

Научно-производственное унитарное предприятие  
«АТОМТЕХ»

**Создание блоков-компараторов  
для метрологической аттестации полей  
фотонного излучения по мощности дозы на  
базе серийно выпускаемых блоков  
детектирования**

**Лукашевич Р.В., Антонов А.В., Антонов В.И.,  
Барченко А.Г., Гузов В.Д., Кожемякин В.А., Фоков Г.А.**



Методы поверки (калибровки) образцовых и рабочих эталонов, рабочих средств измерения:

1. Метод непосредственных сличений;
2. Метод прямых измерений;
3. Метод косвенных измерений;
4. Метод сличения с помощью компаратора.



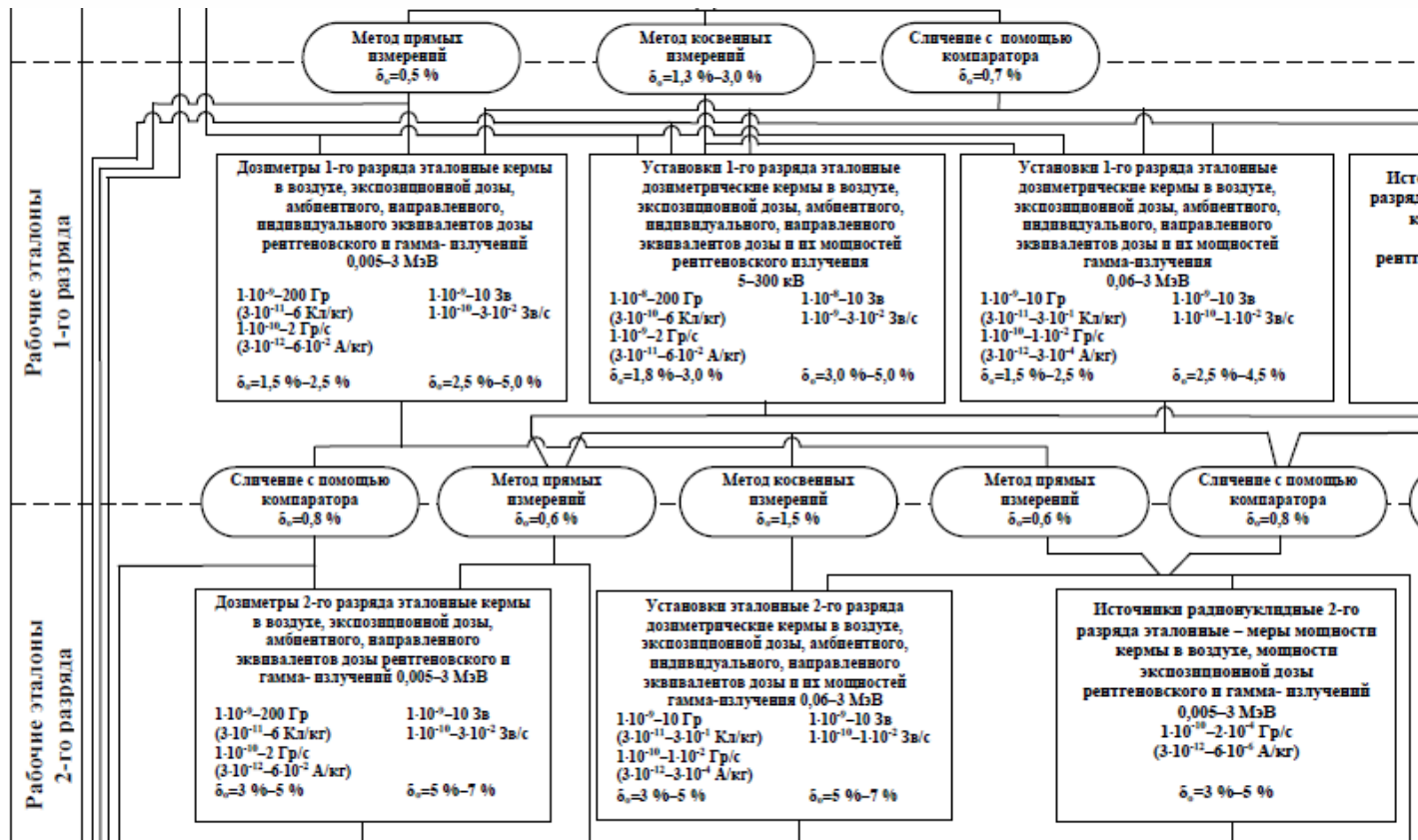


Дозиметрические установки гамма-излучения УДГ-АТ110, УДГ-АТ130:

