

УДК 621.039, 621.38

НОВЫЕ ТИПЫ ДОЗИМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ

БОГДАН М.А., КАРАЙКОЗА Т.М.

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. В статье представлены принцип работы и характеристики дозиметра ДКГ-АТ2533 и устройства детектирования УДКГ-37, разработанных и выпускаемых предприятием «АТОМТЕХ». Данные изделия предназначены для работы в полях как непрерывного, так и импульсного фотонного излучения в жестких условиях эксплуатации.

Ключевые слова: мощность амбиентного эквивалента дозы, фотовольтаический канал, радиационный ресурс, регистрация импульсного излучения.

NEW TYPES OF CONTINUOUS AND PULSED PHOTON RADIATION DOSIMETERS FOR NUCLEAR TECHNOLOGY

MIKHAIL A. BOHDAN, TATSIANA M. KARAIKOZA

*Scientific Production Unitary Enterprise «ATOMTEX»,
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. The article presents the principle of operation and characteristics of the dosimeter AT2533 and detection device UDKG-37, developed and manufactured by ATOMTEX. These products are designed to work in the fields of both continuous and pulsed photon radiation in harsh operating conditions.

Keywords: ambient dose equivalent power, photovoltaic channel, radiation resource, pulse radiation registration.

Введение

В сфере атомной энергетики, ядерной техники, медицины и радиационных технологий существует потребность в дозиметрической аппаратуре, предназначенной для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы как непрерывного, так и импульсного фотонного излучения. Как правило, к подобным средствам контроля предъявляются и жесткие требования, такие как широкий диапазон измерений (вплоть до сотен и тысяч Зв/ч), большой радиационный ресурс, широкий диапазон рабочих температур и относительной влажности, механическая прочность, возможность работы в жидких средах. Создание новых приборов, удовлетворяющих всем этим требованиям и превосходящих известные аналоги [1–3] являлось целью данной разработки.

Принцип работы и технические характеристики

Предприятием «АТОМТЕХ» разработан дозиметр ДКГ-АТ2533, предназначенный для измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и амбиентного эквивалента дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения, а также дозы и средней мощности дозы импульсного излучения в широком диапазоне (рис.1).



Рис. 1. Внешний вид дозиметра ДКГ-АТ2533

В состав дозиметра входят внешний блок детектирования гамма-излучения БДКГ-33 и блок обработки информации БОИ-33, соединённые между собой радиационноустойчивым кабелем. При этом БОИ-33 содержит внутренний детектор гамма-излучения, что позволяет осуществлять контроль радиационной обстановки в месте расположения оператора. Органы управления дозиметра позволяют работать в защитных перчатках.

Конструктивно блок детектирования БДКГ-33 выполнен в герметичном малогабаритном корпусе из нержавеющей стали (степень защиты IP68). Это позволяет применять его в жестких механических и климатических условиях, в том числе и в труднодоступных местах. Блок детектирования БДКГ-33 устойчив к воздействию статического гидравлического давления до 400 кПа, т.е. работоспособен в водных средах на глубине до 40 м.

Широкий диапазон измерения мощности дозы от 1 мкЗв/ч до 1000 Зв/ч (9 порядков) обеспечивается за счет того, что в блоке детектирования БДКГ-33 реализовано два измерительных канала: счетный и фотovoltaический. Счетный канал выполнен на энергоскомпенсированном счетчике Гейгера-Мюллера с применением радиационноустойчивых компонентов производства ОАО «Интеграл» (Республика Беларусь) и работает при низких нагрузках от 1 мкЗв/ч до 100 мЗв/ч. Фотovoltaический канал реализован на энергоскомпенсированном кремниевом полупроводниковом детекторе, работающем в токовом режиме при высоких нагрузках от 100 мЗв/ч до 1000 Зв/ч. Благодаря программным алгоритмам, переход между двумя измерительными каналами осуществляется как автоматически, так и вручную. Энергетический диапазон регистрируемого гамма-излучения для обоих каналов от 50 кэВ до 10 МэВ.

Радиационный ресурс блока детектирования БДКГ-33 и кабеля составляет не менее 25 000 Зв. Он обеспечивается за счет того, что вся радиационночувствительная электроника располагается в блоке обработки информации БОИ-33 на удалении от блока детектирования БДКГ-33, при этом используется радиационноустойчивый кабель, длина которого варьируется от 20 до 50 м. Кроме того, во время работы фотovoltaического канала блока детектирования БДКГ-33, вся электроника счетного канала, где применены радиационноустойчивые компоненты, отключена от источника питания.

