

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»  
Республика Беларусь, г. Минск  
[info@atomtex.com](mailto:info@atomtex.com)

# **КАЧЕСТВА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭТАЛОННОЙ ПОВЕРОЧНОЙ УСТАНОВКИ УПР-АТ300 С МАЛОЙ МОЩНОСТЬЮ ДОЗЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ БЛОКОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ**

Р.В. Лукашевич, А.В. Новиченко, К.Г. Сеньковский



Дозиметрические средства измерений на основе неорганических сцинтилляционных детекторов:

- высокая чувствительность (от 0,03 мкЗв/ч): возможность регистрировать незначительные вариации техногенного излучения по отношению к естественному радиационному фону;
- высокая временная стабильность;
- зависимость чувствительности от энергии фотонного излучения.



МКГ-АТ1321



МКС-АТ6102

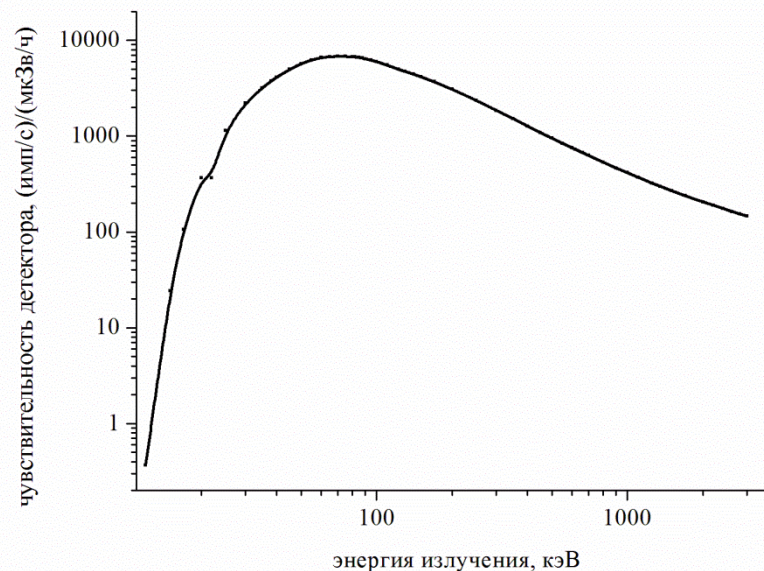
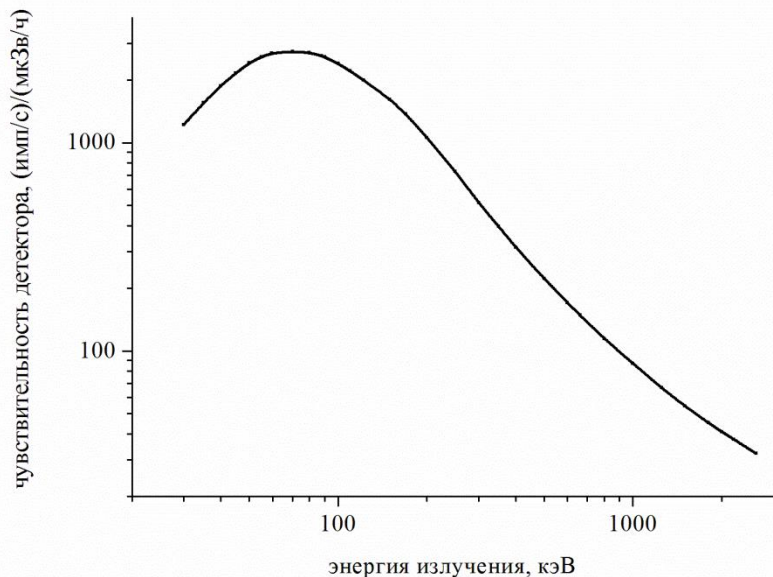


МКС-АТ1117М

## Проблематика

- Для исследования энергетической зависимости дозиметрических средств измерений используются эталонные дозиметрические установки гамма-излучения с ограниченным набором источников
- Набор источников гамма-излучения входящий в состав эталонных установок ограничен стоимостью или периодом распада радионуклидов
- На практике калибровка, исследование энергетической зависимости дозиметрических средств измерений проводится с использованием источников гамма-излучения  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$
- Может привести к ошибочным результатам при измерении мощности дозы в области рентгеновского диапазона





