

Сравнительный анализ международных и российских стандартов, охватывающих приборы радиационной защиты

В статье дана краткая информация об организациях, областью деятельности которых является разработка международных стандартов. На конкретных примерах показано преимущество подхода к стандартизации приборов радиационной защиты, существующего в международных стандартах МЭК и ИСО, по сравнению с подходом в российских национальных стандартах и стандартах организации. Сравнение осуществляется по трем аспектам: терминология; требования к техническим характеристикам; взаимосвязь между этими требованиями, соответствующими методами испытаний и критериями прохождения испытаний.

Ключевые слова:

международные стандарты, международная электротехническая комиссия, международная организация по стандартизации, технический комитет 45 «Ядерное приборостроение», ПК 45В «Приборы радиационной защиты», разработка стандартов, термины и определения.

С.А.Шумов

(АО «ВНИИАЭС», г. Москва)

К.Нурлыбаев, Н.В.Цой

(ООО НПП «Доза», г. Зеленоград)

Роль международной стандартизации в мировом развитии

Международная стандартизация положительно влияет на различные сферы мировой экономики. Международные стандарты устанавливают определенный, достаточно высокий, уровень требований, на который могут полагаться поставщики различных товаров и услуг. Также они обеспечивают технологическую совместимость различных производителей. Это повышает конкурентоспособность и, в конечном счете, качество этих товаров и услуг, а для потребителей обеспечивается широкий выбор предложений и выгодные условия поставок, связанные с конкуренцией среди поставщиков.

Для национальных органов международные стандарты предоставляют технические основы для разработки норм, правил и инструкций по обеспечению безопасности, сохранению здоровья населения и охраны окружающей среды.

Другими словами, международные стандарты – это база знаний о современных требованиях мировой экономики, которые

регулируют развитие и использование научно-технических достижений и условия контрактных взаимоотношений во внешнеэкономической деятельности.

В мире существуют две крупнейшие организации, разрабатывающие широкий спектр международных стандартов. Одна из них – Международная электротехническая комиссия (МЭК), которая разрабатывает и публикует международные стандарты в области электротехники и электроники, а также в смежных областях. Стандартизацией в других областях занимается Международная организация по стандартизации (ИСО). Поскольку приборы для радиационной защиты включают в себя электронные узлы, стандарты МЭК для этих приборов представляют наибольшую важность.

Одним из ведущих технических комитетов МЭК является Технический комитет 45 «Ядерное приборостроение». В настоящее время сфера деятельности комитета охватывает функции, системы и оборудование, способствующие эффективному и безопасному для человека использованию ядерных и радиационных технологий. Такие функции, системы и оборудование могут применяться в ядерной энергетике (АЭС), в производстве ядерного топлива, при коммерческом использовании ионизирующих излучений в различных отраслях промышленности, а также при защите от ионизирующих излучений человека и окружающей среды. В состав комитета входят два подкомитета: ПК 45А «Контроль, управление и электроснабжение на ядерных объектах» и ПК 45В «Приборы радиационной защиты».

В составе ИСО работает Технический комитет ТК 85 «Ядерная энергия, ядерные технологии и радиологическая защита», широко известны стандарты ИСО по метрологии ионизирующих излучений: ИСО-4037 [1] (фотоны); ИСО-6980 [2] (бета); ИСО-8529 [3] и ИСО-12789 [4] (нейтроны).

Сферы интересов МЭК и ИСО тесно переплетаются как в организационном, так и в техническом отношении, что в значительной степени способствует целостности и гармонизации разрабатываемых ими стандартов. В качестве примера можно указать на то, что стандарты на индивидуальные дозиметры [5,6] разработаны МЭК, в то время как стандарты на индивидуальный дозиметр нейтронов [7] и эталонные поля излучения разработаны ИСО [1-4]; аналогично стандарты на мониторы радиоактивных аэрозолей, газов, йода и трития в выбросах [8] разработаны МЭК, а стандарт на отбор проб радиоактивности из венттруб разработан ИСО [9].

Целями стандартов являются установление:

- требований к общим характеристикам, функциям и рабочим характеристикам изделий;
- методов испытаний, которые должны использоваться для оценки соответствия изделий требованиям стандарта.

Для формулировки требований к функциям и характеристикам изделий необходимо иметь набор терминов с определениями, описывающими функции изделия, а также характеристики изделия, необходимые для выполнения его назначения.

Терминология

Терминология играет важнейшую роль в стандартизации, так как от выбора терминов и качества их определений во многом зависит качество стандартов. Ниже сравниваются термины и определения из следующих международных и российских документов:

- МЭК 60846-1, 2009-04. Приборы радиационной защиты. Средства измерения амбиентного и/или направленного эквивалента дозы (мощности) бета-, рентгеновского и гамма-излучения. Часть 1. Переносные средства измерения для мониторинга рабочих мест и окружающей среды [10];

- МЭК 61005, 2014-07. Приборы радиационной защиты. Средства измерения эквивалента амбиентной дозы (мощности дозы) нейтронов [11];
- МЭК 61526, 2010-07. Приборы радиационной защиты. Измерение индивидуальных эквивалентов доз $H_p(10)$ и $H_p(0,07)$ рентгеновского, гамма-, нейтронного и бета-излучений. Прямопоказывающие средства измерения индивидуальных эквивалентов доз [5];
- *VIM ISO/IEC GUIDE 99:2007(E/R)*. Международный словарь по метрологии (*VIM*). Основные и общие понятия и соответствующие термины [12];
- РМГ 29-2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения [13];
- ГОСТ 28271-89. Приборы радиометрические и дозиметрические носимые. Общие технические требования и методы испытаний [14].

