

Государственный реестр средств измерений: поисковые дозиметры

Представлены результаты сравнительного анализа параметров дозиметрических приборов, занесенных в Государственный информационный фонд средств измерений утвержденного типа.

Ключевые слова:

поисковый дозиметр, средство измерений, Государственный информационный фонд средств измерений.

Этой статьей мы открываем новый цикл, посвященный дозиметрам, которые в 2015–2020 годах прошли испытания с целью утверждения типа и внесены в федеральный информационный фонд средств измерений утвержденного типа. Цикл будет включать в себя ряд статей, посвященных различным типам дозиметров.

В предыдущих наших обзорах дозиметрической аппаратуры деление дозиметров на типы проводилось, исходя из методов регистрации излучений, т. е. в зависимости от типов применяемых детекторов и методов съема и обработки сигнала. На практике, однако, существеннее функционал прибора и его базовые характеристики, чем тип детектора. Поэтому в данной статье мы предлагаем функциональную классификацию дозиметрической аппаратуры (рис.1). Первичное разделение проходит по линии «стационарные дозиметры – носимые дозиметры». Под стационарными

Ю.Н.Мартынюк

(НПП «Доза», г. Москва, г. Зеленоград)

мы понимаем дозиметры, применяемые для контроля радиационной обстановки в системах АСКРО и АСРК. Они установлены в точках контроля и передают данные по цифровым сетям. Ситуацию со стационарными дозиметрами мы планируем подробно рассмотреть в других публикациях. Носимые дозиметры также делятся на две большие категории: инспекционные и индивидуальные. Деление здесь производится по признаку измеряемой операционной величины. Индивидуальные дозиметры измеряют индивидуальные эквиваленты дозы, инспекционные дозиметры измеряют амбиентный и направленные эквиваленты дозы. В данной статье мы рассмотрим инспекционные дозиметры. По основному функционалу из них можно выделить дозиметры поисковые, общего назначения, импульсного излучения, рентгеновские и специальные. Поисковым дозиметрам посвящена первая часть статьи.

Поисковые дозиметры

Задача поисковых дозиметров – быстрое обнаружение изменений радиационной обстановки, поиск аномалий, локальных источников. Наиболее эффективны поисковые дозиметры при быстрой разведке объектов и территорий для принятия решения о дальнейших действиях. Примеры: радиационная гамма-съемка, исследование помещений, быстрая оценка радиационной обстановки, проверка загрязнения автотранспорта, проверка металлолома и т. д. Ключевым моментом функционала является слово «быстро». Для человека, идущего с дозиметром в руке, характерная скорость реакции около секунды. За это время человек успевает пройти около 1 м. Эти параметры накладывают ограничения на чувствительность дозиметра. Дозиметр должен надежно регистрировать изменение радиационного фона за 1 с. Обычно радиационный фон находится в пределах 0,05–0,15 мкЗв/ч. Контрольным уровнем для привлечения внимания оператора является превышение фона на 0,3 мкЗв/ч. На рис. 2 и 3 представлены распределения числа импульсов за одну секунду (скоростей счета) для дозиметра с чувствительностью 5 имп/с/мкЗв/ч,

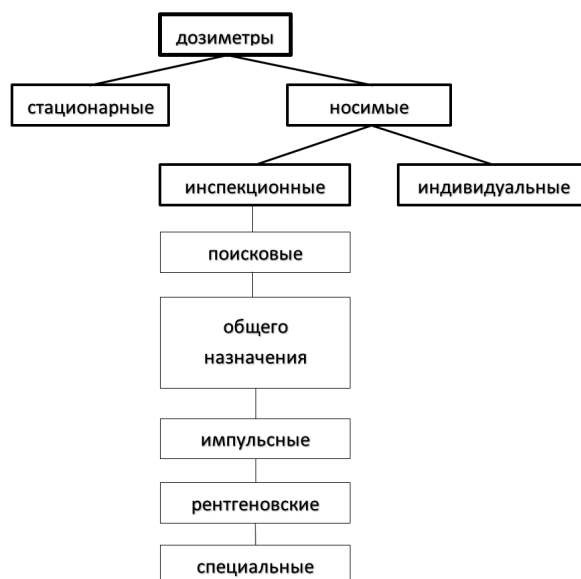


Рис. 1. Классификация дозиметров по их назначению.

