



ATOMTEX[®]

*Научно-производственное унитарное предприятие
«ATOMTEX»*

*Республика Беларусь, г. Минск
info@atomtex.com*

**Применение сцинтилляционных блоков-компараторов
для калибровки полей гамма-излучения по мощности
дозы в диапазоне 0,03 – 0,1 мкЗв/ч**

Лукашевич Р.В., Гузов В.Д., Верхуша Ю.А., Кожемякин В.А.



IEC 62533:2010

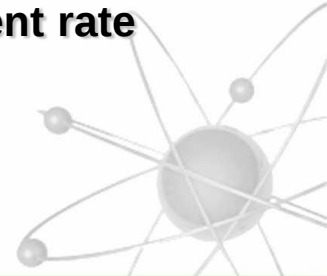
Radiation protection instrumentation - Highly sensitive hand-held instruments for photon detection of radioactive material

This International Standard applies to hand-held instruments used for the detection and localization of radioactive photon emitting materials. These instruments are highly sensitive meaning that they are designed to detect slight variations in the range of usual photon background caused mainly by illicit trafficking or inadvertent movement of radioactive material.

4.12 Effective range of measurement

The effective photon energy response range shall be stated by the manufacturer, and shall include the range from 45 keV to 1,5 MeV.

The manufacturer shall also state the **range for photon ambient dose equivalent rate** measurement. The range shall be at least from **0,02 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$** to 10 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.





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

This part of IEC 60846 series applies only to portable meters and monitors which are intended to be used in both the workplace and the environment. It applies to devices that measure the dose equivalent or dose equivalent rate from external beta and/or X and gamma radiation in the dose range between 0,01 μSv and 10 Sv and the **dose rate range** between **0,01 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$** and 10 $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ and in the energy ranges given in the following Table. All the energy values are mean energies with respect to the prevailing dose quantity.



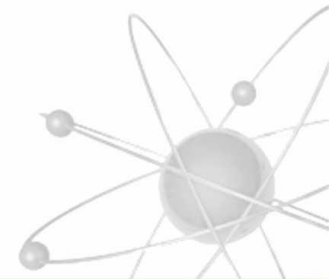


IEC 61017:2016

Radiation protection instrumentation - Transportable, mobile or installed equipment to measure photon radiation for environmental monitoring

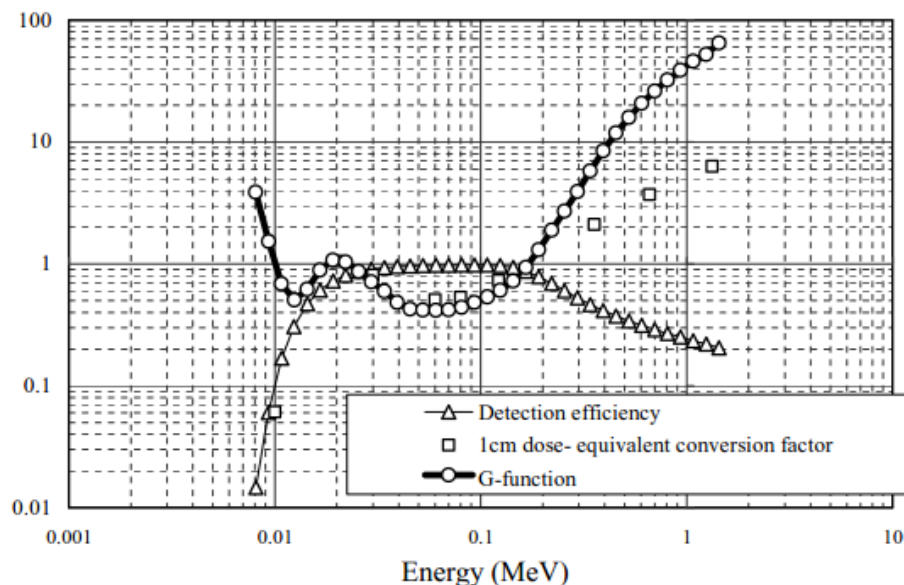
This International Standard is applicable to transportable, mobile or installed assemblies intended to measure environmental **air kerma rates** or air absorbed dose rates from **30 nGy·h⁻¹** to 30 μGy·h⁻¹ or **ambient dose equivalent rates** from **30 nSv·h⁻¹** to 30 μSv·h⁻¹, or air kerma or air absorbed dose from 10 nGy to 10 mGy, or ambient dose equivalent from 10 nSv to 10 mSv, due to photon radiation of energy between 50 keV and 7 MeV. The measurable range of dose and dose rate can be extended by agreement between the purchaser and the manufacturer.

This extension may be realized by combining more than one detector, for example NaI(Tl) scintillator and ionization chamber. For most environmental applications, instruments may measure over a more limited energy range of 80 keV to 3 MeV.





Спектрометрический метод дозиметрии для получения величины дозы непосредственно из аппаратного спектра, используя функцию радиационного отклика в качестве ядра интегрального преобразования от характеристики поля к дозе.



*Moriuchi, S. A new method of dose evaluation by spectrum-dose conversion operator and determination of the operator / S. Moriuchi // JAERI 1209, Japan Atomic Energy Research Institute (1970).



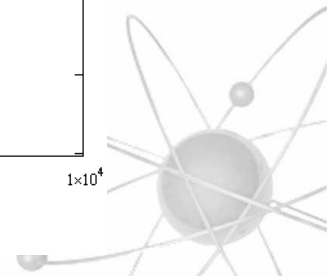
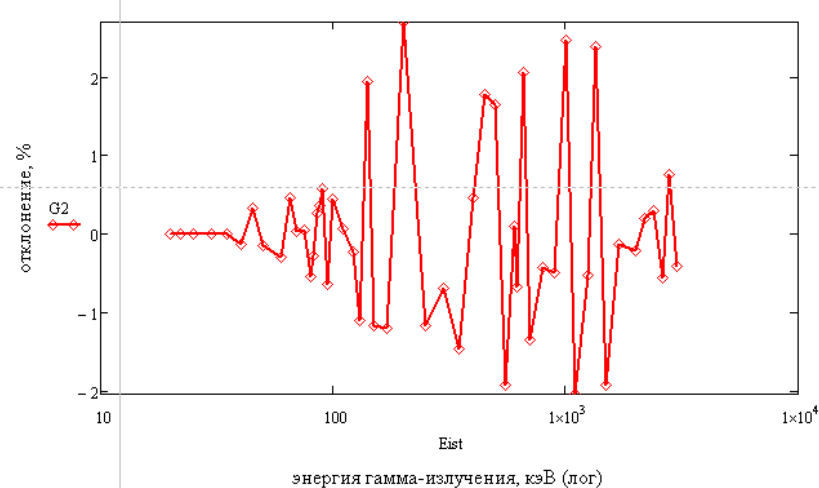
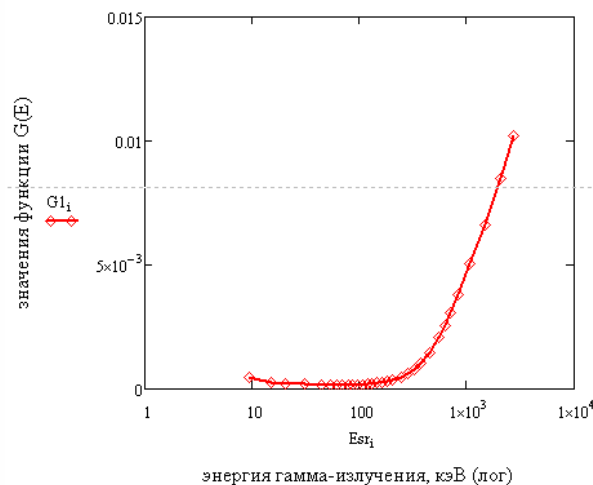