- Рабочие лаборатории для исследований, настройки, испытаний и серийного выпуска дозиметрических приборов.
- Метрологические лаборатории, занимающиеся калибровкой и поверкой дозиметрических приборов.
- Дозиметрические лаборатории вторичных стандартов (SSDL).



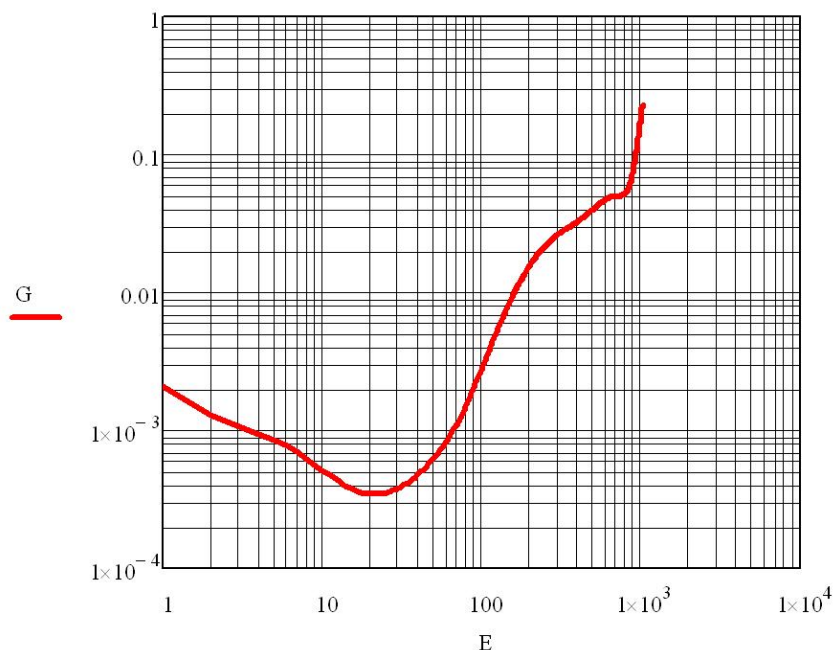
ГОСТ Р 8.804 – 2012. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ, МОЩНОСТИ КЕРМЫ В ВОЗДУХЕ, ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ, МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ, АМБИЕНТНОГО, НАПРАВЛЕННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭКВИВАЛЕНТОВ ДОЗЫ, МОЩНОСТЕЙ АМБИЕНТНОГО, НАПРАВЛЕННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭКВИВАЛЕНТОВ ДОЗЫ И ПОТОКА ЭНЕРГИИ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЙ



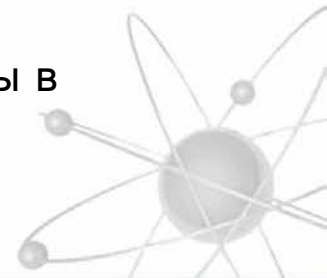


Спектрометрический метод определения мощности дозы, минимизирующий зависимость отклика детектора от энергии фотонного излучения.

• В основе метода лежат корректирующие весовые коэффициенты или функции с помощью которых аппаратный спектр преобразуется непосредственно в мощность дозы.



Функция преобразования  $G(E)$  БДКГ-03М для измерения мощности кермы в воздухе.



## Программный комплекс **SNEGMONT (Scattering of Nuclons, Electrons, Gamma by MONTE-Carlo)**:

- язык программирования VISUAL C++6;
- смешанная процедура моделирования переноса электронов и позитронов;
- диалоговый режим ввода исходных заданий;
- высокое быстродействие;
- динамические базы данных;
- многофункциональность (расчёт спектров, двумерных дозовых полей в областях интереса, функции отклика детекторов);
- визуализация процесса расчёта.