В связи с интересом к взаимосвязи между советскими, российскими и международными стандартами будут рассмотрены также термины и определения из ГОСТ 16263-70 [15], в настоящее время замененного Рекомендациями по метрологии РМГ 29-2013 [13].

Рекомендации по межгосударственной стандартизации являются предстандартом. Такой тип присваивается документам в тех случаях, когда количество и качество материалов, собранных в них, не дотягивают до полного стандарта, но в то же время эти материалы могут быть полезными для специалистов в той или иной области.

В качестве примечания необходимо отметить, что недостаточно просто наличия термина в стандартах по терминологии типа РМГ 29-2013; термин должен быть рабочим, то есть в стандартах на средства измерений, таких как ГОСТ 28271-89, должны предъявляться требования к характеристике, обозначенной данным термином, а также должен быть приведен метод испытаний на соответствие данным требованиям. Далее мы будем сравнивать и обсуждать термины и определения из вышеупомянутых документов, давая при необходимости комментарии.

Измеряемая величина

Табл.1.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Измеряемая величина	Измеряемая величина: поглощенная, экспозиционная, эквивалентная (мощность) доза. ГОСТ 28271-89 [15]	Измеряемая величина: амбиентный, направленный, индивидуальный эквивалент (мощность) дозы. Публикация 74 МКРЗ [16], Доклад 57 МКРЕ [17]

В 1996 году Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) выпустила публикацию 74 [16], а в 1998 году Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) выпустила доклад 57 [17]. Эти документы ввели в дозиметрию операционные величины: амбиентный, направленный, индивидуальный эквивалент (мощность) дозы. Операционные величины являются измеряемыми величинами и используются для оценки неизмеряемых нормируемых величин: эффективной дозы и эквивалентных доз в отдельных органах и тканях (табл.1).

В дозиметрии с целью радиационной защиты с введением операционных величин – эквивалентов доз – не измеряются следующие величины: поглощенная, экспозиционная и эквивалентная доза.

Диапазон измерений, эффективный диапазон измерения

Табл.2.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Диапазон измерений	<p>Диапазон измерений; рабочий диапазон (measuring interval, working interval) – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанной инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.</p> <p><i>Примечания.</i> 1. В некоторых областях используют термин «измерительный интервал» или «интервал измерений». 2. Нижнюю границу диапазона измерений не следует путать с пределом обнаружения.</p> <p>РМГ 29-2013 [13]</p>	<p>Эффективный диапазон измерения (effective range of measurement) – диапазон значений измеряемой величины, в котором характеристики прибора удовлетворяют требованиям соответствующего стандарта.</p> <p>IEC 61526 [5]</p>

Российское определение термина довольно скудное, с непонятно где и кем «указанной» инструментальной неопределенностью, где и кем «указанными» показателями точности, при каких-то «определенных» условиях (табл.2). Возможно, на все эти вопросы есть ответы, которые приведены в другом месте РМГ 29-2013 или в другом документе, но хотелось бы, чтобы определение такой важной характеристики средства измерений было максимально полным и однозначным.

Международное определение эффективного диапазона измерения полное, и понятно, как его проверять: нижний предел «эффективного диапазона измерения» проверяется выполнением требования к «коэффициенту вариации» («статистической флуктуацией показаний»), а верхний предел – требованием к «нелинейности показаний». Определения «коэффициента вариации» и «нелинейности», взятые из учебников и международных стандартов МЭК, приведены в табл. 3 и 4.

Табл.3.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Коэффициент вариации	<p>Коэффициент вариации (coefficient of variation) – отношение стандартного отклонения s к значению среднего арифметического \bar{x} для n измерений x_i согласно следующей формуле:</p> $v = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ <p>Учебник по математической статистике</p>	<p>Коэффициент вариации (coefficient of variation) – отношение стандартного отклонения s к значению среднего арифметического \bar{x} для n измерений x_i согласно следующей формуле:</p> $v = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ <p>Учебник по математической статистике</p>

«Коэффициент вариации» указывает на разброс показаний прибора вокруг среднего значения; как видим, российское и международное определения полностью совпадают.

Табл.4.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Нелинейность	Нет	<p>Нелинейность (non-linearity): изменение (относительного) отклика в зависимости от значения измеряемой величины.</p> <p>МЭК 60846-1 [10]</p>

«Нелинейность» характеризует отклонение зависимости между показанием и измеряемой величиной от линейного характера, обусловленное «мертвым временем» детектора средства измерений.

Областью применения стандарта МЭК IEC 60846-1 [10] являются переносные дозиметры фотонного и бета-излучений. В пункте 8.7.2 стандарта указано, что «... изменение относительного отклика к (мощности) дозе, обусловленное нелинейностью, должно находиться в диапазоне от -15% до $+22\%$ во всем эффективном диапазоне измерений».