Разработан алгоритм расчета функций радиационного отклика, в основе которого:

- подбор энергетических интервалов для минимизации отклонений функций радиационного отклика;

- использование интерполяции полученных экспериментальных и теоретических аппаратурных функций отклика блоков детектирования,

- учет реальной ширины энергетического канала используемых блоков детектирования.

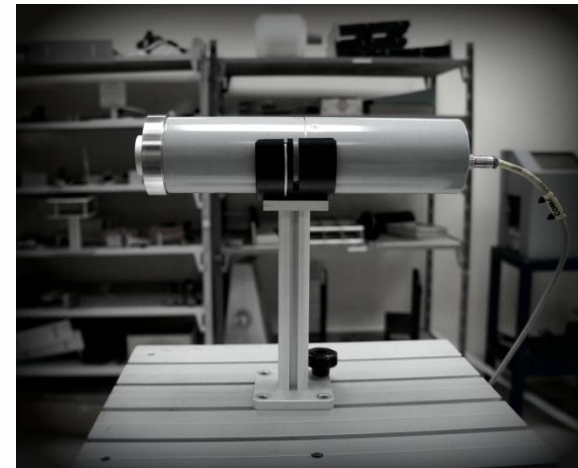
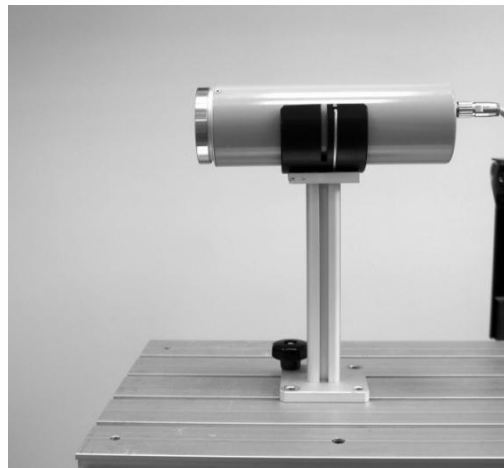
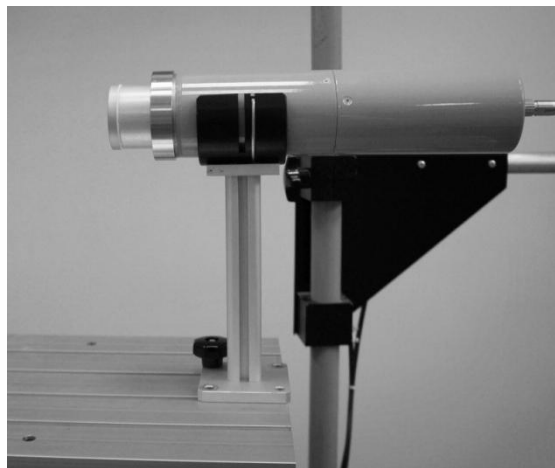




На основе серийно выпускаемых сцинтилляционных блоков детектирования:

- БДКГ-05 с NaI(Tl) кристаллом Ø40x40 мм;
- БДКГ-03 с NaI(Tl) кристаллом Ø25x16 мм;
- БДКР-01 с NaI(Tl) кристаллом Ø9x2 мм с Ве окном

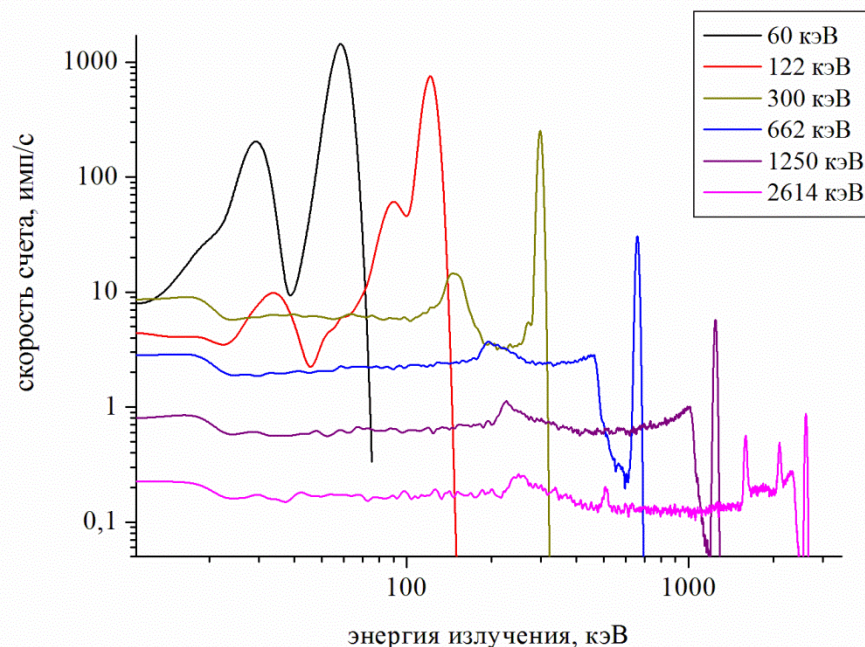
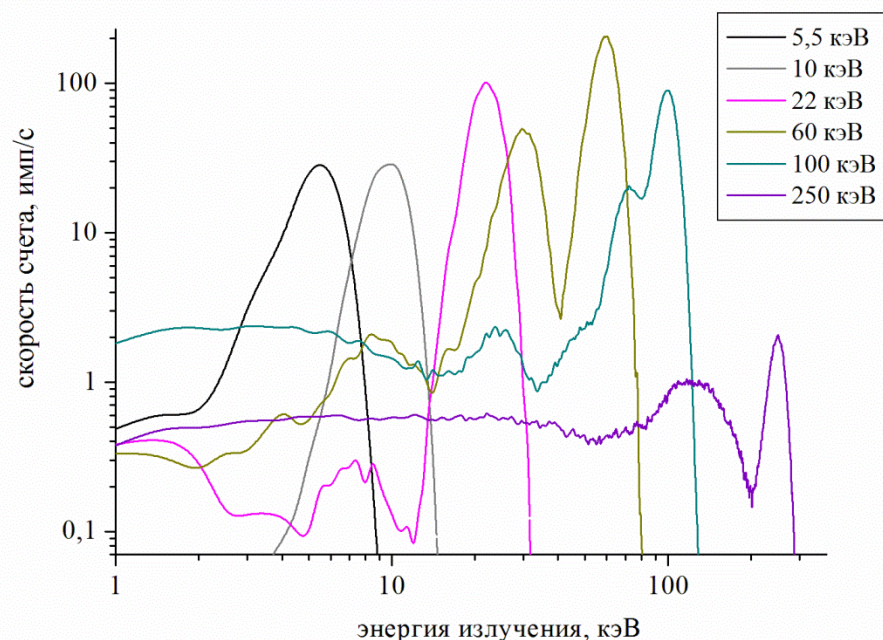
разработаны блоки-компараторы рентгеновского и гамма-излучения с использованием алгоритма расчета функций радиационного отклика.