характерной для счетчиков Гейгера-Мюллера, и дозиметра на сцинтилляционном детекторе с чувствительностью 500 имп/с/мкЗв/ч в условиях типового радиационного фона (0,1 мкЗв/ч) и его удвоения.

Очевидно, что за время 1 с достоверно зафиксировать удвоение фона способен только дозиметр с высокой чувствительностью.

В литературе и нормативной документации нет однозначного критерия принадлежности дозиметра к поисковым. Условная граница лежит в районе 200–500 имп/с/мкЗв/ч. Иногда приводят параметр скорости счета при значении фона 0,1 мкЗв/ч. Тогда получится 20–50 имп/с. Конечно, даже дозиметр с невысокой чувствительностью может стать поисковым в условиях высокого радиационного фона,

поэтому некоторые производители в своих дозиметрах на счетчиках Гейгера-Мюллера вводят «поисковый» режим. Таким образом, просто наличие режима поиска не гарантирует выполнение функции поиска, необходимо учитывать чувствительность дозиметра и условия измерений.

Часто поисковые дозиметры называют «дозиметр-радиометр». Это не совсем корректно, т. к. радиометры измеряют плотность потока частиц или активность. Но показания практически всех поисковых приборов сегодня выражены в Зв/ч, поэтому мы будем и в дальнейшем называть их дозиметрами.

Высокая чувствительность означает высокую эффективность детектора, т. е. высокую вероятность взаимодействия с излучением. Таким свойством обладают матери-

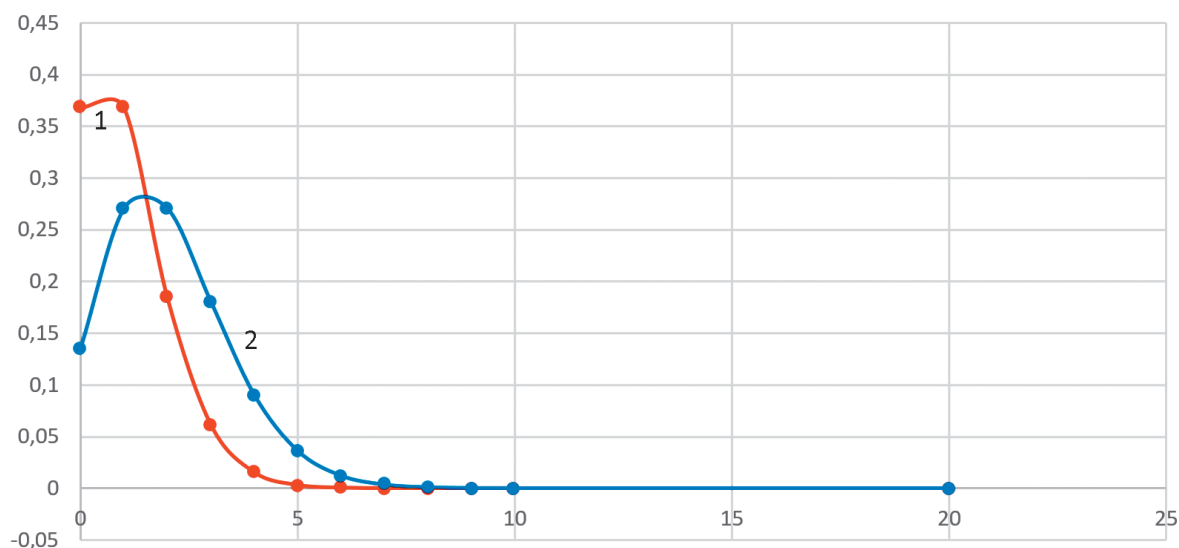


Рис. 2. Распределение скорости счета импульсов для дозиметра с чувствительностью 5 имп/с/мкЗв/ч при фоне 0,1 мкЗв/ч (кривая 1) и при 0,2 мкЗв/ч (кривая 2).

