

Дозиметрия импульсного излучения

В последнее время возросла актуальность дозиметрии импульсных излучений в связи с расширением применения рентгеновских аппаратов и ускорителей. Если для индивидуальной дозиметрии импульсных излучений применимы пассивные накопительные дозиметры, то дозиметрический контроль импульсных излучений при обследованиях рабочих мест существенно отличается от контроля непрерывных излучений. Значения мощностей дозы излучения, измеряемых при дозиметрическом контроле, характеризуют радиационную обстановку для непрерывных излучений, но значения мощностей доз в импульсах как в пучках излучения, так и на рабочих местах находятся далеко за пределами измеримых значений мощностей доз. Поэтому дозиметрический контроль импульсных излучений требует применения специальных методов измерения и приборов, разработанных с учетом особенностей конкретных генераторов излучения.

Ключевые слова:

импульсные излучения; непрерывные излучения; мощность дозы в импульсе; доза в импульсе.

**Ю.Н.Мартынюк, К.Нурлыбаев,
А.А.Ревков**

(НПП «Доза», г.Зеленоград)

Введение

В последние десятилетия во всем мире наблюдается впечатляющий рост числа генерирующих источников ионизирующих излучений. Практически все они являются генераторами импульсных излучений. Данная тенденция вполне понятна: генерирующие источники значительно удобнее, дешевле и безопаснее, чем нуклидные. Вместе с тем, их внедрение вызвало появление ряда проблем, связанных с радиационным контролем, в частности, с измерением доз и мощностей доз импульсного излучения.

Прежде всего, необходимо разобраться с определениями. На сегодняшний день существует лишь одно официальное определение импульсного излучения, данное в технической спецификации МЭК 62743 [1]:

- **импульсное излучение** – это «ионизирующее излучение, в данной точке поля которого никогда не будет постоянного значения мощности дозы в интервале времени длительностью более чем 10 с»;

- **непрерывное излучение** – это «ионизирующее излучение, в данной точке поля которого будет постоянное значение мощности дозы в интервале времени длительностью больше чем 10 с, если пренебречь временами включения и выключения поля».

Нужно подчеркнуть, что это определение дано для использования в дозиметрии. Это же определение используется в Технической спецификации ИСО, ISO/TS 18090-1 [2], опубликованной в 2015 г., где представлены характеристики эталонного импульсного фотонного излучения.

Приведем теперь другие определения, относящиеся к импульсному излучению (ISO/TS 18090-1):

- **основная длительность импульса** (radiation pulse base

duration, radiation pulse base width): время между первым и последним моментами времени, когда амплитуда импульса отличается от нуля;

- **длительность импульса** (radiation pulse duration, radiation pulse width): время между первым и последним моментами времени, когда амплитуда импульса достигает 50% максимального значения эквивалентного трапециевидного импульса;

- **эквивалент дозы в импульсе** (dose equivalent per radiation pulse): эквивалент дозы единичного импульса излучения;

- **мощность эквивалента дозы в импульсе** (radiation pulse dose equivalent rate): отношение эквивалента дозы в импульсе к длительности импульса;

- **цепочка импульсов** (pulse train): отдельная последовательность конечного числа импульсов;

- **частота импульсов** (pulse repetition frequency): число импульсов в цепочке, деленная на длительность цепочки.

Графически приведенные определения представлены на рис. 1.

Анализируя приведенные выше определения, можно отметить, что для измерения мощности дозы импульсного излучения дозиметр должен измерять и дозу в импульсе, и длительность импульса излучения, т. е. производитель дозиметра должен декларировать и подтвердить такие метрологические характеристики, как диапазон измерения длительности импульса и

