оперативности получения результатов измерения мощности дозы дозиметр ДКГ-PM1605 проигрывает даже индивидуальному дозиметру ДКГ-PM1610.

e) Использование универсальных дозиметров рентгеновского и гамма-излучений типа ДКС-АТ1123, имеющих сцинтилляционные детекторы, обладающие более высокой, по сравнению с газонаполненными ионизационными детекторами, эффективностью регистрации и чувствительностью к гамма-излучению, и, как следствием, малым вре-

менем отклика на скачкообразное изменение мощности дозы, может быть оптимальным при измерении мощности дозы в случаях, когда не требуется проводить измерения на поверхности точечных источников, а регистрируемое излучение имеет небольшую длительность и является кратковременным (или импульсным). Дозиметры, имеющие газонаполненные детекторы ионизационного типа, по техническим характеристикам им конкуренцию составить не могут. Однако при измерении мощности дозы непрерывного гамма- и рентгеновского излучений, без потери достоверности результатов измерений, с точки зрения финансовых затрат предпочтительней пользоваться дозиметрами с газонаполненными детекторами ионизационного типа.

f) Измеритель-сигнализатор поисковый ИСП-PM1401К-01М имеет два детектора (газонаполненный и сцинтилляционный) и в случае использования его при измерении мощности дозы на поверхности точечного источника дает показания, сравнимые с исследованными дозиметрами. Однако при измерении мощности дозы у прибора отсутствует индикация коэффициента вариации, который определяет статистическую погрешность проведения измерений. Для учета требований

ГОСТ 28271-89 [10] статистическую погрешность следует вычислять по серии как минимум пяти измерений в одной точке и следить за тем, чтобы рассчитанное значение не превышало 20%. Получение истинного среднего значения величины мощности дозы с помощью измерителя сигнализатора ИСП-PM1401К-01М не соответствует требованию оперативности проведения радиационного контроля в условиях жестких временных ограничений на его проведение.

Режим измерения мощности дозы в этом приборе можно использовать для однократного измерения мощности дозы с целью оперативной оценки радиационной обстановки, а также для определения границы зоны ограничения доступа в случае проведения радиационного контроля объектов, у которых мощность дозы гамма-излучения превышает 1 мкЗв/ч.

Проводить измерения мощности дозы гамма-излучения с помощью ИСП-PM1401К-01М и записывать полученные результаты в протоколы измерений и акты осмотра/досмотра можно только при условии отсутствия технических средств дозиметрического контроля.

4. В заключении хотелось бы отметить следующее:

1) Проблема выбора технических средств радиаци-

онного контроля для задач, связанных с пресечением незаконного перемещения через таможенную границу делящихся и радиоактивных материалов, имеет ряд важных особенностей, обусловленных требованиями к техническим характеристикам приборов и стандартами, которые применяются при проектировании и тестовых испытаниях. Эти особенности были выявлены в ходе многочисленных тестовых испытаний приборов радиационного контроля, проводимых в России, государствах ЕС, США, МАГАТЭ [23], а также в рамках специальных международных программ испытаний ITRAP [24] и ITRAP10+ [25], в которых принимали участие российские (НПЦ «Аспект») и белорусские («Полимастер», «Атомтех») производители. Результаты испытаний нашли свое отражение в рекомендациях Международного агентства по атомной энергии [26,27], а производители приборов радиационного контроля, а также Международная организация по стандартизации, Международная

электротехническая комиссия, Институт инженеров электротехники и электроники и Американский национальный институт стандартов учли эти результаты при создании новых приборов и разработке стандартов. При этом следует сказать, что тестовые испытания проводились главным образом в отношении приборов, предназначенных для поиска и обнаружения источников излучения, в то время как индивидуальные и инспекционные дозиметры оставались вне тестовых процедур.