**Блок-компаратор гамма-излучения БКМГ-АТ1102:**

- блок детектирования **БДКГ05М** (с сцинтилляционным детектором **NaI(Tl)** Ø40x40мм);
- программное обеспечение.

Диапазон энергий: **40 - 3000 кэВ;**

Число каналов: **1024**

Диапазон измерения мощности кермы в воздухе:

**$1 \cdot 10^{-11} - 1,6 \cdot 10^{-9}$  Гр/с (40 – 300 кэВ);**

**$1 \cdot 10^{-11} - 2 \cdot 10^{-8}$  Гр/с (300 – 3000 кэВ);**

Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения:

**$1 \cdot 10^{-9} - 1,8 \cdot 10^{-7}$  Р/с (40 – 300 кэВ);**

**$1 \cdot 10^{-9} - 2,2 \cdot 10^{-6}$  Р/с (300 – 3000 кэВ);**

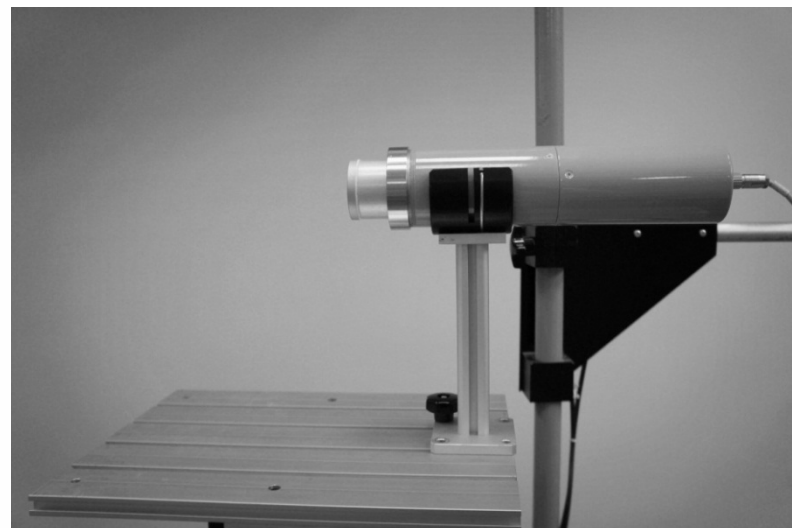
Диапазон измерения мощности эквивалента дозы гамма-излучения:

**$5 \cdot 10^{-8} - 7 \cdot 10^{-6}$  Зв/ч (40 – 300 кэВ);**

**$5 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-4}$  Зв/ч (300 – 3000 кэВ);**

Максимальная входная статистическая нагрузка:

**$7 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>**



Блок-компаратор рентгеновского излучения**БКМР-АТ1104:**

- блок детектирования **БДКР01М** (с сцинтилляционным детектором **Nal(Tl)**  $\varnothing 9 \times 2$  мм с бериллиевым окном  $\varnothing 14,5 \times 0,2$  мм);
- программное обеспечение.

Диапазон энергий: **5 - 330 кэВ;**

Число каналов: **512**

Диапазон измерения мощности кермы в воздухе:

**$1 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-8}$  Гр/с;**

Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения:

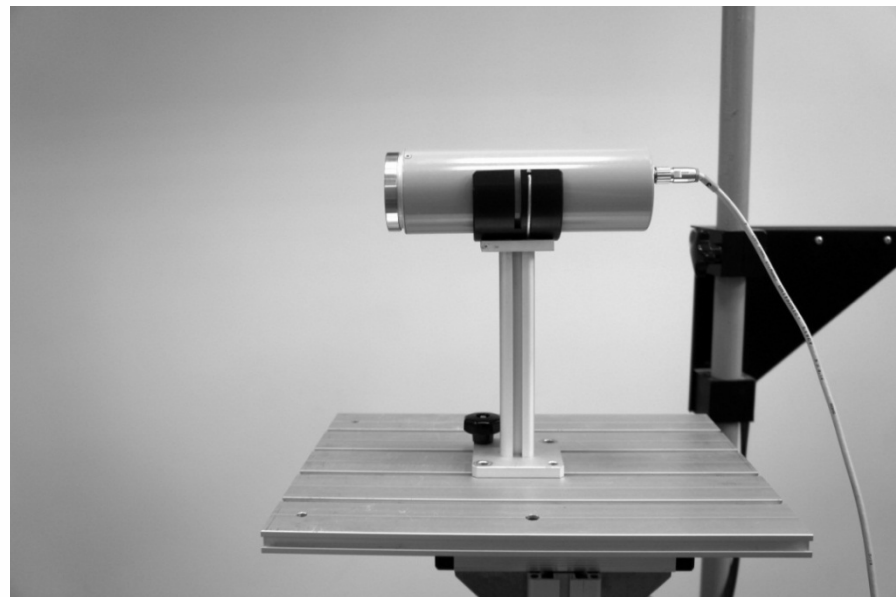
**$1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-6}$  Р/с;**