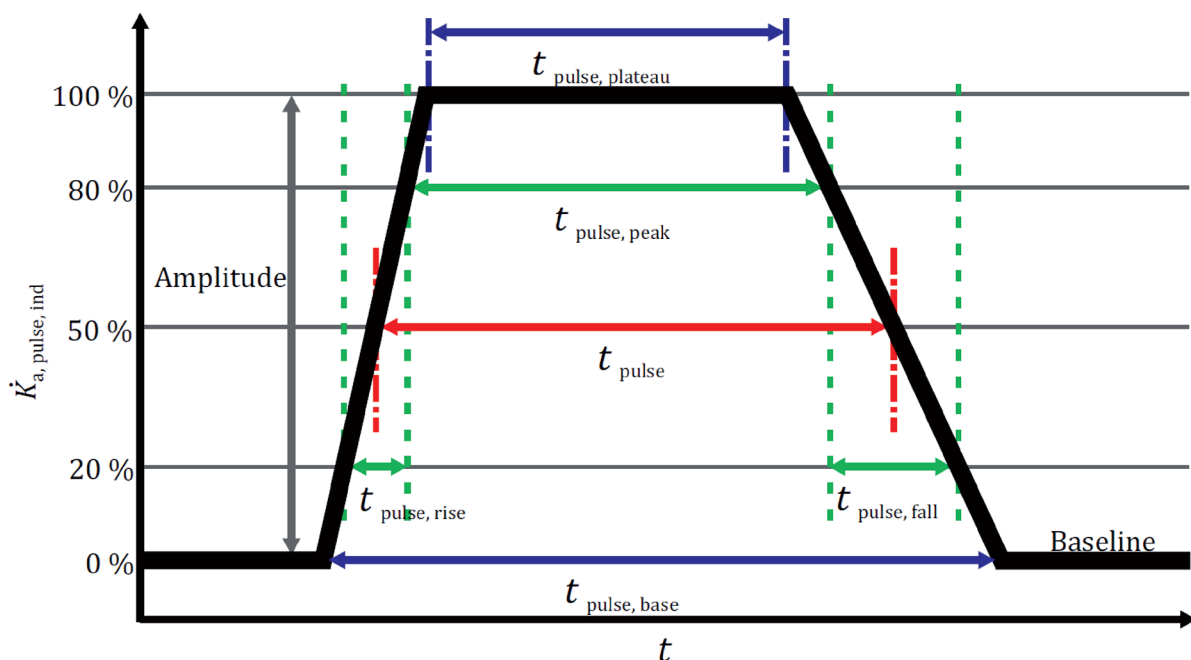


Рис.1. Основные параметры импульса излучения.

предел основной относительной погрешности при измерении длительности импульса.

Операционные величины

Говоря о дозиметрии импульсных излучений, прежде всего нужно отметить важный факт, который, на первый взгляд, очевиден, однако должен быть установлен. Речь идет об идентичности понятия «поглощенная доза» (а значит и понятий эквивалентов, основанных на поглощенной дозе) для непрерывного и импульсного излучений. В работе [3] приведены убедительные доказательства идентичности этих понятий.

Кроме того, для обоснования применения операционных величин необходимо доказать, что вероятность возникновения стохастических эффектов облучения не зависит от мощности дозы. В работе [4] приводятся данные о том, что, хотя детерминированные эффекты облучения существенно пропорционально зависят от мощности дозы, для стохастических эффектов зависимость слабо обратно пропорциональна. Т. е. импульсные воздействия несколько снижают вероятность проявления стохастических эффектов по сравнению с хроническим облучением той же дозой. Это позволяет сделать вывод о допустимой консервативности оценки для

импульсного облучения при использовании операционных величин эквивалентов дозы для перехода к оценке эквивалентных доз и эффективной дозы.

Таким образом, в качестве операционной величины в дозиметрии импульсных излучений могут использоваться амбиентный и направленные эквиваленты дозы. Вместе с тем, для метрологических целей на практике применяются воздушная керма или поглощенная доза в воздухе, а переход к эквивалентам дозы осуществляется расчетными методами.

Дозиметрические характеристики непрерывных и импульсных излучений

Непрерывные излучения характеризуются следующими параметрами:

- вид излучения (альфа, бета, фотонное, нейтронное);
- диапазон энергии излучения;
- мощность дозы (на определенном расстоянии от источника).

Импульсные излучения характеризуются следующими параметрами:

- вид излучения (альфа, бета, фотонное, нейтронное);
- диапазон энергии излучения;
- мощность дозы в импульсе (на определенном расстоянии от источника);

- доза в импульсе (на определенном расстоянии от источника);
- длительность импульса;
- частота импульсов.

В табл.1 приведены характеристики источников импульсных излучений из статьи [5].

В табл.2 приведены минимальные и максимальные значения вышеприведенных характеристик из МЭК 62743 [1].

В табл.3 приведены аналогичные характеристики рентгеновских аппаратов для неразрушающего контроля из доклада [6].

