

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДОЗИМЕТРОВ РАДИАЦИОННОГО ФОНА

Д.О. Цой

Д. Ходжич

Д.И. Погуляка

dmitry.tsoy2017@yandex.ru

khoji4444@gmail.com

foal ses@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Работа посвящена исследованию тенденций развития дозиметров, а также определению их актуальности в современном мире. Приведены особенности их строения и использования, выполнен сравнительный анализ дозиметров различных видов. Индивидуальные носимые дозиметры применяются для измерения поглощенной дозы непрерывного и импульсного гамма- и нейтронного излучения, контроля внешнего облучения с целью ранней диагностики степени острых лучевых поражений персонала, подвергшегося воздействию гамма-нейтронного излучения, а также для обеспечения контроля облучения персонала, привлекаемого к работам по ликвидации последствий радиационных аварий и обслуживающего хранилища радиоактивных отходов. Именно поэтому важно разбираться в видах и особенностях носимых дозиметров, а также иметь представление о правильном выборе дозиметра в зависимости от ситуации.

Ключевые слова

Ионизирующие частицы, дозиметр, счетчик Гейгера, радиация, полупроводник, дозиметрия, рентген, сцинтилляционные кристаллы, ионизирующие камеры

Поступила в редакцию 27.02.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Введение. Дозиметр представляет собой устройство для измерения и контроля радиационного фона. На сегодняшний день существуют множество различных видов дозиметров, используемых в самых разных сферах деятельности человека.

Актуальность контроля радиационного фона увеличивается с каждым годом, поскольку меры экологического контроля производства (в частности, меры наблюдения за токсичными и радиоактивными материалами) постоянно ужесточаются. Также участились случаи обнаружения радиоактивных предметов в быту. Именно поэтому сегодня дозиметры — необходимый инструмент не только для предприятий, лабораторий, атомных электростанций и других опасных производств, но и для повседневной жизни каждого человека.

Радиация и дозиметрия. Радиация — это поток элементарных частиц и квантов электромагнитного излучения, способных ионизировать атомы других веществ. Радиоактивное излучение — часто встречающееся в природе явление, которое возникает в радиоактивных элементах. Однако помимо естествен-

ной радиации существует техногенная, которая появилась в процессе жизнедеятельности человечества.

Основные виды радиации представлены в виде альфа-, бета- и гамма-излучения. Главная особенность ионизирующих излучений состоит в том, что они способны проникать в ткани и клеточные структуры, тем самым вызывая их ионизацию и повреждая их. При этом стоит помнить, что все зависит от полученной дозы. Определив ее количественную характеристику, можно спрогнозировать последствия для здоровья человека. Именно поэтому огромную роль в современной биологической безопасности играет дозиметрия.

Дозиметрия — это совокупность методов регистрации и измерения величины ионизирующего излучения.

Доза ионизирующего излучения — энергия, которая передана какой-либо массе вещества.

Различают следующие виды доз:

- 1) *экспозиционная* (характеризует степень ионизации воздуха);
- 2) *поглощенная* (характеризует количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы объекта);
- 3) *эквивалентная* (предназначена для оценки эффекта облучения биологической ткани);
- 4) *эффективная* (характеризует риск возникновения последствий облучения для организма).

Счетчик Гейгера. *Счетчик Гейгера* — прибор, который предназначен для регистрации и измерения радиоактивного излучения.



Рис. 1. Газоразрядный счетчик СТС-5

Счетчик Гейгера был изобретен в 1908 г. немецким ученым Хансом Вильгельмом Гейгером. Через 20 лет Гейгер совместно с Вальтером Мюллером усовершенствовал прибор. В период развития атомной энергетики и ядерной физики необходимы были устройства для регистрации и измерения уровня радиоактивности. Одним из самых первых таких счетчиков является СТС-5 (рис. 1), который нашел широкое применение в дозиметрических приборах ДП-5А [1]. Популярность счетчик Гейгера приобрел благодаря высокой чувствительности, возможности регистрировать разные излучения, а также простой и дешевой конструкции.