Также в Таблице 6 данного стандарта «Характеристики измерителей (мощности) амбиентного эквивалента дозы» выражено следующее требование к коэффициенту вариации y : для $\dot{H} = \dot{H}_0$ $y = 15\%$; для $\dot{H}_0 < \dot{H} < 11 \dot{H}_0$ $y = (16 - \dot{H} / \dot{H}_0)\%$; для $\dot{H} \geq 11 \dot{H}_0$ $y = 5\%$, где \dot{H}_0 – нижний предел диапазона измерений мощности эквивалента дозы».

Стандарт МЭК IEC 61526 [5] распространяется на индивидуальные электронные дозиметры, то есть измеряемой величиной дозиметров является доза излучения. В пункте 9.3.2 указано требование о том, что «статистические флуктуации показания, измеряемые как коэффициент вариации, должны удовлетворять требованиям, данным в Таблицах 4–6».

Там же приведено требование к дозиметру о том, что изменение его относительного отклика, обусловленное непостоянством отклика к дозе, должно находиться в диапазоне от -17% до 25% во всем эффективном диапазоне измерений для эталонных рентгеновского, гамма-, нейтронного и бета-излучений.

Указанное изменение значения относительного отклика, обусловленное непостоянством отклика к дозе, от -17% до $+25\%$ означает изменение показаний прибора от -20% до $+20\%$, то есть от 0,8 до 1,2 от показания при постоянном отклике к дозе. Таким образом, при одном и том же принятом значении измеряемой величины изменение относительного отклика, обусловленное влияющей величиной, в данном случае нелинейностью отклика, будет в пределах от $1/0,8 = 1,25$ до $1/1,2 = 0,83$, то есть от -17% до $+25\%$.

Также далее, когда написано изменение относительного отклика от -29% до $+67\%$, имеется в виду изменение показаний прибора от -40% до $+40\%$.

Значение величины, отклик, коэффициент преобразования измерительного преобразователя

Табл. 5.

Термин	Определение	
	Российское	Международное
Принятое значение (величины)	<p>Принятое значение (величины) (conventional quantity value, conventional value of a quantity, conventional value): значение величины, по соглашению приписанное величине для данной цели. <i>Примечания.</i> 1. Иногда принятое значение величины является оценкой истинного значения величины. 2. Неопределенность измерений, связанная с принятым значением, часто достаточно мала и может быть принята равной нулю для конкретной цели. В этом случае используют понятие «действительное значение величины». РМГ 29-2013 [13]</p>	<p>Принятое значение (величины) (conventional quantity value, conventional value of a quantity, conventional value): значение величины, по соглашению приписанное величине для данной цели. <i>Примечания.</i> 1. Для этого понятия иногда используется термин «условное истинное значение величины», но его использование нежелательно. 2. Иногда принятое значение величины является оценкой истинного значения величины. 3. Принятое значение величины обычно связывают с соответствующей малой неопределенностью измерений, которая может быть равной нулю. VIM [12]</p>

Словосочетание «значение величины» фигурирует в разных терминах по метрологии, например, «истинное значение величины», «условное истинное значение величины», «опорное значение величины», «измеренное значение величины», «номинальное значение величины» (табл.5).

Термин «принятое значение (величины)» используется в случаях, когда нужно обозначить соотношение между величинами, и в этих случаях не важны ни неопределенность значения величины, ни его погрешность, а важны лишь смысл соотношения и название величины.

Табл.6.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Отклик	<p>Коэффициент преобразования измерительного преобразователя: отношение сигнала на выходе измерительного преобразователя, отображающего измеряемую величину, к вызывающему его сигналу на входе преобразователя.</p> <p>ГОСТ 16263-70 [15]</p>	<p>Отклик R (response R): отношение, при заданных условиях определяемое соотношением: $R = G/H'$, где G – отображаемое значение величины, измеренной испытываемым(ой) оборудованием или сборкой (дозиметром); H' – принятое значение этой величины.</p> <p>IEC 60846-1 [10]</p>

Странно, что такая простая и нужная характеристика как отклик (табл.6) не используется в дозиметрической практике в России. Думается, это связано с применением понятий «погрешности» и «неопределенности». В международных стандартах для указания зависимости показаний прибора от влияющей величины используется «изменение относительного отклика», а в российских стандартах «предел допускаемой дополнительной погрешности».

Определение термина «коэффициент преобразования измерительного преобразователя» из советского ГОСТа совпадает с определением термина «отклик», но при этом определения терминов «отклик», «эталонный отклик» и «относительный отклик» отсутствуют в российских стандартах, и сами термины не используются в российской дозиметрической практике. Для расчета «относительного отклика» нам нужна такая характеристика как «эталонный отклик» (табл.7).

Табл.7.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Эталонный отклик	Нет	<p>Эталонный отклик R_0 (reference response R_0): отклик на эталонное значение $H_{r,0}$ величины, измеряемой в нормальных условиях: $R_0 = G_{r,0} / H_{r,0}$, где $G_{r,0}$ – соответствующее отображаемое значение. <i>Примечание. Эталонный отклик является обратной величиной эталонного калибровочного коэффициента.</i></p> <p>IEC 60846-1 [10]</p>

Эталонное значение мощности дозы в нормальных условиях можно получить только от эталонного излучения источников, указанных в серии стандартов ИСО: ISO 4037 [1], ISO 6980 [2].