Диапазон измерения мощности AMBIENTного эквивалента дозы рентгеновского излучения:

**$5 \cdot 10^{-8} - 5 \cdot 10^{-5}$  Зв/ч;**

Максимальная входная статистическая нагрузка:

**$3,5 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>**





## УЭД 50-320 (ГЭТ 8-2011)



Установка УЭД 50-320 со свободно-воздушными ионизационными камерами для воспроизведения единиц кермы в воздухе, мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения при напряжении генерирования от 50 до 320 кВ, и передачи этих единиц вторичным и рабочим эталонам.

Погрешность  $\delta$ :  $\pm 0,9\%$ .

## УИЭЗ (ВЭТ 8-2-84/90)

Эталонная дозиметрическая установка гамма-излучения типа УИЭЗ из состава ВЭТ 8-2-84/90.

Диапазон измерения: 0,2 мкЗв/ч – 5 Зв/ч.

Погрешность  $\delta$ :  $\pm 3\%$ .





Результаты измерения мощности кермы в воздухе на рентгеновской установке УЭД 50-320 (ГЭТ 8-2011).

• Блок-компаратор гамма-излучения БКМГ-АТ1102

Серия рентгеновского излучения (ISO 4037)	Энергия излучения, кэВ	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ значения мощности кермы, %
L55	48	1,530E-09	1,566E-09	2,3
L70	61	1,770E-09	1,829E-09	3,3
L100	88	1,663E-09	1,666E-09	0,2
L125	111	1,900E-09	1,862E-09	-2,0
L170	152	1,902E-09	1,839E-09	-3,3
L210	191	1,571E-09	1,599E-09	1,8
L240	222	1,193E-09	1,149E-09	-3,7

• Блок-компаратор рентгеновского излучения БКМР-АТ1104

Серия рентгеновского излучения (ISO 4037)	Энергия излучения, кэВ	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ значения мощности кермы, %
L35	31	8,434E-09	8,297E-09	-1,6
L55	48	5,982E-09	5,814E-09	-2,8
L70	61	6,811E-09	7,037E-09	3,3
L100	88	6,128E-09	6,035E-09	-1,5
L125	111	6,756E-09	6,522E-09	-3,5
L170	152	6,419E-09	6,262E-09	-2,4
L210	191	9,937E-09	9,841E-09	-1,0
L240	222	7,357E-09	7,112E-09	-3,3



Результаты измерения мощности кермы в воздухе на эталонной дозиметрической установке типа УИЭЗ.