Расчетная зависимость чувствительности NaI(Tl) детекторов Ø25x16 мм и Ø40x40 мм от энергии фотонного излучения, полученная методом Монте-Карло

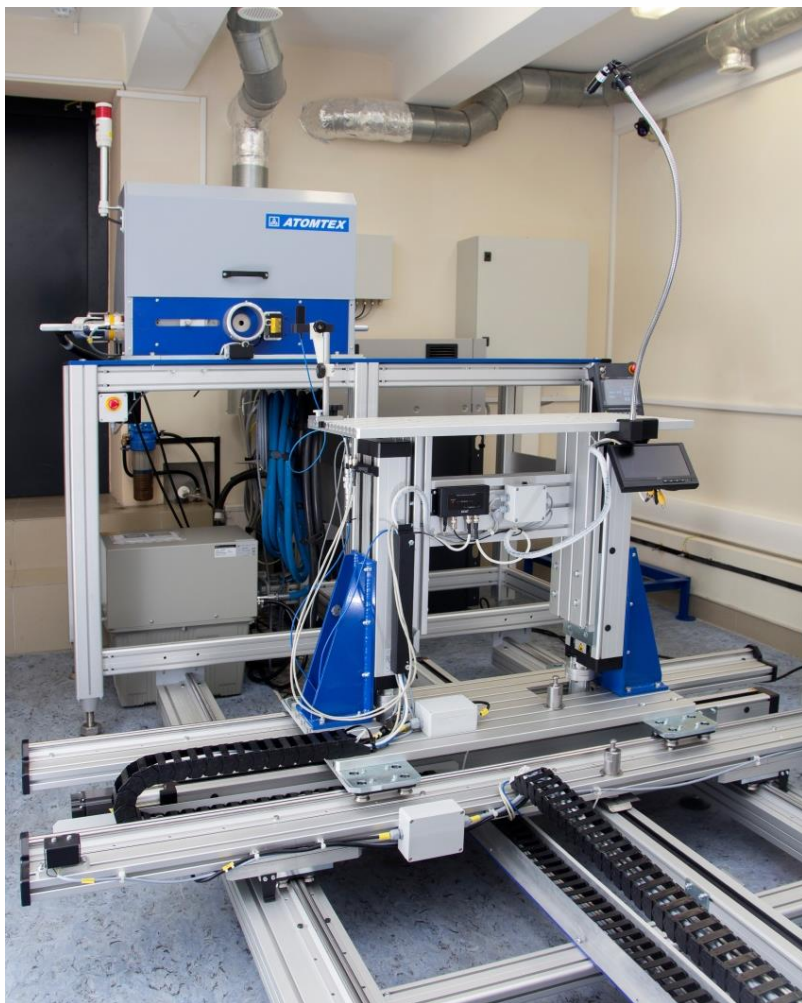


## Альтернатива

- Использование эталонных рентгеновских установок с широким набором качеств излучений в диапазоне энергий от единиц кэВ до 300 кэВ
- НО, нижняя граница диапазона мощности доз большинства рентгеновских установок составляет несколько десятков мкЗв/ч, которая находится за пределом рабочего диапазона измерения мощности дозы большинства средств измерений на основе неорганических сцинтилляционных детекторов



## Установка поверочная рентгеновского излучения УПР-АТ300



1. Высокоточные рентгеновские аппараты серии ISOVOLT Titan 320 и/или 225 с металлокерамическими трубками
2. Система позиционирования с автоматизированным перемещением рабочего стола по координатам X, Y, Z с точностью 50 мкм