Как указано в Таблице 3 стандарта МЭК IEC 61526 [5], в нормальных условиях облучение возможно только следующими излучениями: для индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$ излучением, создаваемым источниками Cs или Co (ISO 4037-3 [1]); для индивидуального эквивалента дозы $H_p(0,07)$ излучением рентгеновского спектра N-80 или источником Am (ISO 4037-3 [1]). Для индивидуального эквивалента дозы $H_p(0,07)$ эталонным бета-излучением должно быть излучение, создаваемое нуклидом $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (ISO 6980-1 [2]).

Относительный отклик

Табл. 8.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Относительный отклик	Нет	Относительный отклик r (relative response r): отношение отклика R к эталонному отклику R_0 : $r = R/R_0$ IEC 60846-1 [10]

Величиной, характеризующей зависимость отклика средства измерения от влияющих величин, является «изменение относительного отклика» (табл.8).

В третьем столбце Таблицы 5 стандарта МЭК: IEC 61526 [5] «Характеристики дозиметров для измерения $H_p(10)$ рентгеновского, гамма- и бета-излучений» приведены «пределы изменения относительного отклика от -29% до $+67\%$ », которые могут быть при изменениях «энергии рентгеновского и гамма-излучения от 80 кэВ до 1,5 МэВ или от 20 кэВ до 150 кэВ и угла падения излучения от 0 до 60 градусов от эталонного направления». Данная характеристика дозиметра называется комбинированной «зависимостью отклика от энергии и угла падения излучения». Зависимость отклика от угла падения излучения коррелирует с энергией излучения, потому как относительный отклик на излучение с высокой энергией меньше зависит от угла падения излучения.

Чувствительность

Табл. 9.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Чувствительность	Чувствительность (средства измерений) (sensitivity of a measuring system, sensitivity): отношение изменения показаний средства измерения к вызывающему его изменению измеряемой величины. РМГ 29-2013 [13]	Чувствительность (средства измерений) (sensitivity of a measuring system, sensitivity): отношение изменения показаний средства измерения к вызывающему его изменению измеряемой величины. <i>Примечания.</i> 1. Чувствительность может зависеть от значения величины, которая измеряется. 2. Изменение в значении величины, которая измеряется, должно быть большим по сравнению с разрешающей способностью. VIM [12]

Под характеристикой «чувствительность» (sensitivity) средства измерения советские стандарты и специалисты понимали характеристику «отклик» (response) в международной практике, забывая о том, что диапазон измерения начинается не от нулевого значения измеряемой величины, и что средства измерения имеют «нелинейность» отклика (табл.9).

Надо отметить, что понятие «энергетической зависимости чувствительности» отсутствует в дозиметрии, в ней есть понятие «энергетической зависимости отклика».

Время отклика

«Время отклика» является важной характеристикой дозиметров, которая позволяет избежать переоблучения персонала. В России отсутствует требование к значению характеристики «время отклика» дозиметра, и некоторые разработчики указывают широчайший диапазон измерения при измерениях с помощью детекторов с ничтожной чувствительностью. Характеристика «время отклика» определяет реакцию дозиметра на изменение радиационной обстановки, другими словами, его реальную чувствительность, включая чувствительность детектора и оптимальность алгоритма обработки сигналов с детектора (табл.10).

Табл.10.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Время отклика	<p>Время отклика (при скачкообразном воздействии) (step response time): интервал времени от момента, когда значение величины на входе средства измерений или измерительной системы скачкообразно изменяется до определенного уровня (значения), до момента, когда соответствующее показание средства измерений или измерительной системы достигает установившегося конечного значения и остается в заданных пределах.</p> <p>РМГ 29-2013 [13]</p>	<p>Время отклика при скачкообразном воздействии (step response time): промежуток времени между моментом, когда входное значение величины средства измерений или измерительного комплекса подвергается внезапному изменению между двумя определенными постоянными значениями величины, и моментом, когда соответствующее показание устанавливается в определенных пределах вокруг своего установившегося конечного значения.</p> <p>VIM [12]</p>

В международных стандартах указаны жесткие требования к времени отклика дозиметров, например, в стандарте МЭК IEC 61526 [5] время отклика индивидуального электронного дозиметра должно быть не более 10 секунд при показаниях нового значения мощности дозы (с погрешностью от -17% до +25%).

Влияющая величина

«Влияющая величина» рассматривается как очень важный параметр процесса измерения. Во время измерения все величины, кроме измеряемой, выступают в роли влияющих величин (табл.11).

Определения характеристики «влияющая величина» международного и российского стандарта совпадают полностью, но это случай такой же, как и с характеристикой «время отклика». Другими словами, есть российский термин с определением, совпадающим с международным, но он не работает, поскольку в российских стандартах, относящихся к средствам измерения, отсутствуют требования к этой характеристике.

В международных стандартах влияющими величинами во время измерения дозиметром мощности дозы излучения являются следующие величины: «нелинейность отклика», «энергия и угол падения излучения», «температура», «давление», «влажность», «электропитание», «механические воздействия», «электромагнитные воздействия» и др.