Устройство и принцип работы. Счетчик Гейгера представляет собой баллон (трубку), наполненный инертным газом (рис. 2). Внутри этой конструкции имеются электроды — катод и анод. В качестве анода используют нить, а катодом служит сама металлическая трубка. Для легкого и быстрого создания электрического разряда в баллоне необходимо обеспечить пониженное давление. Поэтому трубку заполняют разреженным газом, в качестве которого часто используют благородные газы — аргон и неон. Анод и катод подключают к источнику постоянного тока с высоким напряжением через нагрузочный резистор, на котором формируются электрические скачки при регистрации ионизирующего излучения [2].

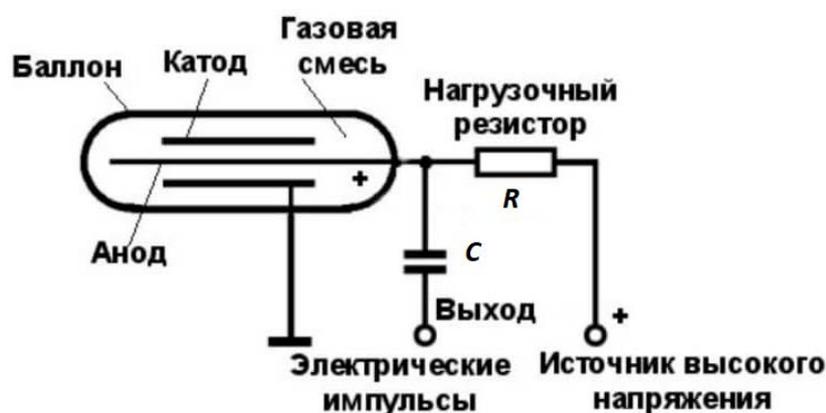


Рис. 2. Устройство и схема включения счетчика Гейгера [2]

Принцип действия счетчика Гейгера базируется на ударной ионизации газовой среды под воздействием радиоактивных частиц в газовом пространстве между электродами при ускоряющем напряжении.

В начальном состоянии между электродами имеется высокое сопротивление благодаря наличию газового пространства и ток в цепи отсутствует. Когда ионизирующая частица, обладающая высокой энергией, сталкивается с датчиком, она выбивает электроны, которые после этого оказываются в газовом про-

пространстве между электродами. Благодаря напряжению в несколько сотен вольт электроны, находящиеся между электродами, начинают двигаться к аноду. В процессе движения они ионизируют молекулы газа, выбивая вторичные электроны и создавая ударную ионизацию. Данный процесс многократно повторяется и происходит лавинообразное увеличение числа электронов. Это способствует возникновению разряда между катодом и анодом. В этом состоянии газовое пространство способно пропускать ток, и происходит скачок тока на нагрузочном резисторе.

Счетчики Гейгера подразделяют на несамогасящиеся и самогасящиеся. Последним не нужно внешнее воздействие для прекращения ударной ионизации. В первых же внешнее воздействие реализуется путем отключения источника питания, что приводит устройство в изначальное состояние.

К недостаткам счетчика Гейгера можно отнести то, что он не способен идентифицировать частицы и определять их энергию.

Дозиметры. *Дозиметр* — прибор для измерения и контроля уровня радиации (рис. 3).



Рис. 3. Дозиметр

Принципы работы дозиметров могут быть основаны на различных способах подсчета уровня радиации. В основном измеряют экспозиционную дозу радиоактивного излучения в следующих единицах измерения:

- зиверты в час (Зв/ч);
- рентгены в час (Р/ч);
- $1 \text{ мкЗв} = 100 \text{ мкР}$.

Безопасным для человека принято считать радиационный фон до 50 мкР/ч.

Профессиональные дозиметры используются в основном при работе в опасной зоне, а также узкоспециализированными специалистами.

Бытовые дозиметры более компактны (некоторые можно носить в кармане) и обычно имеют относительно небольшую стоимость [3].

Устройство и принцип работы. При воздействии гамма-, бета-, альфа-излучения в детекторе дозиметра возникают электрические импульсы, которые в дальнейшем преобразуются в цифровые значения и выводятся на экран [4].