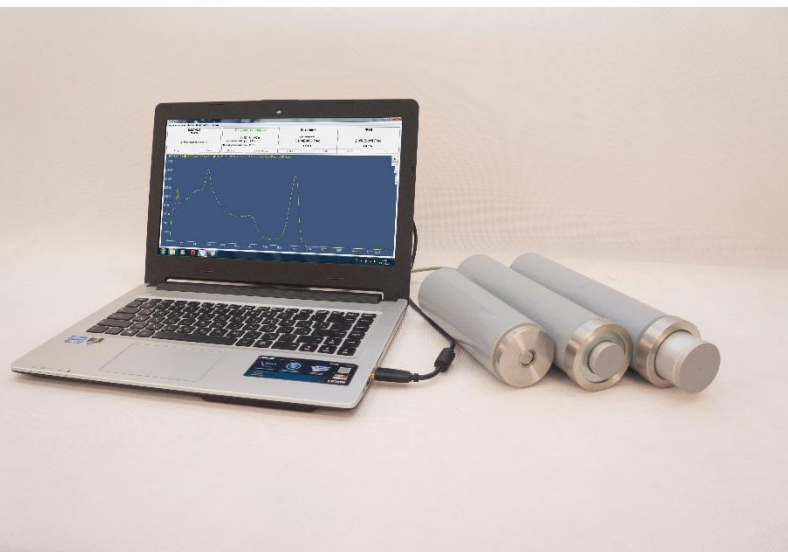
Блоки-компараторы позволяют измерять мощность воздушной кермы, мощность амбиентного эквивалента дозы и экспозиционной дозы.



Для расчета аппаратных функций отклика детекторов применяется программный комплекс *SNEGMONT*, который был разработан в Беларуси



Аппаратурные функции отклика NaI(Tl) детекторов Ø9х2 мм и Ø40х40 мм на моноэнергетическое гамма-излучение, рассчитанные по методу Монте-Карло



Блоки-компараторы фотонного излучения (справа налево) БКМГ-АТ1102, БКМГ-АТ1106 и БКМР-АТ1104 и ПК со специальным прикладным ПО

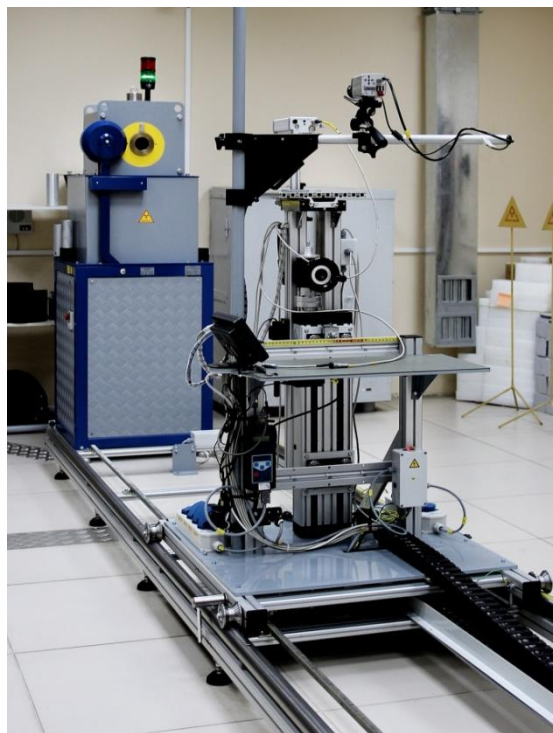
Основные характеристики	БКМГ-АТ1102	БКМГ-АТ1106
Детектор	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø40×40 мм	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø25×16 мм
Диапазон энергий	40 кэВ – 1250 кэВ	40 – 1250 кэВ
Диапазон измерения мощности кермы в воздухе	0,03 – 5 нГр/с (40 – 300 кэВ) 0,03 – 40 нГр/с (300 – 1250 кэВ)	0,03 – 7 нГр/с (40 – 300 кэВ) 0,03 – 340 нГр/с (300 – 1250 кэВ)
Типовое энергетическое разрешение	8 % (для энергии 662 кэВ (¹³⁷ Cs))	8 % (для энергии 662 кэВ (¹³⁷ Cs))
Чувствительность к гамма- излучению ²⁴¹ Am ¹³⁷ Cs ⁶⁰ Co	5800 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ 850 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ 420 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹	2050 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ 295 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹ 150 имп·с ⁻¹ /мкЗв·ч ⁻¹
Максимальная входная статистическая нагрузка	менее 2·10 ⁵ с ⁻¹	менее 2·10 ⁵ с ⁻¹
Количество каналов АЦП	1024	1024
Время установления рабочего режима	не более 1 мин	
Степень защиты	IP54	
Интерфейс	RS232	
Интерфейс подключения к ПК	USB (через адаптер интерфейсный)	
Диапазон рабочих температур	от 15°С до 25°С	
Относительная влажность воздуха при температуре 20°С и более низких без конденсации влаги	до 80%	
Габаритные размеры	Ø64х280 мм	Ø64х255 мм
Масса	1,2 кг	1,2 кг



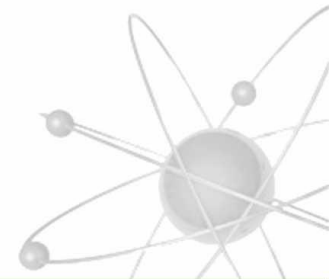
Апробация блоков-компараторов проведена на дозиметрических поверочных установках УДГ-АТ110, УДГ-АТ130 («АТОМТЕХ») и рентгеновской установке РАНТАК (БелГИМ)