В табл.3 приведены значения напряжения на трубке аппарата (U_a , кВ), длительности импульса (τ , нс), частоты импульсов (N , Гц), дозы в импульсе (доза, мкЗв/имп.) и мощности эквивалента дозы в импульсе (МЭДи, Зв/с).

Даже беглый анализ приведенных выше данных показывает, что мощности доз в импульсах, в том числе и на рабочих местах, где они существенно ниже, чем в пучке, находятся далеко за пределами привычных значений измеряемых величин непрерывных излучений. Этот факт позволяет предположить, что разработанные к настоящему времени методы и приборы измерения дозы и мощности дозы непрерывного излучения невозможно без

Табл.1. Характеристики генераторов импульсов.

Тип генератора	Доза в импульсе (на 1м от источника)	Мощность дозы в импульсе (на 1м от источника)	Длительность импульса	Частота	Средняя энергия
Рентгенодиагностика	≤ 1 мЗв	≤ 40 мЗв/с	1 мс – 1 с	отдельный импульс – 100 Гц	10 – 100 кэВ
Ускоритель	≤ 0,1 мЗв	≤ 10 Зв/с	1 мкс	до 400 Гц	1 – 50 МэВ
Специальные импульсные генераторы	≤ 3 мЗв	≤ 100 Зв/с	50 нс	отдельный импульс	10 кэВ – 10 МэВ

Табл.2. Значения параметров импульсных излучений для типичных рабочих мест (по состоянию на 2012 г.).

Рабочее место	Минимальная длительность импульса	Максимальная мощность дозы в импульсе	Максимальная доза в импульсе
Ангиография	2 мс	>10 Зв/ч	0,1 мЗв
Рентгеновский аппарат С-дуга	5 мс	>10 Зв/ч	1 мЗв
Линейный ускоритель (LINAC), используемый в системе неразрушающего контроля	3,5 мкс	500 Зв/ч (на 1 м)	0,5 мкЗв (на 1 м)
Линейный ускоритель (LINAC) для терапии рака	3 мкс	250000 Зв/ч (на 1 м)	20 мЗв (на 1 м)

Табл.3. Значения характеристик аппаратов для неразрушающего контроля.

Марка аппарата	Ua, кВ	τ, нс	N, Гц	Доза мкЗв/имп	МЭДи Зв/с	МЭДср. Зв/ч	МЭДдоп. мкЗв/ч
АРИОН-150	150	2	20	2	1000	0,14	140
АРИОН-200	200	2	15	5	2500	0,27	110
АРИОН-250	250	2	10	9	4500	0,32	71
АРИОН-300	300	2	8	12	6000	0,35	58
АРИОН-400	400	1,5	4	20	13000	0,29	22
АРИОН-600	600	1,5	2	40	27000	0,29	11
АРИНА-1	200	10	10	8	800	0,29	360
АРИНА-3	200	10	10	8	800	0,29	360
АРИНА-7	250	10	10	15	1500	0,54	360
АРИНА-9	300	10	10	20	2000	0,72	360

дополнительного обоснования и доработок применять для дозиметрии импульсного излучения.

Методы регистрации в дозиметрии импульсного излучения

Для регистрации фотонного излучения могут применяться

газонаполненные, твердотельные (сцинтилляционные и полупроводниковые), химические, калориметрические и фотоэмульсионные детекторы. В настоящее время на практике используются газонаполненные и твердотельные дозиметры. Они, в свою очередь, делятся на две группы: накопитель-

ные «пассивные» дозиметры и электронные дозиметры, способные к прямой индикации измеренной величины.

Вначале рассмотрим детекторы, пригодные для прямой индикации. Это газонаполненные, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы.

Газонаполненные детекторы

В зависимости от конструкции детектора и приложенного напряжения, газонаполненные детекторы могут работать в разных режимах: в режиме ионизационной камеры, пропорциональном или газоразрядном режимах.

Соответственно, все детекторы могут работать в счетном или токовом режимах и имеют разные технические характеристики для дозиметрии импульсных излучений.