При подключении БДКГ-33 к БОИ-33 посредством радиационноустойчивого кабеля, прибор автоматически переходит к измерению мощности дозы в месте расположения блока детектирования и сравнению измеренного значения с заранее заданным пороговым уровнем, при превышении которого срабатывает звуковая и световая сигнализация. В приборе ведется журнал измерений, при этом в энергонезависимую память записывается до 1000 значений максимальной мощности дозы на заранее выбранном временном интервале (от 1 до 255 мин). Кроме того, записывается дата и время включения/выключения дозиметра, подключения/отключения блока детектирования, срабатывания сигнализации и другая служебная информация, которой дозиметр может обмениваться с персональным компьютером по интерфейсу *USB 2.0* с помощью прикладного программного обеспечения.

Дозиметр также имеет исполнение ДКГ-АТ2533/1, где в БОИ-33/1 предусмотрено наличие беспроводного модуля *Bluetooth 5.0*. Благодаря этому, используя прикладное программное обеспечение, оператору предоставляется возможность управления прибором на большем безопасном расстоянии.

В настоящее время дозиметр ДКГ-АТ2533 прошел государственные приемочные испытания в Республике Беларусь на соответствие требованиям ГОСТ 27451 [4] и требованиям Международных стандартов *IEC 60846-1,-2* [5, 6], а также внесен в Федеральный реестр средств измерений Российской Федерации.

Также на предприятии серийно выпускается стационарный аналог дозиметра ДКГ-АТ2533 – широкодиапазонное устройство детектирования УДКГ-37 (рис.2), предназначенное для работы как в составе автоматизированных систем контроля радиационной обстановки, так и автономно. Оно состоит из блока детектирования гамма-излучения БДКГ-37, блока сопряжения БС-37 и радиационноустойчивого кабеля. Данное устройство, в зависимости от исполнения, позволяет подключаться к любой системе по интерфейсу *RS-485* или *RS-232* с помощью универсального протокола обмена *Modbus RTU*. Отличительной особенностью блока детектирования БДКГ-37 от БДКГ-33 является его расширенный диапазон измерения мощности дозы (1 мкЗв/ч – 5000 Зв/ч) и радиационный ресурс (до 50000 Зв).

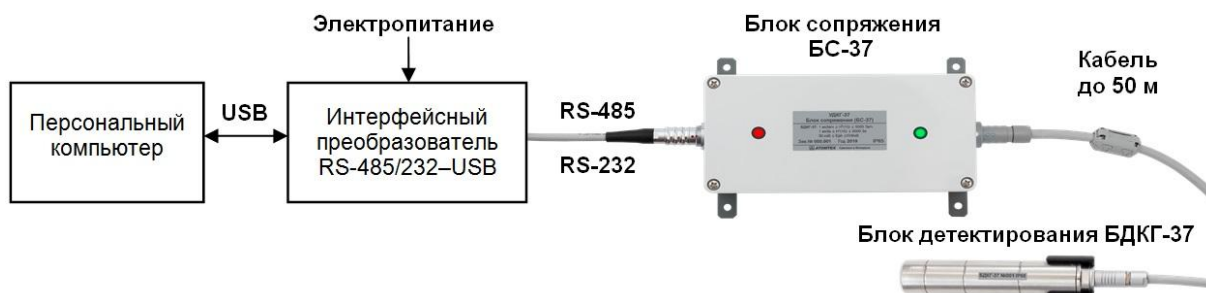


Рис. 2. Устройство детектирования УДКГ-37 при автономной работе

Основные технические характеристики дозиметра ДКГ-АТ2533 и устройства детектирования УДКГ-37 представлены в табл.1.