Табл.11.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Влияющая величина	<p>Влияющая величина (influence quantity): величина, которая при прямом измерении не влияет на величину, которая фактически измеряется, но влияет на соотношение между показанием и результатом измерения.</p> <p><i>Примечания.</i> 1. Непрямое (косвенное) измерение включает комбинацию прямых измерений, каждое из которых может находиться под воздействием влияющих величин. 2. В GUM понятие «влияющая величина» определено так же как во 2-м издании VIM и охватывает не только величины, влияющие на измерительную систему, как отмечено выше, но также и те величины, которые влияют на фактически измеряемые величины. Кроме того, в GUM это понятие не ограничивается прямыми измерениями.</p> <p>PMG 29-2013 [13]</p>	<p>Влияющая величина (influence quantity): величина, которая при прямом измерении не влияет на величину, которая фактически измеряется, но влияет на соотношение между показанием и результатом измерения.</p> <p><i>Примечания.</i> 1. Непрямое (косвенное) измерение включает комбинацию прямых измерений, каждое из которых может находиться под воздействием влияющих величин. 2. В GUM понятие «влияющая величина» определено так же как во 2-м издании VIM и охватывает не только величины, влияющие на измерительную систему, как отмечено выше, но также и те величины, которые влияют на фактически измеряемые величины. Кроме того, в GUM это понятие не ограничивается прямыми измерениями.</p> <p>VIM [12]</p>

Влияющие величины в международных стандартах подразделяются на два типа: типа *F* и типа *S*. Влияющая величина типа *F* является источником поправочных коэффициентов, на которые умножаются показания прибора. Во время измерения дозиметром мощности дозы излучения выступают как влияющие величины типа *F*: «нелинейность отклика», «энергия и угол падения излучения», «температура», «давление», «влажность» и «электропитание» (табл.12).

Табл.12.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Влияющая величина типа F	Нет	<p>Влияющая величина типа F (influence quantity of type F): влияющая величина, влияние которой на индицируемое значение заключается в изменении отклика.</p> <p><i>Примечания.</i> 1. В качестве примера можно привести энергию излучения и угол падения излучения. 2. F означает «фактор» («коэффициент»): показание, формируемое за счет излучения, умножается на коэффициент, зависящий от влияющей величины.</p> <p>IEC 60846-1 [10]</p>

Влияющая величина типа *S* является источником отклонений, которые вычитаются из показаний или добавляются к показаниям прибора. Во время измерения дозиметром мощности дозы излучения выступают как влияющие величины типа *S*: «отклонение за счет дрейфа нуля», «электромагнитные воздействия» (ЭМС) и «механические воздействия» (табл.13).

Отклонения «за счет электромагнитных воздействий» подразделяются на: «отклонение за счет ЭМС по отношению к электростатическому разряду», «отклонение за счет ЭМС по отношению к излучаемым электромагнитным помехам», «отклонение за счет ЭМС по отношению к излучаемым электромагнитным помехам (мобильные телефоны и сети WLAN)», «отклонение за счет ЭМС по отношению к наведенным помехам (радиочастотным)», «отклонение за счет магнитного поля (50 Гц/60 Гц)». Отклонения «за счет механических воздействий»: «за счет микрофонного эффекта» и «за счет падения на поверхность».

Табл.13.

Характеристика	Определение	
	Российское	Международное
Влияющая величина типа S	Нет	Влияющая величина типа S (influence quantity of type S): влияющая величина, влияние которой на индицируемое значение является отклонением, не зависящим от индицируемого значения. <i>Примечания.</i> 1. Примером является электромагнитное воздействие. 2. Все требования к влияющим величинам типа S даны относительно величины отклонения D. 3. S обозначает сумму. Индикация является суммой индикации, вызванной излучением и влияющей величиной, например, электромагнитной помехой. IEC 60846-1 [10]

Диапазон допустимых значений влияющей величины

В международных стандартах введено понятие «диапазон допустимых значений влияющей величины». Это тот диапазон, в котором средство измерения должно работать в пределах определенных изменений относительного отклика, чтобы удовлетворять требованиям стандарта. Однако чаще употребляется приведенный ниже термин «минимальный диапазон допустимых значений» (табл.14).

Табл.14.

Термин	Определение	
	Российское	Международное
Минимальный диапазон допустимых значений	Нормальное значение (нормальная область значений) влияющей величины (reference value (range)): значение (область значений) влияющей величины, устанавливаемое (устанавливаемая) в стандартах или технических условиях на средства измерений данного вида в качестве нормального (нормальной) для этих средств измерений. ГОСТ 16263-70 [15]	Минимальный диапазон допустимых значений (minimum rated range): наименьший диапазон влияющей величины или параметра прибора, в котором дозиметр, предназначенный для измерения (мощности) эквивалента дозы, будет работать в пределах соответствующих изменений относительного отклика, чтобы удовлетворять требованиям настоящего стандарта. IEC 61526:2010 [5]

Определение термина «(нормальная область значений) влияющей величины» из советского ГОСТ 16263-70 очень невнятное, так что, если не знать это же определение из международного стандарта, узнать его маловероятно. В то же время смыслы самого термина и его определения из ГОСТ 16263-70 совпадают с международными, и это говорит о том, что советская метрология развивалась до определенного периода в одном русле с международной, но затем в силу каких-то причин отклонилась в сторону.

В соответствии с данными Таблицы 5 «Характеристики дозиметров $H_p(10)$ рентгеновского и гамма-излучения» стандарта МЭК IEC 61526 [5] для влияющей величины «энергия и угол падения излучения», минимальный диапазон допустимых значений будет равен «от 80 кэВ до 1,5 МэВ или от 20 кэВ до 150 кэВ; и от 0° до ±60° от эталонного направления». Требование данного стандарта о том, что «пределы изменения относительного отклика» должны быть в диапазоне «от -29% до +67%» будет относиться к изменениям энергии и углов падения излучения только в указанном диапазоне допустимых значений.