Доклад 34 «Дозиметрия импульсного излучения» Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ), вышедший в 1982 г., [3] был первым фундаментальным трудом, в котором рассмотрены разные методы регистрации применительно к дозиметрии импульсного излучения. В разделе «Выводы» данного доклада к применению рекомендуются: небольшие цилиндрические воздушные ионизационные камеры при дозах в импульсе примерно 1 мГр; между дозами в импульсе 1 и 10 мГр – камеры с малыми расстояниями между электродами (от 1 до 3 мм) для исключения избыточной рекомбинации; при высоких дозах между 10 и 100 мГр – камеры специальных конструкций. В докладе также отмечается, что «... для

измерения непрерывного излучения от источников ... используют счетчики Гейгера или другие детекторы частиц» в счетном режиме. Далее говорится об их непригодности для измерения импульсного излучения из-за наличия «мертвого времени» и о том, что такие детекторы в счетном режиме способны регистрировать только частоту следования импульсов излучения.

В Приложении А к стандарту МЭК 60532 [7] указано, что дозиметры со счетными детекторами, такими, как счетчики Гейгера, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы, не могут давать более одного импульса детектора за импульс излучения ускорителей из-за «мертвого времени» детектора и электроники, которые сравнимы или больше длительности импульса излучения. При дозиметрическом контроле излучения ускорителей максимальная скорость счета таких детекторов будет около 400 импульсов в секунду даже при бесконечно большой мощности дозы.

Для ионизационных камер единственным ограничением в применении в дозиметрии импульсных излучений может быть неполное собирание ионов. В Докладе 34 приводится метод определения влияния рекомбинации ионов в ионизационной камере на линейность

характеристики с помощью калибровки при различных напряжениях на камере.

В Приложении А к стандарту МЭК 60532 [7] «Дозиметрия импульсного излучения» также приведен метод испытаний прибора с ионизационной камерой для определения коэффициента собирания ионов: для этого необходимо увеличить напряжение на ионизационной камере на 50% и наблюдать за индикацией прибора. При полном собирании заряда показания прибора увеличиваются не более, чем на 5%.

В настоящее время на рынке Российской Федерации существует только один дозиметр импульсного излучения на основе ионизационной камеры: дозиметр Ram-ION, разработанный израильской фирмой Rotem Industries.

Специалистами фирмы Rotem Industries были проведены испытания выпускаемых ими дозиметров с ионизационными камерами Ram-ION и RI-02 в полях излучения рентгеновских аппаратов для неразрушающего контроля фирмы Golden Engineering [8,9]. Основные параметры рентгеновских аппаратов указаны в табл.4.

В качестве прибора сравнения был использован ТЛД комплект типа TLD-100H LiF: Mg, Cu, P компании Thermo Scientific. Дозиметры

Табл.4. Основные параметры импульсных рентгеновских аппаратов.

Рентгеновский излучатель	Параметры			
	Макс. энергия фотонов, кВ	Длительность импульса, нс	Доза в импульсе, мкЗв ^а	Количество импульсов в секунду
XR200	150	60	26–40	25
XRS-3	270	60	26–40	15
XRS-4	370	50	40–70	10

^а измеряется в пучке рентгеновского излучения на расстоянии 30 см от источника.

Ram-ION и RI-02 работали в режиме измерения дозы, и отклонения их показаний от показаний ТЛД составили менее 10 %.

Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционные детекторы, как и газонаполненные, могут работать в счетном или токовом режиме. По причинам, приведенным выше для газонаполненных детекторов, сцинтилляционные дозиметры в счетном режиме также непригодны для измерения импульсных полей фотонного излучения. Токвый режим, особенно в случае использования тканеэквивалентного сцинтиллятора, весьма удобен для дозиметрических измерений, т. к. количество фотонов, испускаемых сцинтиллятором, пропорционально поглощенной дозе в биологической ткани.

Основные ограничения применения сцинтилляторов для дозиметрии импульсного излучения связаны с нелинейностью фотоэлектронных

умножителей при передаче больших токов. Нелинейность ограничивает применение такого типа приборов при измерении мощных коротких импульсов.

На отечественном рынке в настоящее время присутствуют два дозиметра на основе органических сцинтилляторов, претендующих на измерение импульсного излучения: ДКС-96 с блоком БДКС-96б (производитель НПП «Доза») и ДКС-АТ1123 (производитель НПУП «Атомтех», Беларусь). К сожалению, в открытой печати не удалось найти публикаций, содержащих результаты испытаний этих приборов на импульсных установках.