Дозиметр может включать в себя:

- один или несколько детекторов излучения разных типов;
- съемные фильтры для оценки структуры излучения;
- систему индикации дозы;
- счетное устройство;
- источник питания (оно необходимо для создания напряжения между электродами, а также для питания остальных электронных элементов прибора).

Основным элементом данных приборов является датчик радиации.

В зависимости от принципа действия датчики радиации подразделяют следующим образом:

- ионизационные камеры;
- сцинтилляционные кристаллы;
- твердотельные полупроводниковые детекторы.

Классификация дозиметров. Дозиметрические приборы подразделяют по функциональному назначению:

- индикаторы или сигнализаторы. Они подают сигнал при регистрации радиационного излучения;
- измерительные приборы. Уровень радиации отображается в различных единицах измерения, обычно в рентгенах или микрозивертах в час;
- поисковые приборы. К данному виду относятся приборы с высокой чувствительностью.

Существует также разделение по областям применения:

- бытовые (в основном реагируют только на гамма-излучения);
- профессиональные (способны фиксировать альфа-частицы, протоны и нейтроны);
- промышленные (применяются на АЭС, горно-обогатительных предприятиях и т. п.);
- военные (используются для военного назначения) [5].

Измерение радиации можно осуществлять в отношении различных объектов независимо от их физического состояния. Следовательно, контролировать радиацию с помощью дозиметра можно для твердых тел, жидкостей и газов.

Область применения дозиметров очень широка — их используют для контроля, измерения радиационного фона какой-либо территории или объекта [6].

Сравнительный анализ дозиметров с разными детекторами. Рассмотрим и проанализируем дозиметры с детекторами различных типов.

Ионизационные камеры. Конструкции этих датчиков представляют собой камеры, наполненные газом. Принцип их действия основан на регистрации

электрических возмущений, которые возникают в газоразрядной камере, когда через нее проходит поток заряженных частиц. Их используют в основном для регистрации бета и гамма-излучений. Такие устройства имеют достаточно простую конструкцию и низкую стоимость. К недостаткам таких датчиков можно отнести то, что они не подходят для регистрации альфа-излучений.

Счетчик Гейгера — Мюллера наиболее распространенная конструкция газоразрядного датчика. Он встречается в большинстве бытовых дозиметрах. Также его применяют в медицинских и военных устройствах [2].

Сцинтилляционные кристаллы. Эти датчики представляют собой кристаллы неорганического или органического происхождения. Суть работы таких датчиков заключается в регистрации фотонов, которые генерируются в кристалле при прохождении через него заряженных частиц. Их применяют для регистрации всех видов радиации. Зачастую их используют в поисковых приборах, поскольку они обладают высокой чувствительностью и точностью. Однако они имеют большие размеры и высокую стоимость.

Твердотельные полупроводниковые детекторы. Такие детекторы состоят из кристаллов и полупроводникового материала. Принцип их действия аналогичен принципу действия газоразрядных приборов с тем отличием, что ионизируется объем полупроводника между двумя электродами. При прохождении сквозь него заряженных частиц изменяется электрическая проводимость материала, после чего это изменение регистрируется. Их так же применяют для регистрации всех видов радиации. Такие детекторы обладают небольшой точностью, но при этом имеют маленькие размеры и низкую стоимость [7].

Результаты анализа. Результаты проведенного нами анализа позволяют сделать некоторые частные выводы, представляющие интерес для нашего исследования:

- наиболее эффективными датчиками считаются сцинтилляционные кристаллы. Они обладают наибольшей чувствительностью и точностью;
- датчики данного вида устанавливают в профессиональных научных и военных дозиметрах, индикаторах и сигнализаторах, когда необходима высокая скорость реагирования на малейшие изменения в радиационном фоне. Помимо этого их зачастую используют в поисковых приборах для точного определения местоположения источника радиации;
- благодаря низкой стоимости, простоте конструкции и долговечности счетчики Гейгера зачастую применяют в быту для регистрации гамма-излучения.