Таблица 1. Технические характеристики ДКГ-АТ2533 и УДКГ-37

Технические характеристики	ДКГ-АТ2533, ДКГ-АТ2533/1	УДКГ-37, УДКГ-37/1
Детектор	Кремниевый полупроводниковый детектор Счетчик Гейгера-Мюллера	
Энергетический диапазон	50 кэВ – 10 МэВ, с энергетической зависимостью $\pm 30\%$	
Диапазон измерений мощности дозы	1 мкЗв/ч – 1000 Зв/ч (БДКГ-33) 0,1 мкЗв/ч – 10 мЗв/ч (БОИ-33)	1 мкЗв/ч – 5000 Зв/ч
Диапазон измерений дозы	1 мкЗв – 5000 Зв (БДКГ-33) / 1 мкЗв – 2 Зв (БОИ-33)	1 мкЗв – 5000 Зв
Предел основной относительной погрешности	$\pm 25\%$ при мощности дозы ≤ 10 мкЗв/ч $\pm 15\%$ при мощности дозы > 10 мкЗв/ч	
Чувствительность к гамма-излучению источника ^{137}Cs , не менее	2,6 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ (БОИ-33) 0,15 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ (БДКГ-33, БДКГ-37 $\leq 0,2$ Зв/ч) 58 мВ/Зв·ч ⁻¹ (БДКГ-33, БДКГ-37 $> 0,2$ Зв/ч)	
Радиационный ресурс	> 100 Зв (БОИ-33) / > 25000 Зв (БДКГ-33)	> 50000 Зв
Интерфейс обмена	USB 2.0, Bluetooth 5.0 (для ДКГ-АТ2533/1)	RS-485 (УДКГ-37) / RS-232 (УДКГ-37/1)
Электроснабжение	2×AA = 1,5В	= 9-30В (УДКГ-37) / = 4-12В (УДКГ-37/1)
Время работы	1000 ч (БОИ-33) / 250 ч (БОИ-33 с подключенным БДКГ-33) 50 ч (БОИ-33/1 с включенным модулем <i>Bluetooth</i>)	-
Степень защиты	IP54 (БОИ-33) / IP68 (БДКГ-33)	IP65 (БС-37) / IP68 (БДКГ-37)
Диапазон рабочих температур	-30°C... +60°C	-40°C... +60°C
Относительная влажность воздуха	98% при температуре $\leq 35^\circ\text{C}$	
Габаритные размеры/ масса	85×155×35 мм / 0,3 кг (БОИ-33) Ø25×135 мм / 0,25 кг (БДКГ-33)	170×80×55 мм / 0,3 кг (БС-37) Ø25×135 мм / 0,25 кг (БДКГ-37)

Работоспособность в полях импульсного излучения

На сегодняшний день основными источниками импульсного излучения являются рентгеновские аппараты (ангиографы, дентальные, дефектоскопические, досмотровые и т.д.), ускорители и специальные импульсные генераторы [7]. Анализ характеристик показывает, что источники импульсного излучения, как правило, вырабатывают повторяющиеся импульсы с частотой от 1 до 400 Гц и длительностью от 1,5 нс до 1 с.

Благодаря применению кремниевого полупроводникового детектора, работающего в токовом режиме фотovoltaического канала, в дозиметре ДКГ-АТ2533 и устройстве детектирования УДКГ-37 реализована возможность эффективно функционировать в полях импульсного излучения, т.к. данные детекторы обладают быстрым откликом на воздействие ионизирующего излучения и по принципу действия схожи с работой ионизационных камер. Изделия измеряют дозу и среднюю мощность дозы импульсного повторяющегося излучения, которое генерирует широкий круг установок.

Счетный канал дозиметра ДКГ-АТ2533 и устройства детектирования УДКГ-37 непригоден для регистрации импульсного излучения, так как счетчик Гейгера-Мюллера обладает большим «мертвым временем» и регистрирует только частоту генерируемых импульсов. Поэтому в счетном канале была программно реализована возможность регистрации повторяющихся генерируемых импульсов с автоматическим либо ручным переходом в фотovoltaический канал.

Проверка функционирования изделий в полях импульсного излучения осуществлялась на нескольких установках с различными характеристиками. Так, на медицинских линейных ускорителях *Elekta Versa HD* и *Varian Clinac 2300C/D* генерируется импульсное излучение с энергией 6, 15 и 18 МэВ, длительностью от 1 до 3 мкс и частотой повторения импульсов от 25 до 400 Гц. На рентгеновских аппаратах «Шмель-250» и «Памир-250» генерируется импульсное излучение с энергией 60 кэВ, длительностью от 15 до 50 нс и частотой повторения импульсов 14 и 7 Гц соответственно.