При этом такие параметры облучения как «мощность дозы при измерениях дозы» также становится влияющей величиной при измерениях дозы.

Сравнение характеристик приборов, указанных в международных стандартах и российских стандартах организации

Кроме международных и российских стандартов в области использования атомной энергии, применяются также и стандарты организации, которые обычно устанавливают требования к функциям и структуре систем электротехнических изделий, характеристикам, устройству, размещению и к условиям эксплуатации входящего в состав системы оборудования, а также к программному обеспечению систем. Стандарты организации используются при проектировании и эксплуатации объектов использования атомной энергии и при закупках оборудования для данных объектов.

Сравним характеристики индивидуальных электронных дозиметров, приведенные в стандарте МЭК IEC 61526 [5] (табл.15) и в стандарте организации АО «Концерн Росэнергоатом» СТО 1.1.1.01.001.0877-2020 [18] (табл.16).

Табл.15. Рабочие характеристики дозиметров для измерения $H_p(10)$ рентгеновского, гамма- и бета-излучений из международного стандарта МЭК IEC 61526 (Таблица 5 из [5]).

Строка	Испытываемые характеристики или влияющая величина	Минимальный допустимый диапазон влияющей величины	Пределы изменения параметра прибора или относительного отклика для всего допустимого диапазона	Под-пункт
1	Изменение относительного отклика, обусловленное дозой и мощностью дозы	от 100 мЗв до 1 Зв и от 0,5 мкЗв·ч ⁻¹ до 1 Зв·ч ⁻¹ ^{a)} для индивидуального эквивалента дозы	от -17% до +25% измеритель эквивалента дозы	9.3
2	Статистические флуктуации, v : эквивалент дозы $H_p(10)$	$H_0 < H < 11H_0$ $H \geq 11H_0$	$(16 - H/H_0)\%$ 5%	9.3
3	Статистические флуктуации, v : мощность эквивалента дозы $\dot{H}_p(10)$	$\dot{H}_p(10) < 10$ мкЗв·ч ⁻¹ 10 мкЗв·ч ⁻¹ $\leq \dot{H} < 60$ мкЗв·ч ⁻¹ $\dot{H} \geq 60$ мкЗв·ч ⁻¹	20% $(21 - \dot{H}/(10 \text{ мкЗв·ч}^{-1}))\%$ 15%	9.3
4	Энергия и угол падения	от 80 кэВ до 1,5 МэВ или от 20 кэВ до 150 кэВ и от 0° до $t_0 \pm 60^\circ$ от рассматриваемого эталонного направления	от -29% до +67%	9.4.1
5	Как в строках 4 и 5, но используется противоположное направление	Если нет указаний изготовителя о неправильной ориентации, см. строки 4 и 5	Если нет указаний изготовителя о неправильной ориентации, см. строки 4 и 5	7.7
6	Перегрузка	10-кратный максимальный диапазон, но для мощности дозы не более 10 Зв·ч ⁻¹	Показание должно зашкаливать в верхней части шкалы или дозиметр для измерения (мощности) эквивалента дозы должен индцировать перегрузку (в течение 10 мин)	9.8
7	Время отклика для индикации мощности эквивалента дозы и функции аварийной сигнализации	$\dot{H}_p(10) \geq 1$ мЗв·ч ⁻¹ и максимальное время ожидания 10 с	от -17% до +25% для индикации, и любая задержка более 2 с в срабатывании аварийной сигнализации не должна приводить к получению дозы свыше 10 мкЗв	9.9.2

^{a)} Минимальное значение мощности дозы настолько низкое, насколько это достижимо. Если максимальное значение мощности дозы, указанное изготовителем для измерений дозы, менее 1 Зв·ч⁻¹, это должно быть указано на дозиметре.

Разберем некоторые характеристики более подробно.

Нелинейность:

Строка	Испытываемые характеристики или влияющая величина	Минимальный допустимый диапазон влияющей величины	Пределы изменения параметра прибора или относительного отклика для всего допустимого диапазона	Под-пункт
1	Изменение относительно-го отклика, обусловлен-ное дозой и мощностью дозы	от 100 мЗв до 1 Зв и от 0,5 мкЗв·ч ⁻¹ до 1 Зв·ч ⁻¹ для индивидуального эквива-лента дозы	от -17% до +25% измеритель эквивалента дозы	9.3

При измерениях дозы величина «мощность дозы» выступает как «влияющая величина». Данное изменение относительного отклика по дозе обусловлено нелинейностью отклика по мощно-сти дозы, то есть отклонением зависимости между показанием и измеряемой величиной от ли-нейного характера.

Коэффициент вариации:

Строка	Испытываемые характеристики или влияющая величина	Минимальный допустимый диапазон влияющей величины	Пределы изменения параметра прибора или относительного отклика для всего допустимого диапазона	Под-пункт
2	Статистические флуктуации, v : эквивалент дозы $H_p(10)$	$H_0 < H < 11H_0$ $H \geq 11H_0$	$(16 - H/H_0)\%$ 5%	9.3
3	Статистические флуктуации, v : мощность эквивалента дозы $\dot{H}_p(10)$	$\dot{H} < 10 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ $10 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1} \leq \dot{H} < 60 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ $\dot{H} \geq 60 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$	20% $(21 - \dot{H}/10 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1})\%$ 15%	9.3

Здесь же приведены требования к значению коэффициента вариации в зависимости от значе-ния измеряемой величины.