На основе приведенных выше данных был составлен пакет рекомендаций к выбору дозиметра.

Рекомендации по выбору дозиметра. В современном мире существует множество дозиметров с определенным набором функций и характеристиками, которые влияют на стоимость прибора.

Чтобы сэкономить деньги и не переплачивать за ненужные функции и характеристики дозиметра, нужно четко сформировать цели приобретения прибора. Для бытового пользования вряд ли понадобится функция синхронизации с компьютером. Для определения уровня зараженности продуктов питания достаточно простых дозиметров с минимальным набором функций. Дозиметры на основе счетчика Гейгера можно считать оптимальным вариантом.

При выборе дозиметра рекомендуется обратить внимание на следующие характеристики:

- типы датчиков и их количество в устройстве. Лучше, если в дозиметре несколько датчиков, позволяющих измерять разные виды излучений. Для бытового использования рекомендуется использовать счетчик Гейгера благодаря его дешевизне и простоте устройства;

- виды излучений. Чем больше различных видов излучений регистрирует прибор, тем лучше;

- погрешность измерений. Для бытового использования допустимы менее точные дозиметры с погрешностью в 25...30 %. Для более серьезных целей необходима более высокая точность. Промышленные, научные и военные приборы допускают погрешность не более 7 %;

- диапазон измеряемых величин. Минимальный уровень должен быть не меньше 0,05 мкЗв/ч. Желательно, чтобы максимальный уровень был не ниже 100 мкЗв/ч. Но для бытового пользования вполне достаточно предела 10 мкЗв/ч;

- производитель и наличие сертификата качества;

- размеры. Бытовой дозиметр радиации должен быть компактным и помещаться в кармане;

- система оповещения — звуковой, световой сигнал или отображение на дисплее;

- возможность и тип подсоединения к гаджетам и персональному компьютеру.

Ниже представлен обзор некоторых актуальных на данный момент устройств и их описания.

Дозиметр-радиометр МКС-05 «Терра» Bluetooth (рис. 4). Модификация дозиметра-радиометра МКС-05 «ТЕРРА» с модулем радиоканала Bluetooth. Малогабаритный прибор для контрольной радиационной обстановки с возможностью сохранения и передачи результатов измерений на персональный компьютер.

Дозиметр-радиометр бытовой МКС-05 «Терра-П» (рис. 5). Простой и удобный прибор для оценки радиационного фона и радиационной загрязненности жилых помещений, бытовых предметов, одежды, поверхности почвы и пищевых продуктов.



Рис. 4. Дозиметр-радиометр MKC-05 «Терра» Bluetooth [8]



Рис. 5. Дозиметр-радиометр бытовой MKC-05 «Терра-П» [8]

Универсальный прибор радиационной и химической разведки ПРХР-Д (рис. 6). Прибор радиационной и химической разведки ПРХР-Д предназначен для обнаружения боевых отравляющих веществ (ОВ), аварийно химически опасных веществ (АХОВ), рентгеновского и гамма-излучения в качестве носимого средства радиационно-химической разведки в температурном диапазоне от минус 40 до 50 °С.



Рис. 6. Универсальный прибор радиационной и химической разведки ПРХР-Д [8]

По результатам анализа рынка современных устройств для сканирования радиационного фона был разработан алгоритм выбора датчика в зависимости от целей использования (рис. 7).