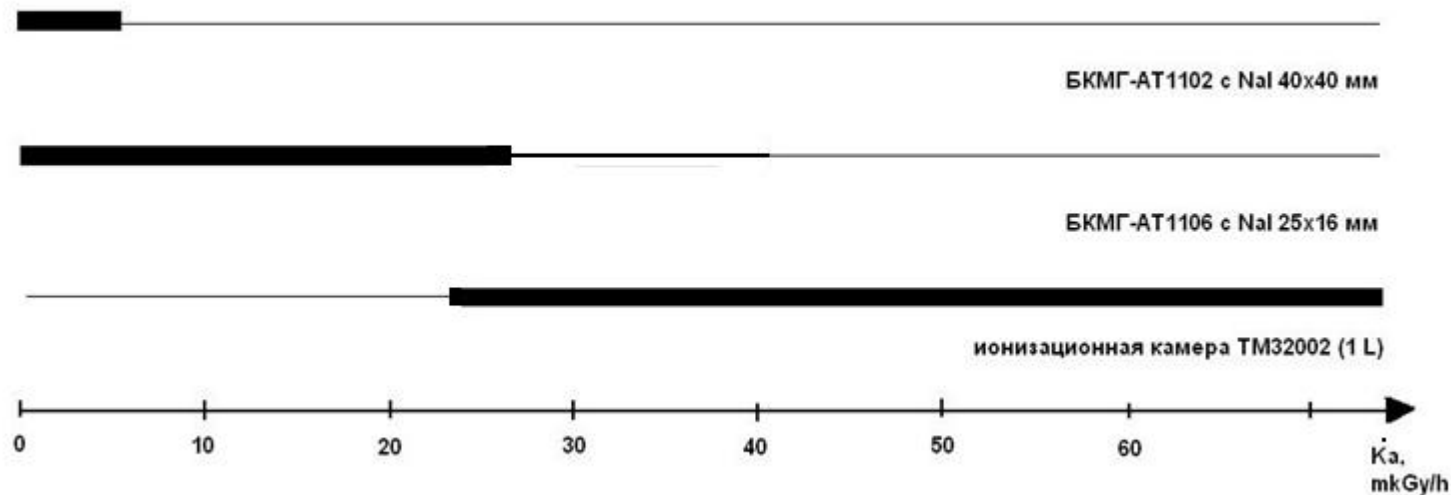
• Блок-компаратор гамма-излучения БКМГ-АТ1102

р/н	Энергия излучения, кэВ	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ зн мощности кермы, %
Cs-137	662	1,015E-09	1,019E-09	0,38
Cs-137	662	1,196E-08	1,209E-08	1,1
Am-241	59,6	3,358E-09	3,326E-09	-0,94
Co-60	1250	4,592E-09	4,620E-09	0,62
Co-57	122	3,408E-09	3,415E-09	0,19

• Блок-компаратор рентгеновского излучения БКМР-АТ1104

р/н	Энергия излучения, кэВ	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ зн мощности кермы, %
Am-241	59,6	3,358E-09	3,309E-09	-1,45
Co-57	122,0	3,399E-09	3,351E-09	-1,41
Cd-109 (1 диапазон)	22; 88	2,452E-09	2,445E-09	-0,3
Cd-109 (2 диапазон)	22; 88	2,452E-09	2,459E-09	0,3
Fe-55	5,9	3,984E-09	4,047E-09	1,6





Области перекрытия диапазонов измерения мощности кермы в воздухе для блоков-компараторов (диапазон энергий 40 – 300 кэВ) и ионизационной камеры ТМ32002 РТW (V= 1 l)



**Блок-компаратор гамма-излучения БКМГ-АТ1106:**

- блок детектирования **БДКГ03М** (с сцинтилляционным детектором **NaI(Tl)** Ø25x16мм);
- программное обеспечение.

Диапазон энергий: **40 - 3000 кэВ;**Число каналов: **1024**

Диапазон измерения мощности кермы в воздухе:

 **$1 \cdot 10^{-11} - 6,5 \cdot 10^{-9}$  Гр/с (40 – 300 кэВ);** **$1 \cdot 10^{-11} - 2 \cdot 10^{-7}$  Гр/с (300 – 3000 кэВ);**