2) К сожалению, международный опыт не в полной мере учитывается отечественными производителями приборов радиационного контроля и разработчиками стандартов. Проведенный мониторинг отечественного рынка приборов радиационного контроля, которые могли бы быть применимы для решения задач по пресечению незаконного перемещения ядерных и других радиоактивных материалов через границу, а также нормативных правовых документов, устанавливающих технические требования

к указанным приборам, показал, что в этом направлении еще много работы. Этот же вывод относится и к методам их испытаний и методам измерения параметров, требованиям к объему контроля и правилам метрологического обеспечения радиационных измерений. В связи с этим, учитывая серьезность проблемы, возросшую потребность в указанных технических средствах со стороны не только таможенных органов, но и других выполняющих функции предотвращения террористических актов государственных органов и частных структур (МВД, ФСБ, ГО и ЧС, Росгвардия, частных охранных предприятий, военизированных структур госкорпораций и т. п.), по этому вопросу полезно было бы провести широкое обсуждение как в научных публикациях, так и на специально организованных семинарах/конференциях с участием разработчиков, производителей, заказчиков и потребителей научно-технической и нормативно-правовой продукции.

Литература

1. **Об утверждении Инструкции о действиях должностных лиц таможенных органов, осуществляющих таможенный контроль делящихся и радиоактивных материалов: приказ ГТК России от 04.02.2004 №154 // URL: БД КонсультантПлюс.**
2. **Об утверждении перечня и порядка применения технических средств таможенного контроля в таможенных органах Российской Федерации: приказ ФТС России от 21.12.2010 г. №2509 // URL: БД КонсультантПлюс.**

3. О применении санитарных мер в таможенном союзе: решение Комиссии Таможенного союза. От 28.05.2010 №299 // URL: БД КонсультантПлюс.
4. МУ 2.6.5.008-2016. Контроль радиационной обстановки. Общие требования // URL: БД КонсультантПлюс.
5. Высоцкий К.С., Зарецкий М.Е., Коваленко В.П., Колупаев А.А., Ставров А.И. Дозиметры семейства РМ1621: новые возможности персональной дозиметрии // URL: www.ntcexpert.ru/documents/dosimetri_semejstva_rm1621.doc (дата обращения 23.10.2017.)
6. Сведения об утвержденных типах средств измерений: Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений // URL: http://www.fundmetrology.ru/10_tipy_si/11/7list.aspx (дата обращения 23.10.2017).
7. ГОСТ 27451-87. Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия // URL: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost38815.html> (дата обращения 18.10.2017).
8. ГОСТ 28271-89. Приборы радиометрические и дозиметрические носимые. Общие технические требования и методы испытаний // URL: <http://vsegest.com/Catalog/33/3308.shtml> (дата обращения 18.10.2017).
9. ГОСТ 4.59-79 СПКП. Средства измерений ионизирующих излучений. Номенклатура показателей // URL: https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_4.59-79 (дата обращения 18.10.2017).
10. ГОСТ 29074-91. Аппаратура контроля радиационной обстановки. Технические требования // URL: https://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_29074-91 (дата обращения 18.10.2017).
11. ГОСТ 8.009-84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерения // URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004505> (дата обращения 18.10.2017).
12. ГОСТ 17226-71. Измерители мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений с энергией квантов от 8 до 480 фДж. Технические требования и методы испытаний // URL: <http://vsegest.com/Catalog/42/42429.shtml> (дата обращения 18.10.2017).
13. МЭК 60731:2011 Medical electrical equipment – Dosimeters with ionization chambers as used radiotherapy // URL: <https://webstore.iec.ch/publication/3153> (дата обращения 18.10.2017).
14. МЭК 60846-1, 2009-04. Приборы радиационной защиты – Измерители и/или мониторы (мощности) амбиентного и/или направленного эквивалента дозы бета-, рентгеновского и гамма-излучения. Часть 1: Портативные приборы для контроля рабочих мест и окружающей среды. // URL: <http://www.standards.ru/document/4204947.aspx> (дата обращения 18.10.2017).
15. Международный словарь по метрологии – Основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д.И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. СПб.: НПО «Профессионал», 2010. 84 с.
16. ГОСТ 25935-83. Приборы дозиметрические. Методы измерения основных параметров // URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-25935-83> (дата обращения 18.10.2017).
17. МЭК 61526:2010. Приборы радиационной защиты – Измерение эквивалентов индивидуальной дозы Нр(10) и Нр(0,07) для X-, гамма-, нейтронного и бета-излучения – Индивидуальные дозиметры с непосредственной индикацией показаний эквивалента дозы // URL: <https://webstore.iec.ch/publication/5540> (дата обращения 18.10.2017).
18. МУ 2.6.5.026-2016. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения // URL: <http://docs.cntd.ru/document/456023325> (дата обращения 23.10.2017).
19. Мартынюк Ю.Н., Нурлыбаев К. Погрешность или неопределенность в дозиметрии // URL: http://www.lsrn.ru/files...ili_neopredelennost_v_dozimetrii.pdf (дата обращения 23.10.2017).
20. Гаврилов Б.М., Елизаров О.В., Мекеня О.М., Нурлыбаев К. Метрологические характеристики дозиметра. Что это такое? // АНРИ. 2016, №4(87). С. 7-12.