УДГ-АТ110



УДГ-АТ130





Исследование основных метрологических характеристик и калибровка осуществлена во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (Санкт-Петербург, РФ) на государственных эталонах РФ: установках рентгеновского излучения УЭД 50-320, УЭД 5-50М (ГЭТ 8-2011) и установке гамма-излучения УИЭЗ (ГВЭТ 8-2)



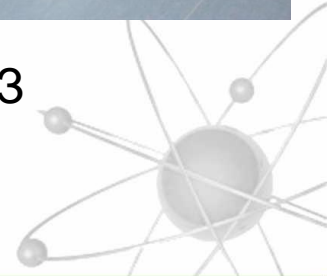
УЭД 50-320



УЭД 5-50М



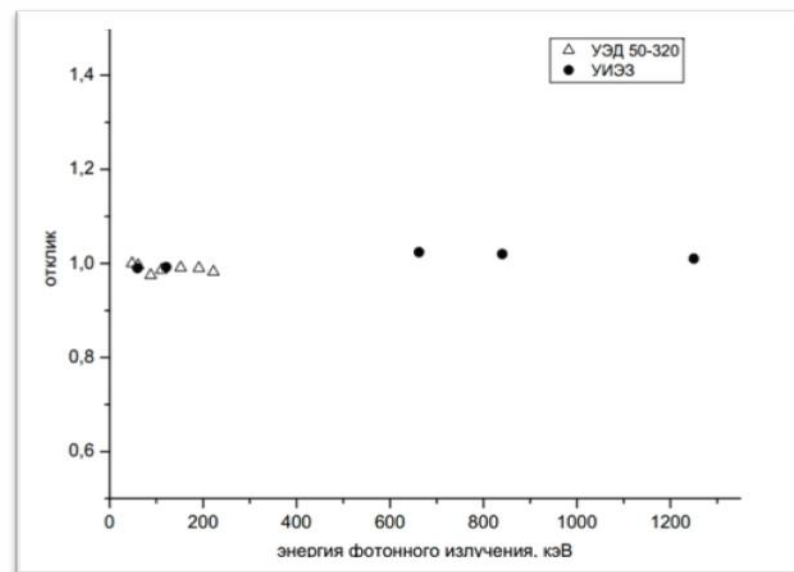
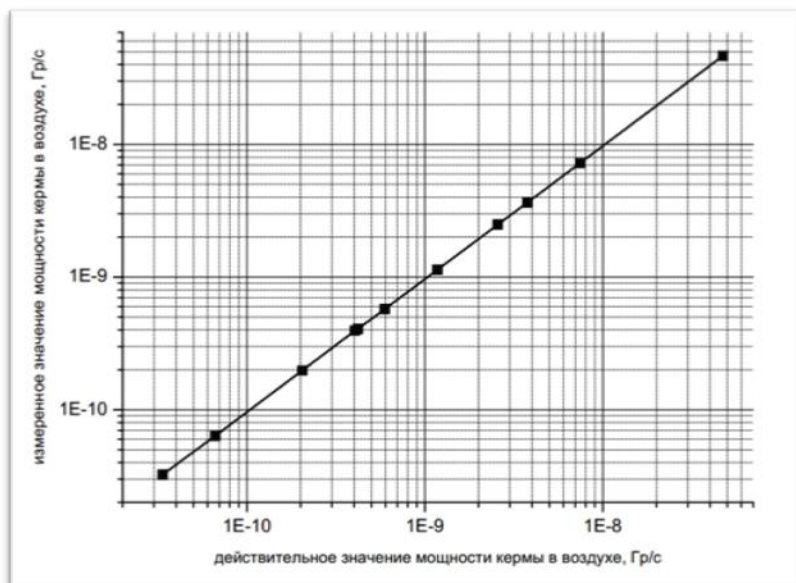
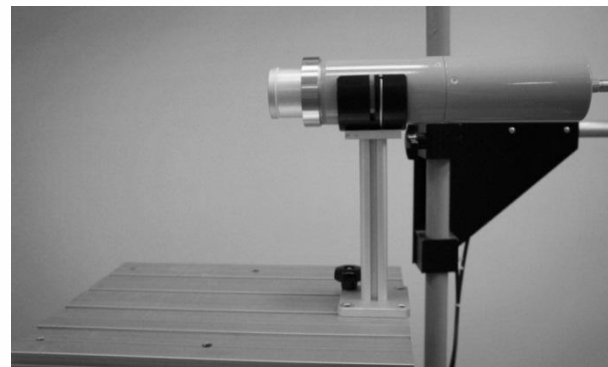
УИЭЗ





Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 0,03 - 100 нГр/с на эталонной установке гамма-излучения УИЭЗ с использованием источников гамма-излучения ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{60}Co ;

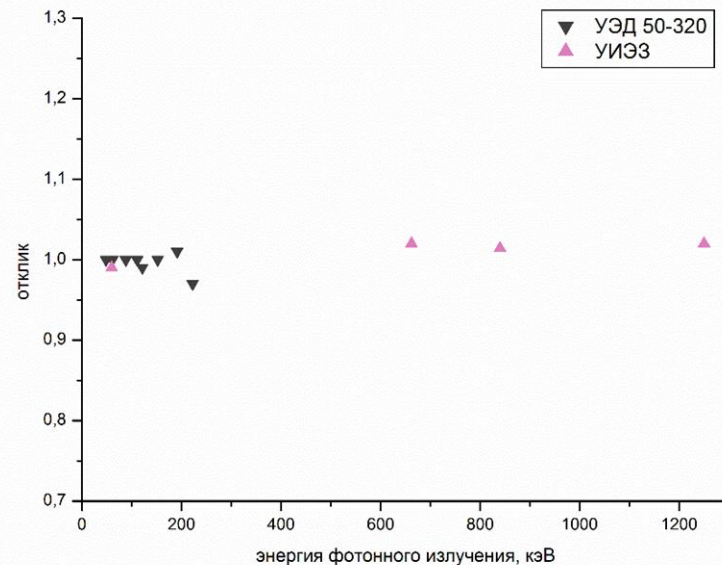
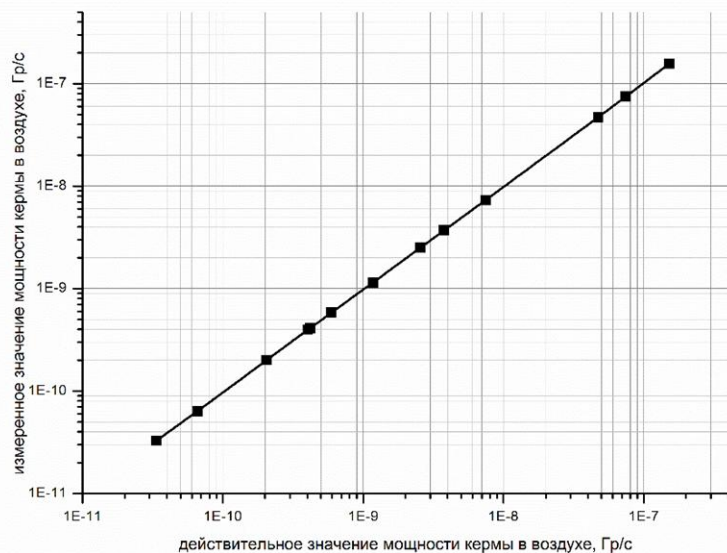
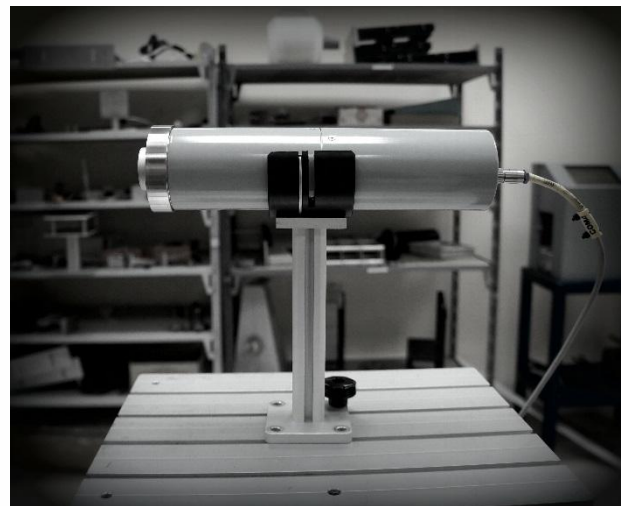
Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 1,2 - 12 нГр/с на эталонной установке рентгеновского излучения УЭД 50-320 (режим качества излучения L) в диапазоне энергий 31 – 222 кэВ.





Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 0,03 - 220 нГр/с на эталонной установке гамма-излучения УИЭЗ с использованием источников гамма-излучения ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{60}Co ;

Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 1,2 - 18 нГр/с на эталонной установке рентгеновского излучения УЭД 50-320 (режим качества излучения L) в диапазоне энергий 31 – 222 кэВ.





Калибровка приборов радиационной защиты, предназначенных для измерения мощности дозы гамма-излучения окружающей среды (согласно МЭК 60846-1:2009 и МЭК 61017:2016, приложения С).

Показание прибора можно представить как:

$$\dot{G} = R_c \cdot \dot{H}^*(10)_c + R_t \cdot \dot{H}^*(10)_t + R_s \cdot \dot{H}^*(10)_s + \dot{G}_0$$

где R_c - чувствительность к космической составляющей фонового излучения;

$\dot{H}^*(10)_c$ - МАЭД космической составляющей фонового излучения;

R_t - чувствительность к почвенной составляющей фонового излучения;

$\dot{H}^*(10)_t$ - МАЭД почвенной гамма-составляющей фонового излучения;

R_s - чувствительность к излучению калибровочного источника;

$\dot{H}^*(10)_s$ - МАЭД, создаваемая калибровочным источником;

$\dot{G}_0$ - вклад в показания прибора, возникающий из-за собственного фона или электронных помех прибора.





Процедура калибровки (IEC 60846-1:2009 и IEC 61017:2016).

1. Показания прибора без источника излучения:

$$\dot{G}_{S0} = R_c \cdot \dot{H}^*(10)_c + R_t \cdot \dot{H}^*(10)_t + \dot{G}_0(1)$$

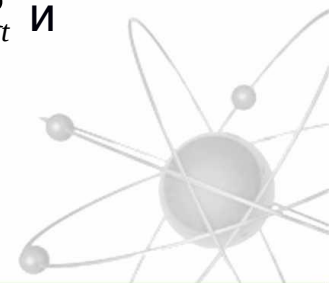
2. Показания прибора при воздействии источника излучения:

$$\dot{G}_S = R_c \cdot \dot{H}^*(10)_c + R_t \cdot \dot{H}^*(10)_t + R_s \cdot \dot{H}^*(10)_s + \dot{G}_0(2)$$

3. Из уравнения (2) вычитаем уравнение (1) и тем самым находим чувствительность к излучению калибровочного источника:

$$R_s = \frac{\dot{G}_S - \dot{G}_{S0}}{\dot{H}^*(10)_s}$$

Данный подход позволяет не учитывать чувствительности к космическому излучению R_c , к почвенной составляющей фона R_t и вклад от собственного фона детектора $\dot{G}_0$.



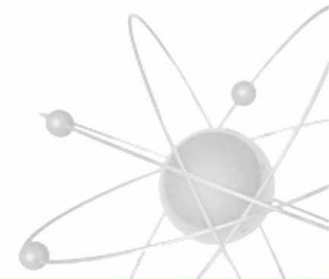


Процедура калибровки (IEC 60846-1:2009 и IEC 61017:2016).

В качестве альтернативы, в условиях низкого радиационного фона, использовать, по крайней мере, три различных значения МАЭД для калибровки;

1. Определить вклад в показания $\dot{G}_0$ при помощи экстраполяции показаний к «нулевой» МАЭД;

2. Определить чувствительность R_s по крутизне линейной зависимости показаний измерительного прибора G_s относительно МАЭД калибровочного источника.

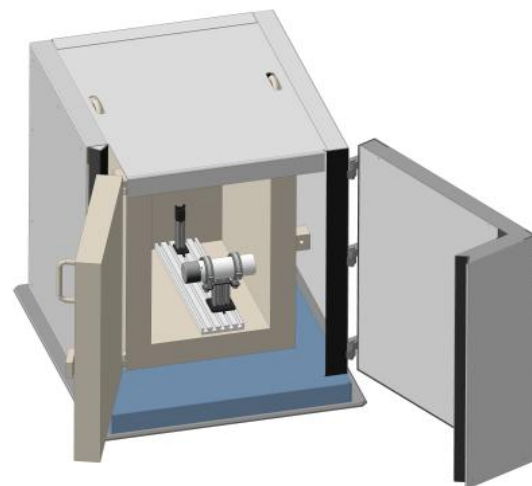
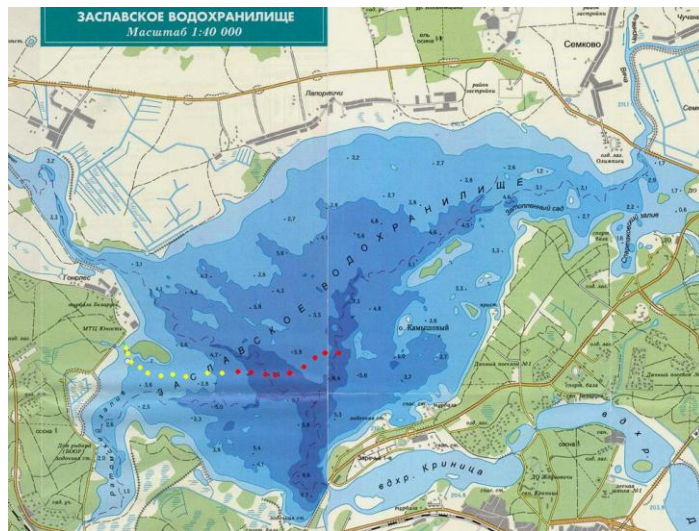