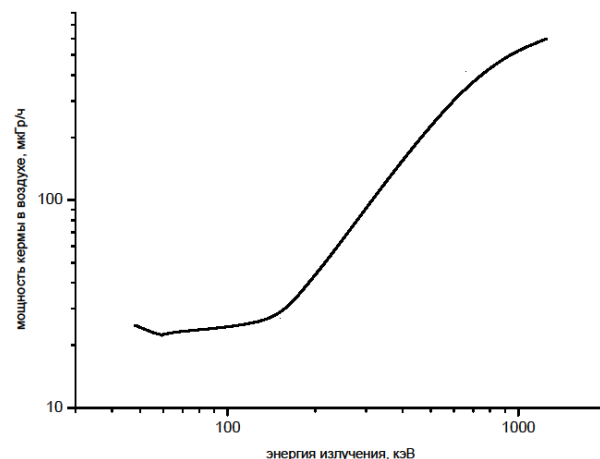
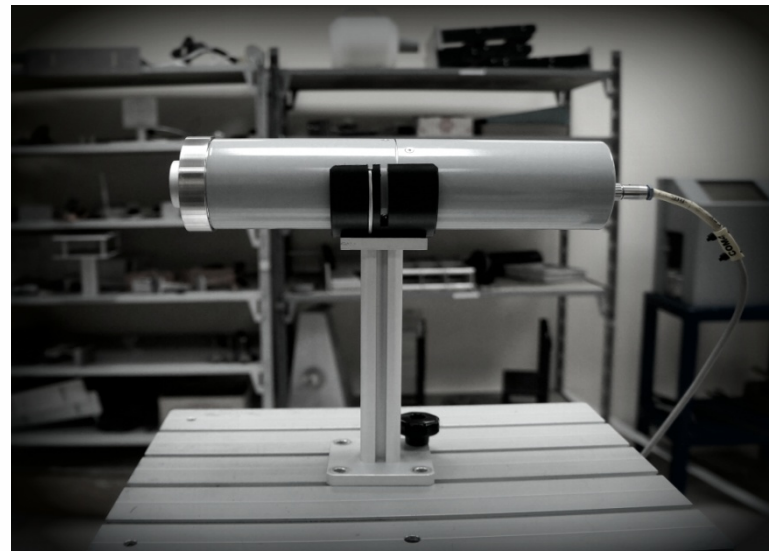
Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения:

 **$1 \cdot 10^{-9} - 7,5 \cdot 10^{-7}$  Р/с (40 – 300 кэВ);** **$1 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-5}$  Р/с (300 – 3000 кэВ);**

Диапазон измерения мощности эквивалента дозы гамма-излучения:

 **$5 \cdot 10^{-8} - 2,5 \cdot 10^{-5}$  Зв/ч (40 – 300 кэВ);** **$5 \cdot 10^{-8} - 6 \cdot 10^{-4}$  Зв/ч (300 – 3000 кэВ);**

Максимальная входная статистическая нагрузка:

 **$1 \cdot 10^5$  с<sup>-1</sup>**



Результаты измерения мощности кермы в воздухе на рентгеновской установке УЭД 50-320 (ГЭТ 8-2011).

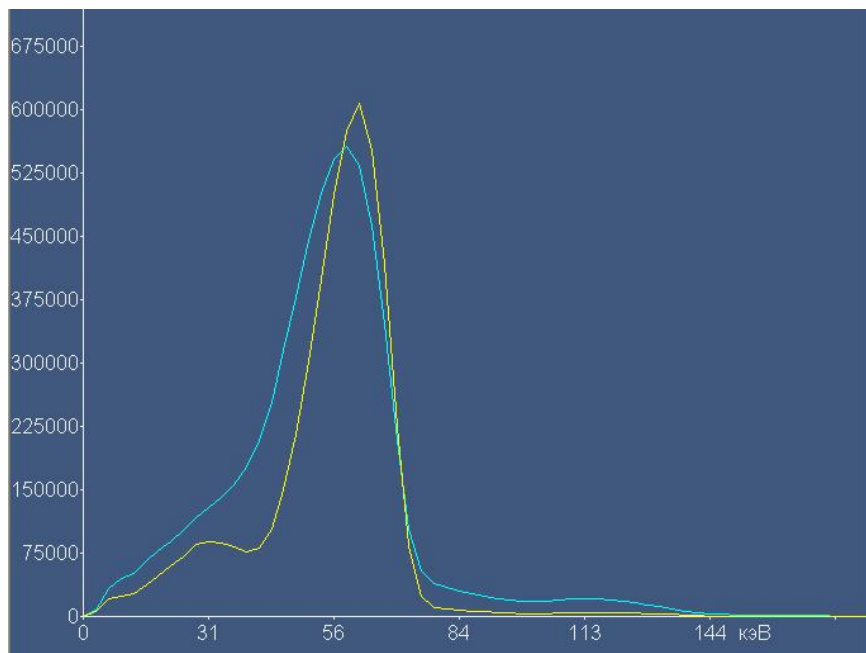
Серия рентгеновского излучения (ISO 4037)	Энергия излучения, кэВ	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ значения мощности кермы, %
L55	48	2,95E-09	2,903E-09	-1,62
L70	61	1,72E-09	1,698E-09	-1,51
L100	88	3,09E-09	3,133E-09	1,42
L125	111	3,43E-09	3,471E-09	1,01
L170	152	3,35E-09	3,39E-09	1,04
L210	191	2,73E-09	2,737E-09	0,26
L240	222	2,07E-09	2,105E-09	1,69