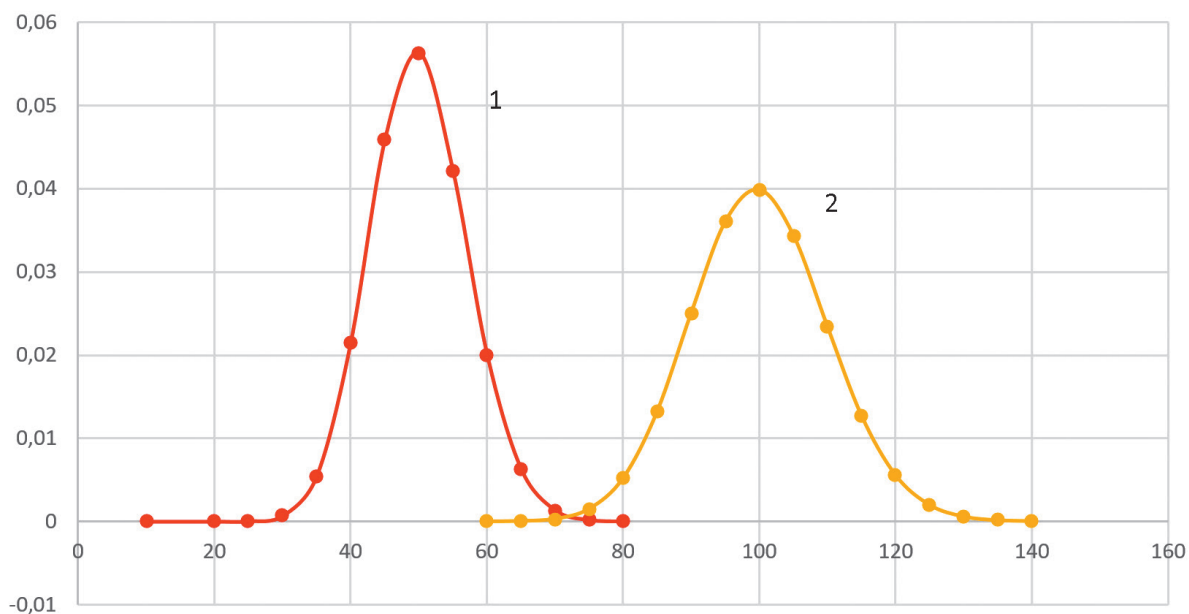


Рис. 3. Распределение скорости счета импульсов для дозиметра с чувствительностью 500 имп/с/мкЗв/ч при фоне 0,1 мкЗв/ч (кривая 1) и при 0,2 мкЗв/ч (кривая 2).

алы с большой плотностью и зарядом ядра. В качестве детекторов фотонного излучения вне конкуренции тяжелые неорганические сцинтилляторы (NaI(Tl), CsI(Tl), CsI(Na), CdWO, BGO). Все эти материалы существенно отличаются от мягкой биоло-

гической ткани, т. е. являются нетканеэквивалентными.

Если детектор работает в счетном режиме, т. е. фиксируется каждое взаимодействие фотонного излучения в теле детектора (без анализа энергии фотона), то измерительную функцию для моно-

энергетического излучения можно записать в виде:

$$H^*(E) = \phi(E) \cdot \eta(E) \cdot K, \quad (1)$$

где H^* – амбиентный эквивалент дозы, K – нормирующий коэффициент, $\phi(E)$ – флюенс фотонов с энергией E , а $\eta(E)$ – функция чувстви-

тельности детектора (вероятность зарегистрировать фотон с энергией E).

С другой стороны, AMBIENTНЫЙ эквивалент дозы:

$$H^*(E) = \phi(E) \cdot W(E), \quad (2)$$

где $W(E)$ – дозовый коэффициент на единичный флюенс для фотонов данной энергии.

Используя соотношения (1) и (2), получим основное требование к функции чувствительности дозиметра в счетном режиме:

$$W(E) = \eta(E) \cdot K, \quad (3)$$

Другими словами, функция чувствительности дозиметра должна с точностью до постоянного множителя совпадать с зависимостью весового коэффициента для AMBIENTНОГО эквивалента дозы, которая представлена на рис.4 [1].

Для сравнения, на рис.5 представлена зависимость вероятности регистрации фотонов от энергии этих

фотонов для сцинтилляторов NaI(Tl) различного размера [2]. Видно, что в то время, как взвешивающий коэффициент возрастает с увеличением энергии, эффективность регистрации уменьшается. Очевидно, что дозиметр такого типа в счетном режиме будет правильно измерять только при одной энергии. Для более высоких энергий он будет показывать меньше действительного значения, для более низких энергий – завышать. Эффект наиболее существен для небольших сцинтилляторов.