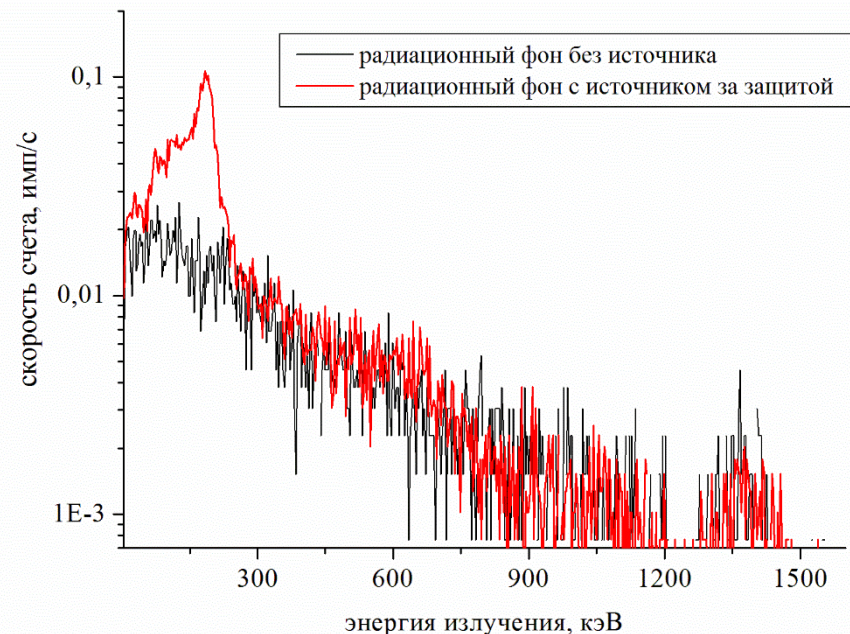
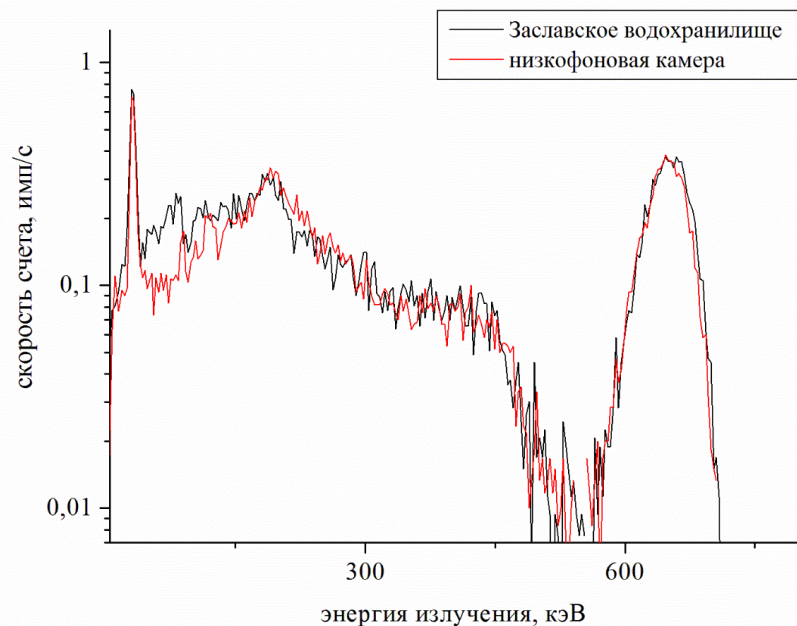


Согласно МЭК 60846-1:2009 и МЭК 61017:2016 были разработана методика калибровки блоков-компараторов в околофоновых полях фотонного излучения.

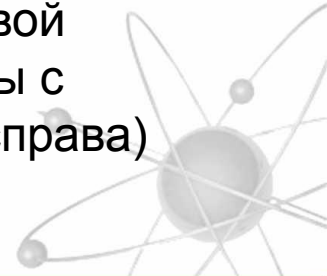


- Апробация и предварительная калибровка на Заславском водохранилище и в низкофоновой камере в УП «АТОМТЕХ» (с целью минимизации влияния ЕРН).