Результаты измерения мощности кермы в воздухе на эталонной дозиметрической установке типа УИЭЗ.

р/н	Энергия излучения, кэВ	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ зн мощности кермы, %
Cs-137	662	2,428E-10	2,423E-10	0,21
Cs-137	662	1,985E-07	1,962E-08	1,17
Am-241	59,6	3,347E-09	3,306E-09	-1,20
Co-60	1250	3,905E-09	3,931E-09	0,67
Co-57	122	1,089E-09	1,103E-09	1,29



Рентгеновские линии	Ток, мА	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Скорость счета, имп/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ зн мощности кермы, %
L70	0,1	1,72E-09	27000	1,697E-09	-1,35
L70	0,2	3,39E-09	54000	3,507E-09	3,45
L70	0,4	6,79E-09	107000	7,52E-09	10,7
L70	0,6	1,01E-08	156000	1,197E-08	18,5



Результаты исследования линейной зависимости чувствительности БДМГ-АТ1106 с оконной функцией отклика G(E) на рентгеновской линии L70 (61 кэВ)

Приведенные спектры рентгеновской линии L70 (61 кэВ) при токе 0.1 и 0.6 мА



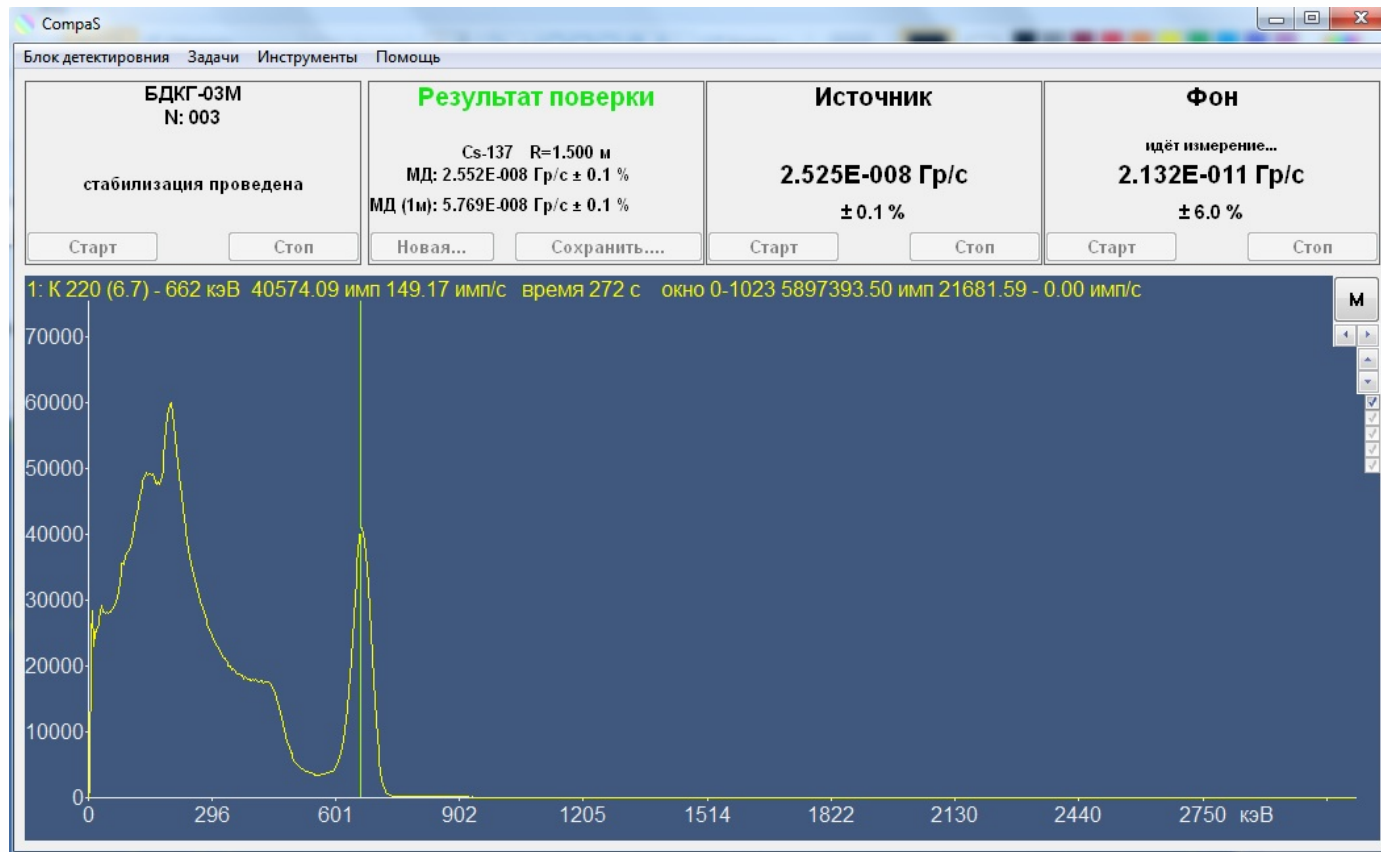


Результаты исследования линейной зависимости чувствительности БДМГ-АТ1106 с поканальной функцией отклика G(E) на рентгеновской линии L70 (УЭД 50-320) и на УДГ-АТ110 (АТОМТЕХ)

Рентгеновские линии	Ток, мА	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Скорость счета, имп/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ зн мощности кермы, %
L70	0,1	1,72E-09	27000	1,69E-09	-1,77
L70	0,2	3,39E-09	54000	3,37E-08	-0,51
L70	0,4	6,79E-09	107000	6,89E-09	1,59
L70	0,6	1,01E-08	156000	1,04E-09	2,98