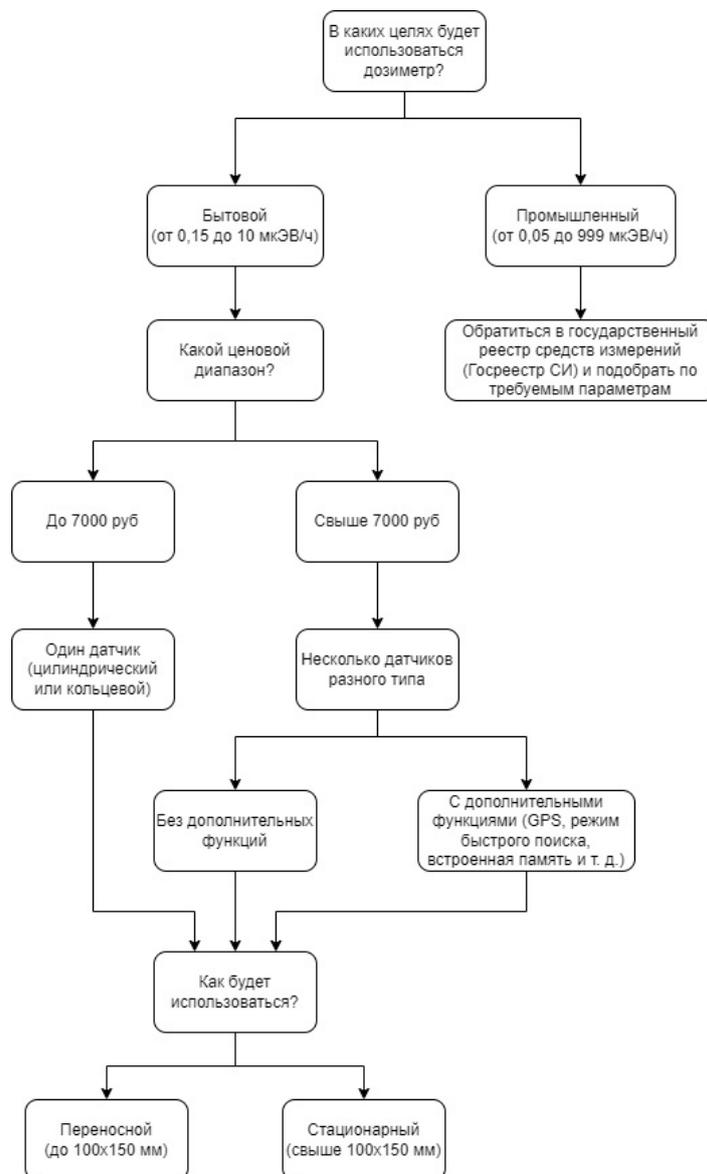


Рис. 7. Алгоритм выбора дозиметра

Выводы. Подводя итог всему вышесказанному, отметим, что создание счетчика Гейгера сыграло очень важную роль в истории человечества. Наиболее часто его используют в дозиметрах.

Мы провели сравнительный анализ различных дозиметров и пришли к выводу, что дозиметры могут использоваться в различных сферах человеческой деятельности в зависимости от их устройства и принципа работы их датчика. Главным преимуществом полупроводниковых дозиметров являются высокое временное разрешение, высокая чувствительность, малые габариты и низкое

внешнее напряжение. Дозиметры используются порядка 90 лет, и за это время отточены все технологические процессы производства и работы с ними. Современные бытовые дозиметры — это многофункциональные устройства на базе микропроцессоров и микроконтроллеров. Они способны улавливать не только гамма-излучение, но также альфа- и бета-частицы. Современные дозиметры используются для выявления радиоактивного заражения воды, продуктов и окружающих предметов.

Перспективы применения дозиметров масштабны и многообразны. Ведь эти небольшие устройства способны контролировать радиационную безопасность нашей повседневной жизни. А актуальность приобретения и использования дозиметров возрастает, учитывая тот факт, что в современном мире бытовой дозиметр доступен каждому человеку.

Литература

- [1] Счетчик Гейгера — Мюллера. URL: <https://mydozimetr.ru/blog/stati/schetchik-geygeryamullera/> (дата обращения 23.01.2023).
- [2] Авсеенко В.Ф. *Дозиметрические и радиометрические приборы и измерения*. Киев, Урожай, 1990, 144 с.
- [3] *Obzorinstrumentov.ru*. URL: <https://obzorinstrumentov.ru/dozimetr/> (дата обращения 23.01.2023).
- [4] *Что такое индивидуальный дозиметр. Мир познаний*. URL: <https://deepcloud.ru/articles/chto-takoe-individualnyy-dozimetr/> (дата обращения 25.01.2023).
- [5] Поленов Б.В. *Дозиметрические приборы для населения*. Москва, Энергоатомиздат, 1991, 63 с.
- [6] *Что такое дозиметр. Рентген-центр*. URL: <https://rentgen-centr.ru/news/chto-takoe-dozimetr/> (дата обращения 25.01.2023).
- [7] Кортов В.С., Мильман И.И., Никифоров С.В. Твердотельная дозиметрия. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2000, т. 303, № 2, с. 35–45.
- [8] *Классификация приборов, систем и средств радиационного контроля*. URL: <https://studfile.net/preview/9296471/page:15/> (дата обращения 25.01.2023).