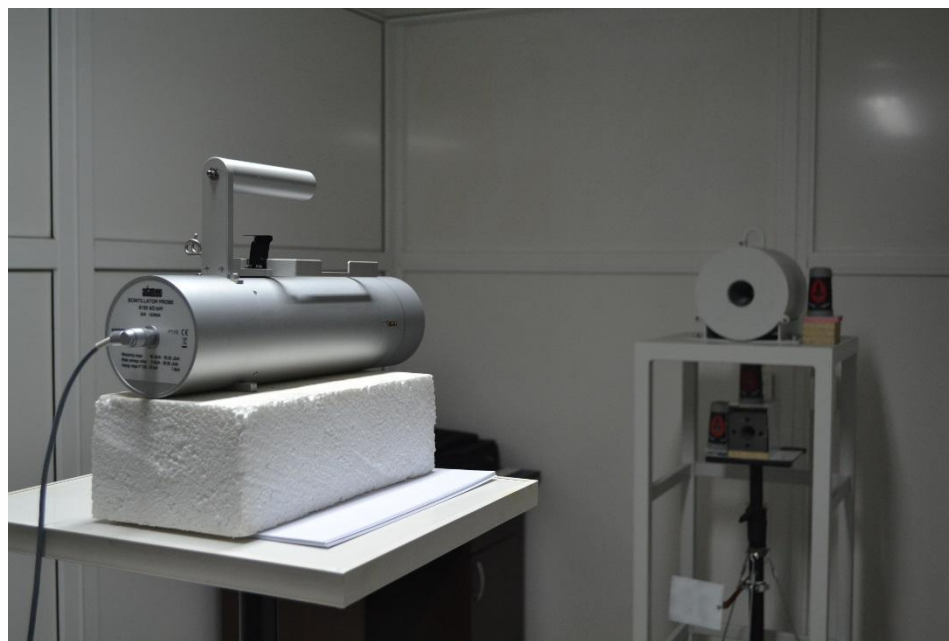


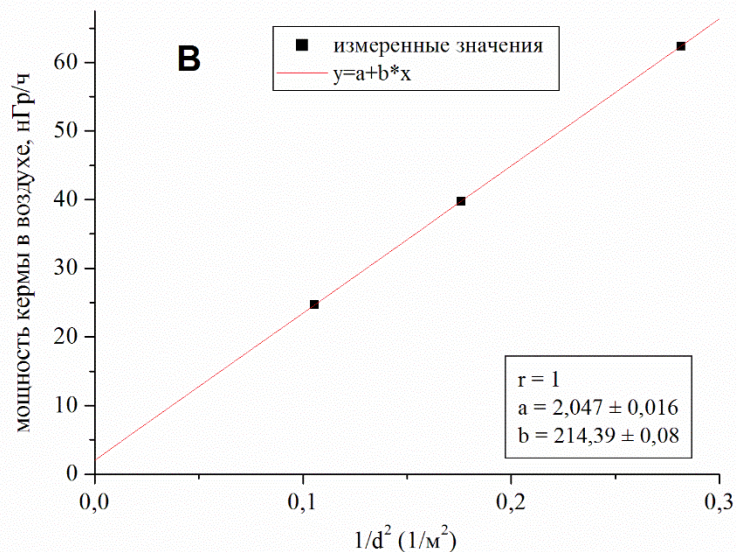
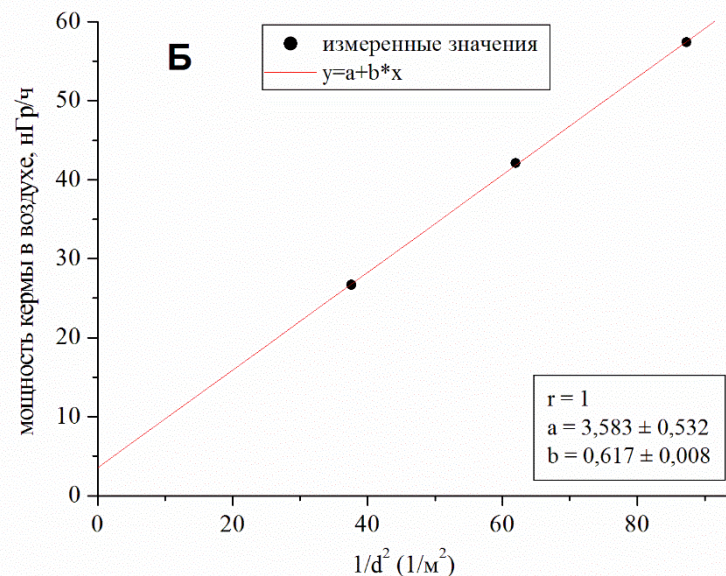
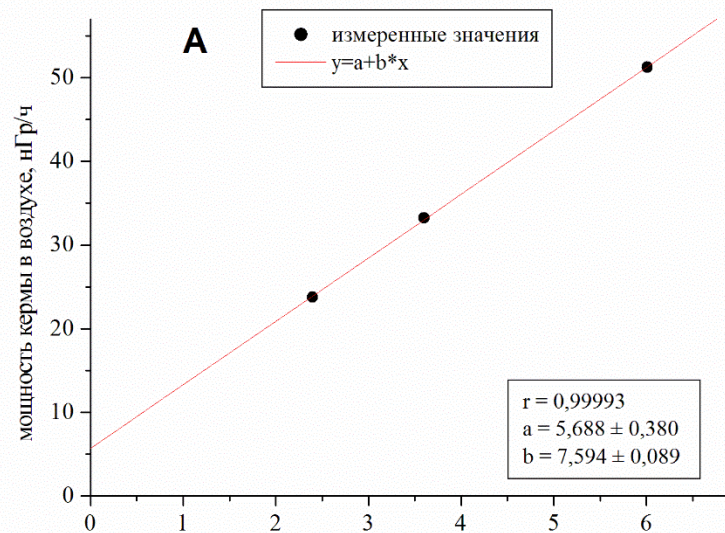
Приведенные спектры от источника гамма-излучения типа ОСГИ с радионуклидом ^{137}Cs (расчетное значение мощности кермы в воздухе - 25 нГр/ч), полученные на Заславском водохранилище и в низкофоновой камере в УП «АТОМТЕХ» (слева) и приведенные фоновые спектры с источником за защитой и без источника в низкофоновой камере (справа)



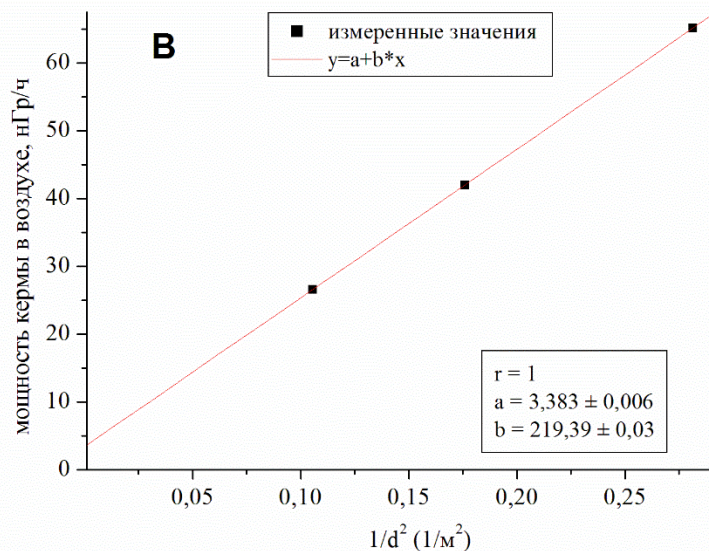
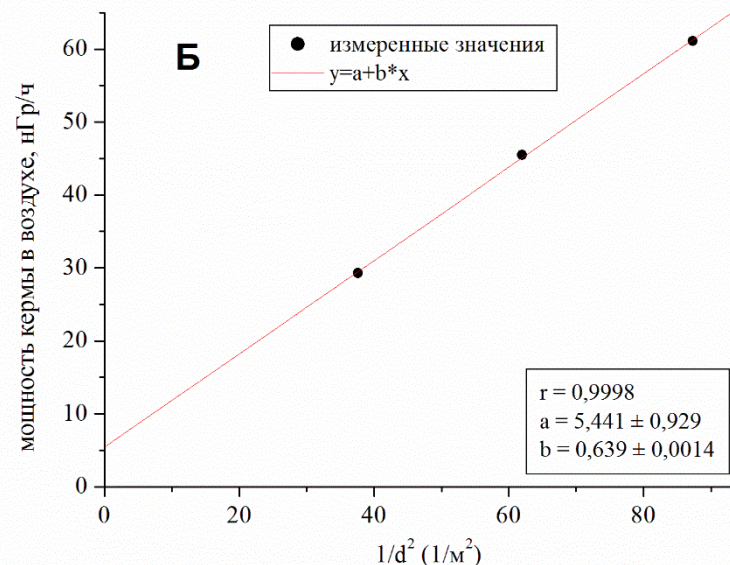
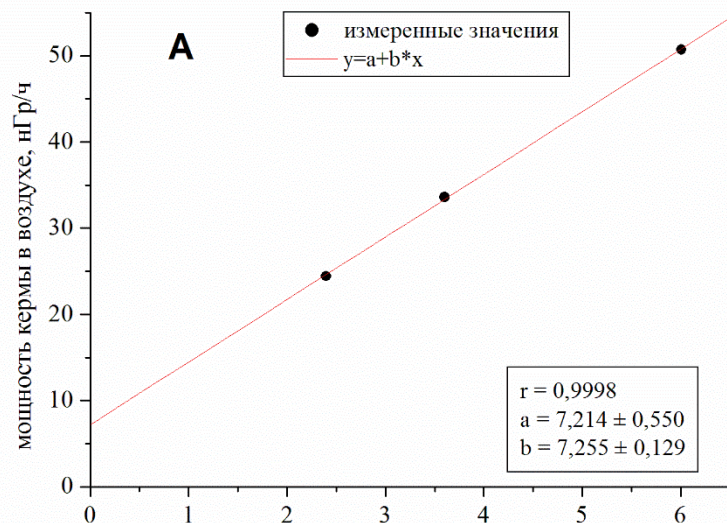