p/n	Энергия излучения, кэВ	Действительное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Измеренное значение мощности кермы в воздухе, Гр/с	Отклонение изм от действ зн мощности кермы, %
Cs-137	662	1,096E-11	1,098E-11	0,17
Cs-137	662	6,948E-11	7,028E-11	1,15
Cs-137	662	2,412E-10	2,422E-10	0,41
Cs-137	662	2,018E-09	2,006E-09	-0,61
Cs-137	662	1,115E-08	1,115E-08	-0,94
Cs-137	662	9,669E-08	9,669E-08	0,62
Am-241	59,6	3,553E-10	3,528E-10	-0,71
Am-241	59,6	8,176E-10	8,082E-10	-1,16
Am-241	59,6	3,345E-09	3,326E-09	-0,58
Am-241	59,6	6,871E-09	6,984E-09	1,64





Пример работы специализированного ПО с блоком-компаратором БКМГ-АТ1106



- Использование специально отобранных блоков детектирования БДКР-01М, БДКГ-05М и БДКГ-03М с высокой стабильностью измерительного тракта и разрешением, позволяет использовать блоки в метрологии фотонного излучения с целью поверки образцовых и рабочих средств измерений, контроля источников.
- Использование блоков-компараторов в составе поверочных дозиметрических установок в качестве рабочего эталона 2 (1) разряда с погрешностью не более 5 (3) % с использованием мало интенсивных источников фотонного излучения ( $10^{-11}$  –  $10^{-7}$  Гр/с) в интервале энергий 5 — 3000 кэВ.
- Подобные блоки-компараторы параллельно используются как метрологическое средство в УП «АТОМТЕХ» г. Минск и ФГУП «ВНИИМ им Д.И. Менделеева» г. Санкт-Петербург.



*Спасибо за внимание*

**220005, Республика Беларусь  
г. Минск, ул. Гикало, 5  
тел./ факс: +375-17-292-81-42, 288-29-88**

**[info@atomtex.com](mailto:info@atomtex.com)**

**[www.atomtex.com](http://www.atomtex.com)**