До недавнего времени эта досадная особенность дозиметров с неорганическими сцинтилляторами сильно ограничивала их применение для целей дозиметрии. Стандартным выходом из положения было провести калибровку дозиметра для энергии 661,6 кэВ (Cs-137)

или 1250 кэВ (средняя энергия для Co-60), и привести в документации энергетическую зависимость чувствительности (ЭЗЧ). Таким образом, дозиметр показывал правильное значение для референтного спектра и мог быть поверен, но при произвольном спектре энергий фотонного излучения результат измерения был непредсказуем. В результате, методики измерений предписывали обязательное использование двух дозиметров: поискового и «обычного», например, на счетчике Гейгера-Мюллера, измеряющего мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы во всем спектральном диапазоне (как правило, от 50 кэВ до 3 МэВ).

В счетчиках Гейгера-Мюллера для коррекции ЭЗЧ применяются поглощающие фильтры, которые существенно уменьшают эффективность регистрации фотонов низких

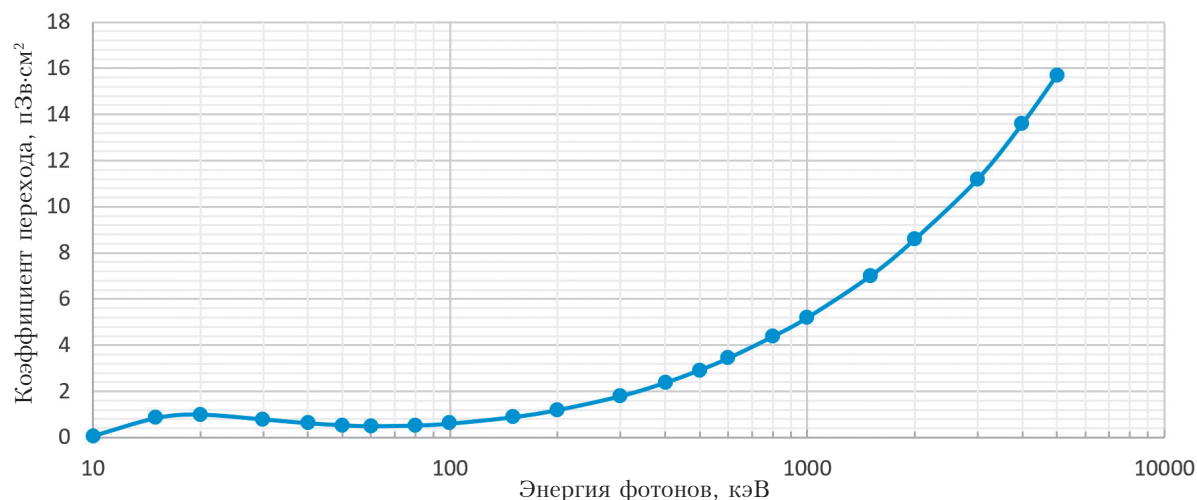


Рис.4. Зависимость коэффициента перехода от флюенса к AMBIENTНОМУ эквиваленту дозы для фотонного излучения от энергии фотонов.