Калибровка блоков-компараторов по МАЭД в низкофоновой лаборатории SPLBRL в соляной шахте (г. Слэник, Румыния) с использованием источника гамма-излучения ^{137}Cs в диапазоне 25 – 80 нЗв/ч методом сличения при помощи компаратора AUTOMESS 6150 AD-b/H





Результаты экстраполяции показаний мощности кермы в воздухе, создаваемой источником гамма-излучения ^{137}Cs на бесконечное расстояние «источник-детектор» на Заславском водохранилище (А), в низкофоновой камере (Б) и в лаборатории SPLBRL (В) для блока-компаратора БКМГ-АТ1102

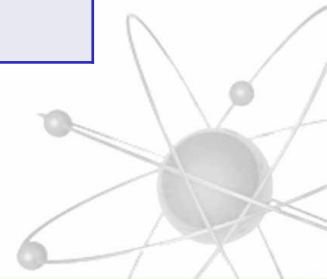


Результаты экстраполяции показаний мощности кермы в воздухе, создаваемой источником гамма-излучения ^{137}Cs на бесконечное расстояние «источник-детектор» на Заславском водохранилище (А), в низкофоновой камере (Б) и в лаборатории SPLBRL (В) для блока-компаратора БКМГ-АТ1106



Результаты расчетов и измерений радиационного фона в различных условиях с целью определения (оценки вклада) компонент радиационного фона для блока-компаратора БКМГ-АТ1102

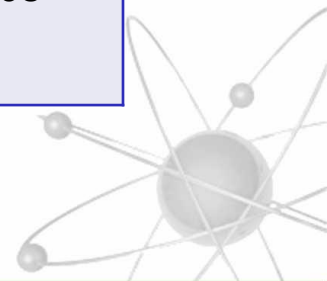
БКМГ-АТ1102	Результаты измерения радиационного фона, нГр/ч		
	Лаборатория SPLBRL	Заславское водохранилище	Низкофоновая камера
Измеренные значения радиационного фона	$2,32 \pm 0,12$	$5,15 \pm 0,69$	$3,64 \pm 0,31$
Значения радиационного фона, полученные путем экстраполяции измерений мощности кермы в воздухе ($1/d^2 \rightarrow 0$)	$2,05 \pm 0,02$	$5,69 \pm 0,38$	$3,58 \pm 0,53$





Результаты расчетов и измерений радиационного фона в различных условиях с целью определения (оценки вклада) компонент радиационного фона для блока-компаратора БКМГ-АТ1106

БКМГ-АТ1106	Результаты измерения радиационного фона, нГр/ч		
	Лаборатория SPLBRL	Заславское водохранилище	Низкофоновая камера
Измеренные значения радиационного фона	$3,74 \pm 0,48$	$7,12 \pm 1,07$	$5,66 \pm 0,87$
Значения радиационного фона, полученные путем экстраполяции измерений мощности кермы в воздухе ($1/d^2 \rightarrow 0$)	$3,38 \pm 0,06$	$7,21 \pm 0,55$	$5,44 \pm 0,93$





Разработана методика калибровки околофоновых полей с использованием блоков-компараторов и внедрена в УП «АТОМТЕХ» для проверки нижней границы диапазона измерения мощности дозы средств измерений, при исследовании дозовых характеристик и калибровки серийно выпускаемых дозиметрических средств измерений в диапазоне мощности дозы 0,03 – 0,1 мкЗв/ч в низкофоновой камере.

Результаты подтверждены протоколом калибровки серийно выпускаемых средств измерений, актом внедрения метода калибровки для серийно выпускаемых дозиметрических средств измерений.



БДКГ-201М, БДКГ-203М,
БДКГ-205М, БДКГ-211М





Исследование линейности
дозовых характеристик
серийно выпускаемых
дозиметрических средств
измерений в диапазоне
мощности дозы 0,03 – 0,1
мкЗв/ч в УП «АТОМТЕХ»:

- блоков детектирования
БДКГ-204 из состава СРК-
АТ2327,
- БДКГ-03, БДКГ-04, БДКГ-05,
БДКГ-11, БДКГ-24, БДКГ-32
из состава МКС-АТ1117М,
- дозиметров-радиометров
МКС-АТ1125,
- спектрометров МКГ-
АТ1321, МКС-АТ6102,
блоков детектирования
БДКГ-201М, БДКГ-203М,
БДКГ-205М, БДКГ-211М



МКГ-АТ1321



МКС-АТ6102



МКС-АТ1117М



Апробирована методика калибровки дозиметрических средств измерений по мощности дозы в низкоинтенсивных полях фотонного излучения для задач радиационного мониторинга согласно рекомендациям международных технических стандартов.

Проведение измерений мощности дозы, сравнение чувствительности блоков-компараторов к гамма-излучению источника ^{137}Cs и оценка радиационного фона в низкофоновой лаборатории SPLBRL, на водохранилище и в низкофоновой камере в УП «ATOMTEX», позволяют использовать низкофоновую камеру для калибровки низкоинтенсивных полей гамма-излучения по мощности дозы с использованием блоков-компараторов.

Применение разработанной методики калибровки низкоинтенсивных полей фотонного излучения по мощности дозы методом компаратора, результаты калибровки блоков-компараторов в диапазоне 0,03 - 0,1 мкЗв/ч и следование рекомендациям МЭК 61017:2016 и МЭК 60846-1:2009 дают основания для использования блоков-компараторов для проверки дозовой характеристики высокочувствительных дозиметров в полях низкоинтенсивного фотонного излучения.





АТОМТЕХ[®]

Спасибо за внимание!

**Республика Беларусь
220005, Минск, ул. Гикало, 5
Тел./Факс: +375-17-292-81-42**

**info@atomtex.com
www.atomtex.com**