Результаты испытаний дозиметра ДКГ-АТ2533 и устройства детектирования УДКГ-37, проведенных в полях импульсного излучения различного характера [8], позволяют сделать вывод о возможности и целесообразности их применения в подобных условиях. Так, на рис. 3 представлен пример использования устройства детектирования УДКГ-37 в составе системы радиационного контроля импульсного излучения ускорителей. В состав системы входят дозиметр ДКС-АТ1123 для регистрации низких и устройство детектирования УДКГ-37 для регистрации высоких уровней мощности дозы импульсного излучения.

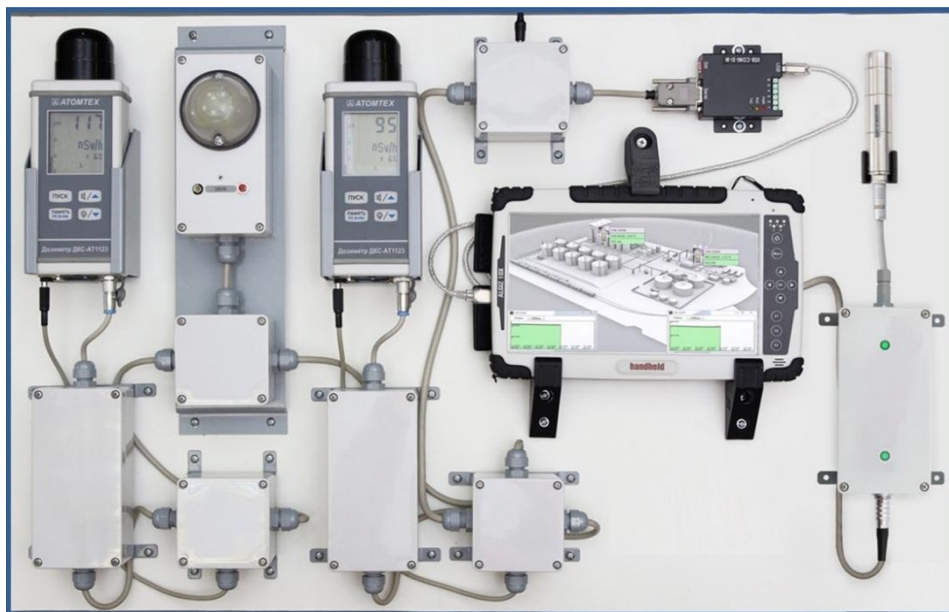


Рис. 3 Устройство детектирования УДКГ-37 в составе системы радиационного контроля импульсного излучения ускорителей

Заключение

Таким образом, новые типы дозиметров непрерывного и импульсного фотонного излучения, выпускаемые предприятием «АТОМТЕХ», по своим характеристикам ничем не отличаются от известных мировых аналогов, а в некоторых параметрах и превосходят их. Данные преимущества, а также соответствие требованиям международных стандартов позволяют изделиям быть конкурентоспособными на мировом рынке. Особенно актуально их использование в следующих областях:

- аварийные и поставарийные ситуации;
- контроль при утилизации и захоронении радиоактивных отходов;
- радиационный мониторинг окружающей среды, территорий и объектов;
- атомная промышленность и АЭС;
- контроль безопасности при радиационной обработке высокоактивными источниками ионизирующего излучения сельскохозяйственного сырья, сырья для лекарственных средств, фармацевтических препаратов;
- контроля полей импульсного излучения в непосредственной близости от линейных ускорителей в медицинских учреждениях;
- научные исследования.

Список литературы

1. STHF-R Gamma High Flux Probe. URL: <https://www.mirion.com/products/sthf-gamma-high-flux-probe>.
2. AMP-300 Meter. URL: <https://www.rotam-radiation.co.il/product/amp-300-meter/>
3. БДРС-09П. URL: <https://sniipplus.ru/products/%d0%b1%d0%b4%d1%80%d1%81-09%d0%bf/>
4. ГОСТ 27451-87, Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия.
5. IEC 60846-1, 2009-04, 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.
6. IEC 60846-2, 2015-12, Radiation protection instrumentation -Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation - Part 2: High range beta and photon dose and dose rate portable instruments for emergency radiation protection purposes.
7. IEC/TS 63050 2019-10, Radiation protection instrumentation - Dosimeters for pulsed fields of ionizing radiation
8. Богдан М.А., Курдя Ю.Ф., Карайкоза Т.М., Лукашевич Р.В., Лазаренко С.В. Широкодиапазонное устройство детектирования для дозиметрии непрерывного и импульсного фотонного излучения в жестких условиях эксплуатации. // АНРИ. 2021. №1(104). С. 21-30.