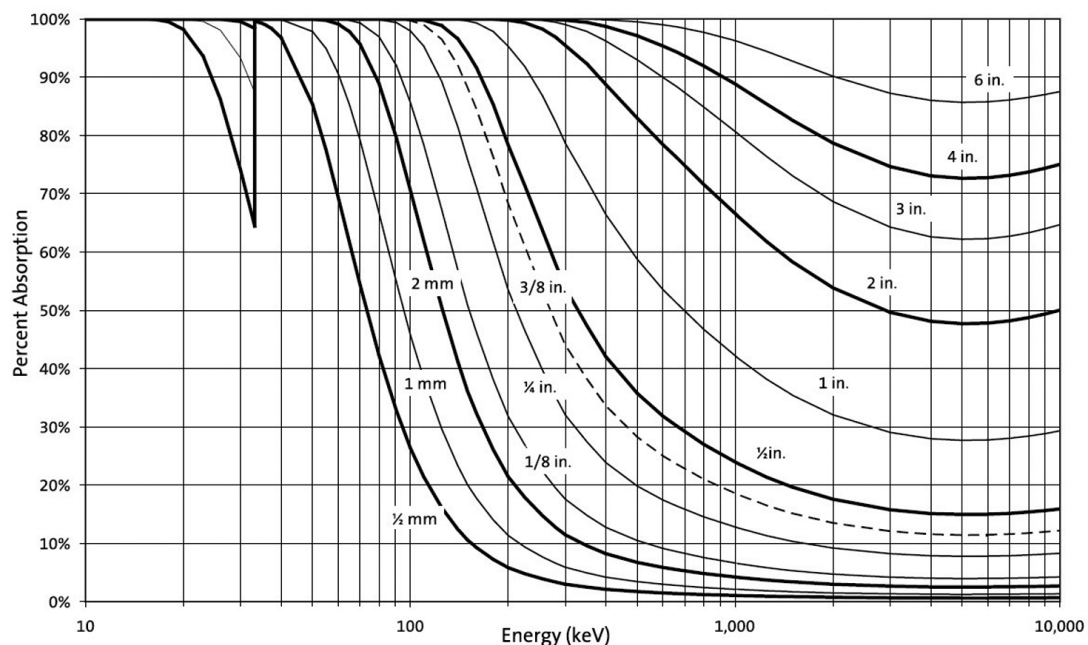


Рис. 5. Эффективность регистрации фотонов различной энергии для кристаллов NaI(Tl) различного размера.

энергий и незначительно влияют на регистрацию фотонов высоких энергий. Для сцинтилляторов такой метод не применяют, т. к. поглощающие фильтры заметно увеличивают вес прибора. Кроме того, теряется смысл использования сцинтилляторов, ценность которых как раз и состоит в высокой эффективности регистрации излучения.

Выходом из этой ситуации явились сцинтилляционные поисковые дозиметры, в которых используются спектрометрические свойства сцинтилляторов. Такие дозиметры представляют собой гамма-спектрометры, в которых информация об энергетическом спектре вторичных электронов в кристалле сцинтиллятора (аппаратный спектр)

используется для расчета спектра исходного фотонного излучения в воздухе. Зная первоначальное энергетическое распределение фотонного излучения в воздухе до взаимодействия с дозиметром, можно рассчитать мощность AMBIENTного эквивалента дозы с помощью соотношения (2). Вообще говоря, таким образом можно рассчитать любую дозовую величину, физическую или операционную (поглощенную дозу в любом материале, экспозиционную дозу, керму, индивидуальный или направленный эквивалент дозы). Дозиметр со спектрометрической обработкой сигнала одновременно и одинаково хорошо выполняет и поисковую, и измерительную функции. Впрочем, некото-

рые разработчики решили эту проблему по-своему: они совместили в одном приборе поисковый дозиметр на сцинтилляторе и дозиметр на счетчике Гейгера-Мюллера.

Таким образом, в настоящее время на рынке представлены три класса поисковых дозиметров: со спектрометрической обработкой сигнала; дозиметры, работающие в счетном режиме; и комбинированные.

Наиболее яркой характеристикой для поисковых дозиметров является чувствительность к фотонному излучению (как правило, нормированная на 1 мкЗв/ч излучения 661,6 кэВ Cs-137). Важен также диапазон измерений мощности AMBIENTного эквивалента дозы и диапазон

Таблица 1.

| Название | Изготовитель | Чувствительность имп/с/мкЗв/ч | Спектрометриче- ская коррекция ЭЗЧ | Диапазон измере- ния МАЭД мкЗв/ч | Диапазон энергий кэВ |
|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|--|------------------------------|
| МКС-PM1401К | ООО «Полимастер» г. Минск | 200 | нет комбинирован- ный детектор (сцинтиллятор + счетчик Г-М) | от 1 до 1,0·10 ⁵ | от 15 до 1,5·10 ⁴ |
| МКС-PM1402М | ООО «Полимастер» г. Минск | 200 | нет используется сменный блок детектирования | от 0,05 до 40 | от 60 до 1500 |
| МКС-PM1403М | ООО «Полимастер» г. Минск | 800 | есть для блока детектирования БДГ-1 | от 0,1 до 100 | от 30 до 3000 |
| МКС-АТ1117М | УП «Атомтех» г. Минск | 350 БДКГ-03 | есть | от 0,03 до 300 | от 50 до 3000 |
| | | 760 БДКГ-05 | есть | от 0,03 до 100 | |
| | | 2200 БДКГ-11 | есть | от 0,01 до 100 | |
| МКС-АТ1125 | УП «Атомтех» г. Минск | 350 | есть | от 0,03 до 300 | от 50 до 3000 |
| СРП-08А | ООО «НТЦ «Амплитуда» Москва | 400–500 | есть | от 0,1 до 500 | от 50 до 3000 |
| ДКС-96 | ООО НПП «Доза» Москва | 200 БДПГ-96М | нет | от 0,05 до 300 | от 50 до 3000 |
| | | 500 БДПГ-96 | нет | от 0,1 до 100 | от 50 до 3000 |
| | | 3000 БДВГ-96 | нет для всех приве- денных блоков используется сменный блок детектирования | от 0,1 до 30 | от 20 до 3000 |
| МКС-17Д | ООО НПП «Доза» Москва | 500 | да | от 0,1 до 5·10 ⁶ | от 50 до 3000 |