Полупроводниковые детекторы

Полупроводниковые кремниевые детекторы по принципу действия подобны ионизационным камерам, поэтому могут быть использованы с определенными ограничениями для дозиметрии импульсного излучения,

что показано в испытаниях МАГАТЭ и Евродоз [10,11].

Основным ограничением для применения полупроводниковых детекторов является их существенная нетканеэквивалентность, из-за чего их ток не будет пропорционален поглощенной дозе в мягкой биологической ткани.

Однако на отечественном рынке присутствуют дозиметры с полупроводниковыми детекторами, прямо предназначенные для измерения характеристик импульсного фотонного излучения. Это приборы для определения параметров рентгеновских аппаратов: Piranha и Cobia, выпускаемые шведской фирмой RTI, а также RaySafe Xi шведской фирмы RaySafe. Эти дозиметры измеряют мощность дозы в импульсе, длительность импульса, дозу в импульсе и еще множество параметров излучения, и широко используются в медицине.

К сожалению, данные приборы избирательны к форме спектров излучения типовых для рентгеновской техники,

работают в прямом пучке и не могут применяться для дозиметрических измерений в произвольных спектрах.

К детекторам накопительного типа можно отнести термолюминесцентные детекторы, детекторы на основе оптически индуцированной люминесценции и детекторы на основе конденсаторной ионизационной камеры.

Термолюминесцентные дозиметры

Дозиметры на основе термолюминесцентных детекторов, по-видимому, являются практически идеальными дозиметрами для импульсного излучения. Несмотря на то, что по дозе верхний предел их измерений находится на уровне 1000 Гр, многие данные свидетельствуют, что для мощностей доз до 10^9 Гр·с⁻¹ для LiF и до 10^{10} Гр·с⁻¹ для Li₂B₄O₇:Mn отклик не зависит от мощности дозы [3,12].

Детекторы на основе оптически индуцированной люминесценции

Детекторы на основе оптически индуцированной люминесценции или радиофотолюминесценции (РФЛД), например, алюмофосфатные стекла, хотя и не получили широкого распространения на российском рынке, могут с успехом применяться для измерения дозы

импульсного фотонного излучения. Имея некоторые ограничения для фотонов низких энергий из-за нетканеэквивалентности материала, детекторы РФЛД также имеют стабильный отклик вплоть до мощностей доз порядка 10^9 Гр·с⁻¹ [3].

Детекторы на основе конденсаторной ионизационной камеры

В Государственный реестр средств измерений РФ на сегодня внесены два типа дозиметров с использованием детекторов на основе конденсаторной ионизационной камеры. Это дозиметры «Agrow-Tech», выпускаемые компанией Agrow-Tech, Inc, США, и дозиметры ДДГ-01Д российской компании НПП «Доза». Никаких сведений о способности этих дозиметров измерять импульсные излучения производители не приводят, поэтому выводы об их применимости мы можем делать, опираясь на данные публикации [3]. Согласно приведенным в ней данным, конденсаторные камеры успешно измеряют дозу импульсного излучения при учете поправок на рекомбинацию, подобно классическим ионизационным камерам, при условии, что суммарная доза много меньше их верхнего предела измерения.

Общие выводы по методам измерений

Из приведенного выше краткого обзора методов измерений дозы и мощности дозы импульсного фотонного излучения можно сделать следующие выводы:

1. На сегодняшний день не существует универсального метода, позволяющего измерить и отобразить в реальном времени дозу или мощность дозы для любого произвольного источника импульсного излучения. В зависимости от параметров импульса излучения, конструкция ионизационной камеры, размеры и тип сцинтиллятора, методы преобразования электрического сигнала и т. д. меняются существенно.

2. Дозиметры, измеряющие дозу в импульсе и мощность дозы в импульсе, настолько различны по своим свойствам, что представляется сомнительным сочетание этих двух типов измерений в одном приборе.

3. Проблема измерения дозы импульсного излучения накопительными дозиметрами успешно решается с помощью ТЛД или РФЛД детекторов.

4. По-видимому, можно заключить, что решение конкретной задачи по измерению какого-либо параметра импульсного излучения конкретного генератора излучения в известных заранее услови-

ях не представляет серьезных проблем и может решаться путем разработки соответствующей методики выполнения измерений.