Влияющие величины:

Строка	Испытываемые характеристики или влияющая величина	Минимальный допустимый диапазон влияющей величины	Пределы изменения параметра прибора или относительного отклика для всего допустимого диапазона	Под-пункт
4	Энергия и угол падения	от 80 кэВ до 1,5 МэВ или от 20 кэВ до 150 кэВ и от 0° до ±60° от рассматриваемого эталонного направления	от -29% до +67%	9.4.1

Приведено возможное изменение относительного отклика в зависимости от изменений энер-гии и угла падения излучения.

Перегрузка:

Строка	Испытываемые характеристики или влияющая величина	Минимальный допустимый диапазон влияющей величины	Пределы изменения параметра прибора или относительного отклика для всего допустимого диапазона	Под-пункт
6	Перегрузка	10-кратный максимальный диапазон, но для мощности дозы не более 10 Зв·ч ⁻¹	Показание должно зашкаливать в верхней части шкалы или дозиметр для измерения (мощности) эквива-лента дозы должен индцировать перегрузку (в течение 10 мин)	9.8

В связи с тем, что измеряемой величиной является «доза» излучения, пользователь может не заметить перегрузку по «мощности дозы» и получать неправильные результаты измерения, поэтому необходима индикация перегрузки.

Время отклика:

Строка	Испытываемые характеристики или влияющая величина	Минимальный допустимый диапазон влияющей величины	Пределы изменения параметра прибора или относительного отклика для всего допустимого диапазона	Под-пункт
7	Время отклика для индикации мощности эквивалента дозы и функции аварийной сигнализации	$\dot{H}_p(10) \geq 1 \text{ мЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ и максимальное время ожидания 10 с	от -17% до +25% для индикации, и любая задержка более 2 с в срабатывании аварийной сигнализации не должна приводить к получению дозы свыше 10 мкЗв	9.9.2

Как указано выше, требование к значению характеристики «время отклика» может быть выражено также в виде требования к значению «дозы», которое может быть получено за «время отклика» индикации или срабатывания сигнализации.

Характеристики дозиметров из международного стандарта [5] разделяются на следующие виды характеристик: «испытываемые характеристики», «(минимальный) допустимый диапазон влияющей величины» и «пределы изменений относительного отклика». При этом в «испытываемые характеристики» попали такие характеристики как линейность, коэффициент вариации, энергия и угол падения излучений, время отклика – то есть все действительно необходимые характеристики.

Требования к дозиметрам из стандарта организации АО «Концерн Росэнергоатом» СТО 1.1.1.01.001.0877-2020 «Автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля атомных станций. Технические требования» (Таблица 7.3 из [18]) представлены в табл.16.

Табл.16. Требования к дозиметрам электронным прямопоказывающим фотонного излучения из стандарта организации АО «Концерн Росэнергоатом» (Таблица 7.3 из [18]).

Параметр	Значение
Детектируемое излучение	фотонное
Диапазон измерения ИЭД фотонного излучения, Зв	от $1,0 \cdot 10^{-5}$ до 10
Допускаемая основная относительная погрешность ИЭД, не более, %	± 15 *
Диапазон влияющих мощностей ИЭД фотонного излучения, Зв/ч	от $0,5 \cdot 10^{-6}$ до 10
Диапазон энергий регистрируемого фотонного излучения, МэВ	от 0,02 до 6,0
Изменение отклика, обусловленное энергией и углом падения излучения, %, не более	± 40 **
Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерений ИЭД, вызванной зависимостью отклика от температуры в пределах рабочих условий применения, относительно нормальных условий, %, не более	± 10
Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерений ИЭД, вызванной зависимостью отклика от относительной влажности окружающего воздуха в пределах рабочих условий применения, относительно нормальных условий, %, не более	± 5
* Требования относятся только к измерениям в диапазоне от 100 мкЗв до 10 Зв при мощностях доз от $0,5 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ до $1 \text{ Зв}\cdot\text{ч}^{-1}$	
** Требования относятся только к диапазону энергии от 80 кэВ до 1,5 МэВ и углам падения излучения от 0° до 60°	

Из-за того, что в стандарте организации АО «Концерн Росэнергоатом» не вводились такие характеристики средств измерения, как «влияющие величины», «минимальный диапазон допустимых значений влияющих величин», разработчики стандарта вынуждены были сделать примечания о том, что «требования относятся только к измерениям в диапазоне ...» или «только к диапазону энергии ... и углам падения излучения ...».

Заключение

Госкорпорацией «Росатом» проводится комплекс мероприятий по реализации «Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности РФ». В том числе, стоит задача гармонизации российских стандартов с международными. Одной из наиболее острых проблем до недавнего времени являлись различия в терминах и определениях, применяемых в международных и российских стандартах по приборам радиационной защиты. Для ее решения был разработан стандарт «Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений. Термины и определения» [19] с включением в него международных терминов и определений.

Также существовали серьезные противоречия в методах обработки результатов измерения между российскими стандартами, оперирующими понятием «погрешность» для оценки качества измерения, и международными стандартами, использующими для этой цели понятие «неопределенность». Для устранения этой проблемы был разработан стандарт «Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений. Обработка результатов измерений» [20].