21. К. Нурлыбаев. Государственный реестр средств измерений РФ: приборы радиационного контроля. Часть 2. Носимые радиометры-дозиметры // АНРИ. 2007, №4(51). С. 2-8.
22. Дозиметр индивидуальный рентгеновского и гамма-излучения ДКГ-PM1610B/В-01. // URL: http://www.polimaster.ru/products/electronic_ http://www.polimaster.ru/products/electronic_dosimeters/pm1610b_b-01 (дата обращения 18.10.2017).
23. Borisenko A.V., Kustov V.N., Eliseenko L.G., Temchenko V.V., Alehina O.G., Semerkov B.A., Kravchenko N.E., Bannyh I.N., Danko D.J. «Development of Methodical Recommendations on Detection of FRM in Objects of the Customs Control Using Stationary Customs System of Detection of FRM «Yantar», Search Instruments PM1703M, PM1703GN, PM1401GN and Universal Radiometers-Spectrometers MKS-A03 and IdentIFINDER-NGH. Improvement of Technical Measures to Detect and Respond to Illicit Trafficking of Nuclear and Radioactive Materials». IAEA-TECDOC-1596-CD. Results of a Coordinated Research Project 2003–2006. IAEA, Vienna, 2008. P. 316–342. // URL: www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1596_CD/PDF/TE_1596.pdf (дата обращения 08.10.2017).
24. ITRAP. Final Report. Illicit trafficking radiation detection assessment program // URL: <http://tsasystems.topnotchadvertising.com/library/reports/itrapfinreport.pdf> (дата обращения 08.12.2016).
25. Illicit Trafficking Radiation Assessment Program (ITRAP+10) Test campaign summary report // URL: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/illicit-trafficking-radiation-assessment-program-itrap10-test-campaign-summary-report> (дата обращения 23.10.2017).
26. Обнаружение радиоактивных материалов на границе. IAEA-TECDOC-1312R. IAEA.ORG: Официальный сайт Международного агентства по атомной энергии. // URL: www-ub.iaea.org/IAEA/Publications/PDF/te_1312r_web.pdf (дата обращения 18.10.2017).
27. Technical and Functional Specifications for Border Radiation Monitoring Equipment, Technical Guidance. IAEA Nuclear Security Series No. 1. IAEA: Vienna, 2006. // URL: www.pub.iaea.org (дата обращения 18.10.2017).

The Impact of Radiation Monitoring Instruments Specifications on Effectiveness of Measures in Combating Illicit Trafficking in Radioactive Materials Across the EEU Customs Border. Part 1. Dosimetry Devices

Borisenko Aleksandr, Chubov Yuri, Kustov Vladimir, Temchenko Valeriy, Belov Yuri
(Vladivostok brunch of the Russian Customs Academy, Vladivostok, Russia)

Abstract. Based on the requirements specified in national and international standards and regulations in force of the Russian Federation, the authors study the basic technical specifications of both dosimeters currently available for the customs authorities of the Russian Federation and a few new ones promising for operation, which have an impact on effectiveness of measures in combating illicit trafficking in fissionable and radioactive materials, goods and objects with high level of ionizing radiation.

Key words:

customs control of fissionable and radioactive materials, radiation monitoring instruments, technical and operational specifications of dosimeters.

А.В.Борисенко (к.хим.н., нач.уч.центра), Ю.В.Чубов (к.ф.-м.н., в.н.с.), В.Н.Кустов (к.ф.-м.н., в.н.с.), В.В.Темченко (к.ф.-м.н., в.н.с.), Ю.А.Белов (асп.)

– Владивостокский филиал Российской таможенной академии, г. Владивосток.

Контакты: тел.: +7 (423) 263-67-11; e-mail: borisenko2@mail.ru.