энергий. Мы сгруппировали в табл.1 все зарегистрированные в федеральном фонде поисковые дозиметры, которые на 15.05.2020 года имеют действующий сертификат утверждения типа [3]. В табл.1 вошли дозиметры с чувствительностью не менее 100 имп/с/мкЗв/ч.

Табл.1 требует некоторых комментариев. В целом, параметры всех дозиметров сопо-

ставимы. Различия касаются чувствительности, которая всегда соответствует размерам сцинтиллятора, и нижней границы диапазона измерений.

Нижний предел измерений мощности амбиентного эквивалента дозы для приборов, разработанных в России, не может быть меньше 0,1 мкЗв/ч, т. к. в стране не существует эталона мощности дозы с нижней границей

воспроизведения менее 0,1 мкЗв/ч, и не существует организации, аккредитованной на право проведения испытаний с целью утверждения типа в таком диапазоне. Дозиметры белорусских разработчиков имеют, тем не менее, нижнюю границу даже 0,01 мкЗв/ч (МКС-АТ1117М с БДКГ-11). Это связано с тем, что в России для Белоруссии действует схема

взаимопризнания результатов испытаний с целью утверждения типа. При этом в Белоруссии принимаются результаты испытаний, проведенных в зарубежных лабораториях. Таким образом, белорусские приборы можно испытать, например, в Румынии или Германии, в соляных шахтах с низким фоном, где есть эталон мощности дозы фотонного излучения с нижним пределом 0,02 мкЗв/ч, признать эти испытания в Белоруссии и, автоматически, в России. Россия же не признает результатов испытаний, проведенных в зарубежных лабораториях, поэтому приборы российского производства

не имеют официального подтверждения диапазона ниже 0,1 мкЗв/ч. Фактически же, по метрологическим параметрам, по конструкции и типам применяемых детекторов российские и белорусские дозиметры идентичны.

Интересно, что в федеральном информационном фонде нет поисковых дозиметров, разработанных другими зарубежными странами. По-видимому, сертификационные затраты и ограничения делают российский рынок непривлекательным для производителей за пределами Единого Таможенного Союза.

Подводя итог обзору поисковых дозиметров, можно

констатировать, что на российском рынке представлены разнообразные по конструкции приборы, позволяющие успешно решать задачи быстрой оценки радиационной обстановки. Заметно, что постепенно исчезают дозиметры счетного типа. Их заменяют приборы со спектрометрическими методами коррекции ЭЗЧ. Кроме того, спектрометрические приборы оснащаются дополнительными функциями, такими как идентификация изотопов и расчет активности. Можно предполагать, что такая тенденция сохранится в ближайшие годы.

Литература

1. *Annals of the ICRP*, p.74, ICRP, 1996, 212 p.
2. *Efficiency Calculations for Selected Scintillators*. Saint-Gobain.
URL: <http://www.crystals.saint-gobain.com> (дата обращения 29.07.2020).
3. *Федеральный информационный фонд. Утвержденные типы средств измерений*.
URL: www.fundmetrology.ru (дата обращения 29.07.2020).

The State Fund of Metrology of Russian Federation: Search Dosimeters

Martyniuk Yuri (SPC «Doza», Ltd, Zelenograd, Russia)

Abstract. The results of comparison dosimeters included in the State Fund of Metrology of Russian Federation are presented.

Key words: dosimeter, measuring device, State Fund of Metrology of Russian Federation.

Ю.Н. Мартынюк (к.ф.-м.н., гл. констр.) – НПП «Доза», г. Зеленоград.

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