Переход от измеренных к нормируемым величинам

В опубликованных к настоящему времени рекомендациях и отчетах МКРЗ, МКРЕ, а также отечественных нормативно-гигиенических документах не содержится данных о том, что биологические последствия облучения непрерывным и импульсным излучением при равных дозах облучения могут существенно отличаться по величине для стохастических эффектов. Этот очень важный факт свидетельствует о том, что именно доза облучения является универсальным критерием воздействия, а значит, и универсальной нормируемой величиной, независимо от временного распределения излучения.

Мощность дозы является удобным контрольным уровнем для оценки потенциальной дозы, которая может быть получена персоналом за нормируемый промежуток времени без долговременных измерений дозы. Действительно, доза, измеренная за небольшой промежуток времени (т. е. мощность дозы), для непрерывных излучений может быть легко экстрапо-

лирована на более длительное время. Мощность дозы в импульсе генерирующих источников не может быть экстраполирована, т. к. даже когда генератор включен, он не обязательно излучает. С точки зрения гигиенического нормирования мощность дозы в импульсе не имеет практического смысла, т. к. для перехода к дозе потребуются проведение весьма простых измерений параметров импульса и дополнительных расчетов. Все это не потребуются, если дозиметр сразу измеряет дозу, полученную в течение некоторого события. В настоящее время именно определение понятия нормирующего события (параметра) или связанной с ним величины нерадиационной природы тормозит создание обоснованной системы нормирования импульсных излучений.

Для перехода от значений измеренных величин к значениям нормируемых величин необходимы параметры источников, которым пропорциональны значения доз облучения и на которые можно нормировать измеренные значения дозы.

Например, нормирующим параметром медицинских рентгеновских аппаратов может служить количество электричества (заряд, протекший через трубку аппарата)

при выработке определенной дозы облучения. Отношение значения операционной величины, дозы на определенном расстоянии от излучателя аппарата или на рабочем месте персонала к значению количества электричества является величиной, характеризующей радиационные свойства аппарата. Значение этого отношения постоянно при постоянстве других параметров конкретного аппарата. Оценка нормируемой величины (годовой дозы) проводится умножением значения данного отношения на количество электричества за год.

Параметром медицинских терапевтических ускорителей служит значение дозы в первичном пучке ускорителя. Отношение значения операционной величины, дозы в интересующей нас точке к значению дозы в изоцентре ускорителя является величиной, характеризующей радиационные свойства ускорителя. Значение данного отношения постоянно при постоянстве других параметров конкретного ускорителя. Оценка нормируемой величины (годовой дозы) проводится умножением значения данного отношения на нагрузку ускорителя в течение года, т. е. на число пациентов, проходящих лечение на ускорителе в течение года, умноженного на ориентиро-

вочное значение дозы, отпускаемой каждому пациенту.

Параметром рентгеновского аппарата для неразрушающего контроля служит число импульсов. Доза от излучения является величиной, прямо пропорциональной числу импульсов излучения аппарата. Отношение значения операционной величины (дозы в интересующей нас точке) к количеству импульсов излучения аппарата при выработке измеренного значения дозы является величиной, характеризующей радиационные свойства аппарата. Значение этого отношения постоянно при постоянстве других параметров конкретного аппарата. Оценка нормируемой величины (годовой дозы) проводится умножением данного значения на число импульсов за год.

Возможны другие типы источников импульсных излучений, в которых доза излучения прямо пропорциональна другим параметрам источника. Необходимо установление связи между измеряемой величиной, дозой излучения и параметром источника излучения, которая обеспечит переход от измеряемой величины к нормируемой величине для дозиметрии импульсного излучения. Требованием к параметру источника является прямая пропорциональность значения дозы к значению параметра и

возможность доступа к суммарному годовому значению параметра.

Поскольку даже из приведенных выше примеров ясно, что универсального нерадиационного критерия перехода от дозы в импульсе или в серии импульсов к годовой дозе не существует, приходится признать необходимость разработки методик гигиенического нормирования для каждого типа генерирующих источников излучения.

Необходимо также отметить, что данная задача является сложной, но выполнимой, в отличие от задачи создания концепции радиационного контроля импульсных генерирующих источников, основанной на измерении мощности дозы в импульсе.

Заключение

Дозиметрия импульсных излучений настолько существенно отличается от дозиметрии непрерывных излучений, что требует применения специальных методов измерения и приборов, разработанных с учетом особенностей конкретных генераторов излучения.