Цой Дмитрий Олегович — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ходжич Денис — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Погуляка Даниил Ильич — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Жалнин Владимир Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Цой Д.О., Ходжич Д., Погуляка Д.И. Тенденции развития дозиметров радиационного фона. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 04 (81).

<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-4-890>

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF BACKGROUND DOSIMETER BEFORE

D.O. Tsoy

dmitry.tsoy2017@yandex.ru

D. Khodzich

khoji4444@gmail.com

D.I. Pogulyaka

foalses@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The work is devoted to the study of trends in the development of dosimeters, as well as to determine their relevance in the modern world. The features of their structure and use are given, a comparative analysis of dosimeters of various types is performed. Individual wearable dosimeters are used to measure the absorbed dose of continuous and pulsed gamma and neutron radiation, control external exposure for the purpose of early diagnosis of the degree of acute radiation injuries of personnel exposed to gamma-neutron radiation, as well as to ensure control of exposure of personnel involved in liquidation work consequences of radiation accidents and maintenance storage of radioactive waste. That is why it is important to understand the types and features of wearable dosimeters, as well as to have an idea about the correct choice of a dosimeter depending on the situation.

Keywords

Ionizing particles, dosimeter, Geiger counter, radiation, semiconductor, dosimetry, X-ray, scintillation crystals, ionizing chambers

Received 27.02.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

References

- [1] Schetchik Geygera — Myullera [Geiger — Muller counter]. URL: <https://mydozimetr.ru/blog/stati/schetchik-geygera-myullera/> (accessed January 23, 2023).
- [2] Avseenko V.F. *Dozimetricheskie i radiometricheskie pribory i izmereniya* [Dosimetric and radiometric instruments and measurements]. Kyiv, Urozhay Publ., 1990, 144 p. (In Russ.).
- [3] *Obzorinstrumentov.ru*. URL: <https://obzorinstrumentov.ru/dozimetr/> (accessed January 23, 2023).
- [4] *Chto takoe individual'nyy dozimetr. Mir poznaniy* [What is a personal dosimeter. The world of knowledge]. URL: <https://deepcloud.ru/articles/chto-takoe-individualnyy-dozimetr/> (accessed January 23, 2023).
- [5] Polenov B.V. *Dozimetricheskie pribory dlya naseleniya* [Dosimetric devices for the population]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991, 63 p. (In Russ.).
- [6] *Chto takoe dozimetr. Rentgen-tsentr* [What is a dosimeter. X-ray center]. URL: <https://rentgen-centr.ru/news/chto-takoe-dozimetr/> (accessed January 25, 2023).
- [7] Kortov V.S., Mil'man I.I., Nikiforov S.V. Solid state dosimetry. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2000, vol. 303, no. 2, pp. 35–45. (In Russ.).
- [8] *Klassifikatsiya priborov, sistem i sredstv radiatsionnogo kontrolya* [Classification of devices, systems and means of radiation monitoring]. URL: <https://studfile.net/preview/9296471/page:15/> (accessed January 25, 2023).

Tsoy D.O. — Student of Department of Design and Technology of Production of Electronic Equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Khodzhich D. — Student of Department of Design and Technology of Production of Electronic Equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Pogulyaka D.I. — Student of Department of Design and Technology of Production of Electronic Equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Zhalnin V.P., Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Department of Design and Technology of Production of Electronic Equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Tsoy D.O., Khodzhich D., Pogulyaka D.I. Trends in the development of background dosimeter before. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 04 (81). (In Russ.).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-4-890>