Еще одним барьером на пути гармонизации стандартов было наличие в международных стандартах физических, операционных и нормируемых дозиметрических величин, которые не описаны в российских стандартах. Для решения этой проблемы был разработан стандарт «Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений. Общие положения» [21].

Вышеуказанные стандарты Госкорпорации «Росатом» «Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений»: СТО 95 12065-2020 «Общие положения», СТО 95 12066-2020 «Термины и определения», СТО 95 12067-2020 «Обработка результатов измерения» утверждены приказом N 1/51-П от 20.01.2021.

Стандарт по терминам и определениям разработан как для ГК «Росатом», так и для Международной электротехнической комиссии (МЭК). В МЭК есть три официальных языка – английский, французский и русский, но при этом в Международном электротехническом словаре (МЭС) [22] есть термины на множестве языков, а на русском – нет. После введения в действие этих трех базовых стандартов и новой редакции МЭС российские термины и определения будут совпадать с международными, и, при необходимости, стандарты МЭК можно принимать как ГОСТ Р МЭК. Это позволит решить проблему гармонизации международных и российских стандартов по приборам радиационной защиты.

Структура международных стандартов демонстрирует разумный порядок: сначала приведено требование, потом метод испытания на соответствие этому требованию и затем методика интерпретации результатов этого испытания. Термины и определения из международных стандартов позволяют наиболее полно и грамотно описывать технические и метрологические свойства средств измерений.

В то же время требования международных стандартов предотвращают взятое в привычку нашими специалистами безосновательное декларирование высоких технических характеристик

средств измерений. Международные стандарты основываются на примерах хорошей практики, в них заявляются только реализованные на практике технические характеристики. Кроме того, в них заявляются только те технические характеристики, которые действительно необходимы данному типу средства измерения.

Альтернативы переходу российской системы стандартизации к международной системе не существует.

Литература

1. ISO 4037-2019 1, 2, 3, 4. Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy.
2. ISO 6980-2006 1, 2, 3. Nuclear energy: reference beta-particle radiation.
3. ISO 8529-2001 1, 2, 3. Reference neutron radiations.
4. ISO 12789-2008 1, 2. Reference radiation fields – Simulated workplace neutron fields.
5. IEC 61526:2010. Radiation protection instrumentation – Measurement of personal dose equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0,07)$ for X, gamma, neutron and beta radiations – Direct reading personal dose equivalent meters.
6. IEC 62387:2012. Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation.
7. ISO 21909-1, 2015. Passive neutron dosimetry systems. Part 1: Performance and test requirements for personal dosimetry.
8. IEC 60761:2002 1, 2, 3, 4, 5. Radiation protection instrumentation – Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents.
9. ISO 2889:2010. Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities.
10. IEC 60846-1:2009, Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation. Part 1: Portable workplace and environmental meters and monitors.
11. IEC 61005:2014. Radiation Protection Instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters, IEC, Geneva, 2014.
12. ISO/IEC GUIDE 99:2007(E/R). Международный словарь по метрологии (VIM). Основные и общие понятия и соответствующие термины.
13. РМГ 29-2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации «Метрология».
14. ГОСТ 28274-89. Приборы радиометрические и дозиметрические носимые. Общие технические требования и методы испытаний.
15. ГОСТ 16263-70. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения.
16. ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4).
17. ICRU. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRU rep. 57. ICRU, Bethesda, MD, 1998.
18. СТО 1.1.1.01.001.0877-2020. Автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля атомных станций. Технические требования.
19. СТО 95 12066-2020. Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений. Термины и определения.

20. СТО 95 12067-2020. Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений. Обработка результатов измерения.
21. СТО 95 12065-2020. Приборы и аппаратура для измерения или обнаружения ионизирующих излучений. Общие положения.
22. IEC 60050-395:2014. International electrotechnical vocabulary (IEV). Part 395. Nuclear instrumentation – Physical phenomena, basic concepts, instruments, systems, equipment and detectors.

Comparative Analysis of International and Russian Standards Covering Radiation Protection Instrumentation

Shumov Sergey (secretary of TC45 IEC, JSC «VNIIAES», Moscow, Russia), Nurlybaev Kubeyzin (expert of TK45 IEC, NPP Doza LLC, Zelenograd, Russia), Tsoi Nataliya (expert of TK45 IEC, NPP Doza LLC, Zelenograd, Russia)

Abstract. The article provides brief information on organizations whose field of activity is the development of international standards. Using specific examples, the authors show the advantages of the approach to the standardization of radiation protection devices that exists in the international IEC and ISO standards in comparison with this approach in the Russian national standards and standards of the organization. The comparison is carried out in the following three aspects: terminology; requirements for technical characteristics; the relationship between these requirements, the associated test methods and the criteria for passing the test.

Key words: *International Standards, International Electrotechnical Commission, International Organization for Standardization, Technical Committee 45 «Nuclear Instrumentation», SC 45B «Radiation Protection Instrumentation», Development of Standards, Terms and Definitions.*

С.А.Шумов (гл. спец.) – АО «ВНИИАЭС», г. Москва;

К.Нурлыбаев (гл. н.с.), Н.В.Цой (нач. гр.) – ООО НПП «Доза», г. Зеленоград.

Контакты: тел. +7 (495) 777-84-85; e-mail: kubesh@doza.ru.