Для дозиметрии импульсного фотонного излучения наиболее удобны и перспективны ионизационные камеры различных конструкций и пассивные накопительные дозиметры (ТЛД и РФЛД).

Привычная ситуация, когда характеристикой радиационной обстановки является мощность дозы излучения, рушится при переходе к импульсным излучениям, поскольку в данном случае этот параметр никак не характеризует радиационное воздействие генератора излучения на человека. Для импульсных излучений единственно приемлемым дозиметрическим параметром является доза облучения (эквивалент дозы), нормированная на значение какого-либо параметра конкретного источника излучения. Требованием к параметру источника является прямая пропорциональность значения дозы от источника к значению параметра. Для перехода от измеренных значений дозы к нормируемым величинам, годовым дозам нужно нормированное на параметр значение дозы умножить на значение данного параметра за год.

Учитывая разнообразие генераторов и методов измерения, по-видимому, необходимо разрабатывать методику выполнения измерений для конкретного класса генераторов и конкретных дозиметров, которая учитывала бы все необходимые поправки, устанавливала бы порядок проведения измерений и позволяла бы оценить их неопределенность.

Литература

1. IEC/TS 62743, 2012. Radiation protection instrumentation – Electronic counting dosimeters for pulsed fields of ionizing radiation.
2. ISO/TS 18090-1, Technical Specification, ed 1, 2015-08-01 Radiological protection – Characteristics of reference pulsed radiation. Part 1: Photon radiation
3. ICRU Report 34, The Dosimetry of pulsed radiation, 1982.
4. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). Под. ред. Мазурика В.К., Ломанова М.Ф. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. С. 290, 314 с.
5. U. Ankerhold et.al, *Deficiencies of active electronic radiation protection dosimeters in pulsed fields, Rad.Prot.Dosimetry*, Vol. 135, no. 3, 2009.
6. Барковский А.Н. НИИРГ им. П.В. Рамзаева. Радиационный контроль импульсных рентгеновских дефектоскопов. Семинар по организации контроля техногенных ИИИ и ИДК, ФБУЗ «ФЦГиЭ», Москва, 28–30 октября, 2014.
7. IEC 60532 ed. 3.0, 2010-08. Radiation protection instrumentation – Installed dose rate meters, warning assemblies and monitors – X and gamma radiation of energy between 50 keV and 7 MeV.
8. Ginzburg D., *Ionisation Chamber for Measurement of Pulsed Photon Radiation Fields, Radiation Protection Dosimetry*, 2016
9. Гинзбург Д. Ионизационная камера для измерений в полях импульсного фотонного излучения // АНРИ. 2017. N 2(89). С. 18-24.
10. Pulsed X-rays for interventional radiology: Tests on Active Personal Dosimeters (APD) (European project FP7 ORAMED WP3), CEA SACLAY, 2009.
11. IAEA-TECDOC-1564. Intercomparison of Personal Dose Equivalent Measurements by Active Personal Dosimeters, Final Report of a joint IAEA-EURADOS Project, IAEA, Vienna, 2007.
12. TLD Materials, Features and Technical Specification // Thermo Scientific official site. URL: <http://www.static.thermoscientific.com>.

Dosimetry of Pulsed Radiation

Nurlybaev Kubeisin, Martyniuk Yuri, Revkov Artur (SPC «Doza», Ltd, Zelenograd, Russia)

Abstract. Recently, the relevance of pulsed radiation dosimetry has increased due to the expansion of the use of X-ray machines and accelerators. While passive dosimeters can be used for individual dosimetry of pulsed radiation, the dosimetric monitoring of pulsed radiations during workplace inspections differs significantly from the continuous radiation monitoring. The radiation dose rate values measured at dosimetric control describe the radiation situation for continuous radiation, but the dose rate values in pulses both in the radiation beams and at the workplaces are far beyond the measurable values of the dose rates. Therefore, dosimetric monitoring of pulsed radiation requires the use of special measurement methods and equipment designed considering the characteristics of specific radiation generators.

Key words: *pulsed radiation, continuous radiation, dose rate in pulse, dose in pulse.*

Ю.Н.Мартынюк (к.ф.-м.н., гл.констр.), К.Нурлыбаев (к.т.н., гл.н.с.), А.А.Ревков (нач.гр.) – НИИП «Доза», г.Зеленоград.

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