### Диапазоны воспроизводимых единиц

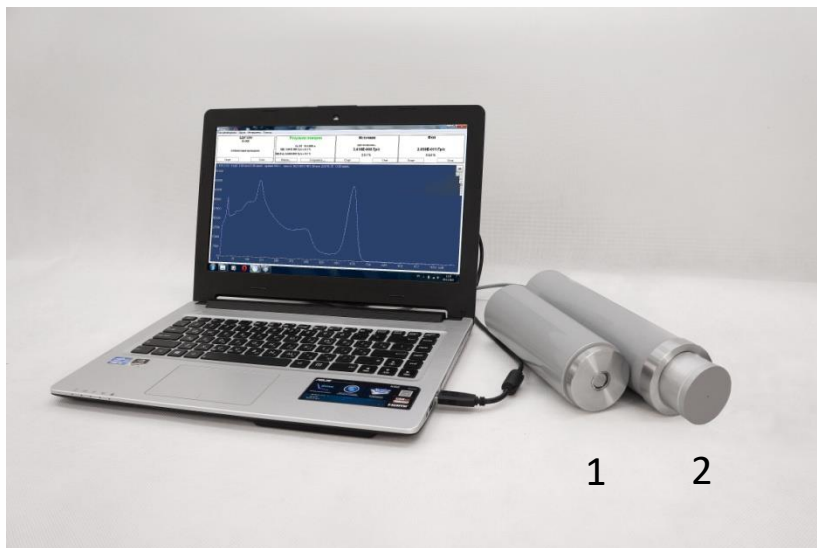
**мощность кермы в воздухе**  
14 нГр/с – 18 мГр/с

$\delta_0 = 1,8\% - 3\%$

**Рабочий эталон 1-го разряда**  
**(по ГОСТ Р 8.804-2012)**



# Спектрометрические блоки-компараторы рентгеновского и гамма- излучения



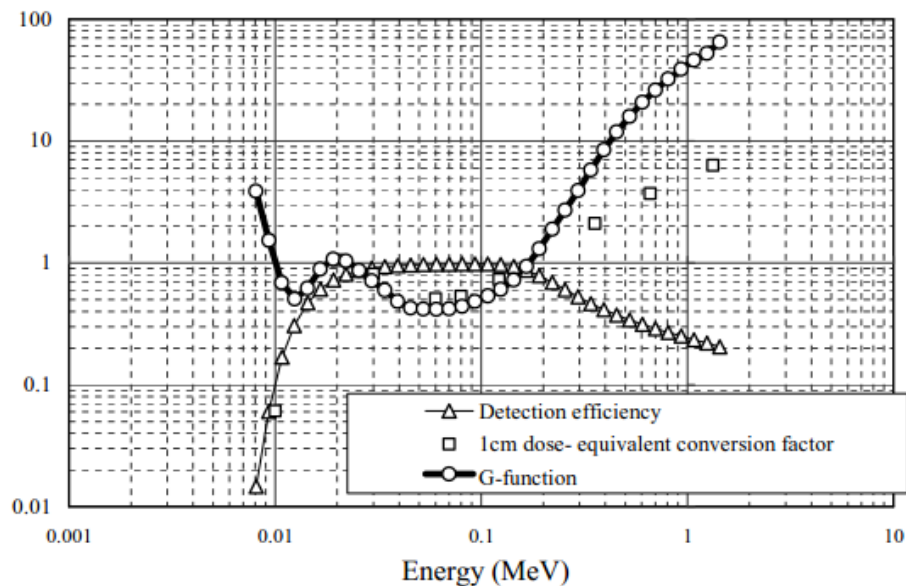
1 – Блок-компаратор рентгеновского излучения  
БКМР-АТ1104

2 – Блок-компаратор гамма-излучения БКМГ-  
АТ1102

Основные характеристики	БКМГ-АТ1102	БКМР-АТ1104
Детектор	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø40×40 мм	Сцинтилляционный NaI(Tl) Ø9×2 мм с Be окном
Диапазон энергий	40 кэВ – 1500 кэВ	5 – 330 кэВ
Диапазон измерения мощности кермы в воздухе	0,03 – 5 нГр/с (40 – 300 кэВ) 0,03 – 50 нГр/с (300 – 1500 кэВ)	0,4 – 50 нГр/с
Типовое энергетическое разрешение	8 % (для энергии 662 кэВ <sup>137</sup> Cs)	12,5% (для энергии 59,6 кэВ <sup>241</sup> Am)
Максимальная входная статистическая нагрузка	менее $2 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$	менее $1 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$
Предел основной относительной погрешности измерения МД	5-7%	5-7%
Количество каналов АЦП	1024	512
Интерфейс	RS232	
Интерфейс подключения к ПК	USB (через адаптер интерфейсный)	
Диапазон рабочих температур	от 15°C до 25°C	
Габаритные размеры, масса	Ø64x280 мм, 1,2 кг	Ø60x196 мм, 0,6 кг



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).

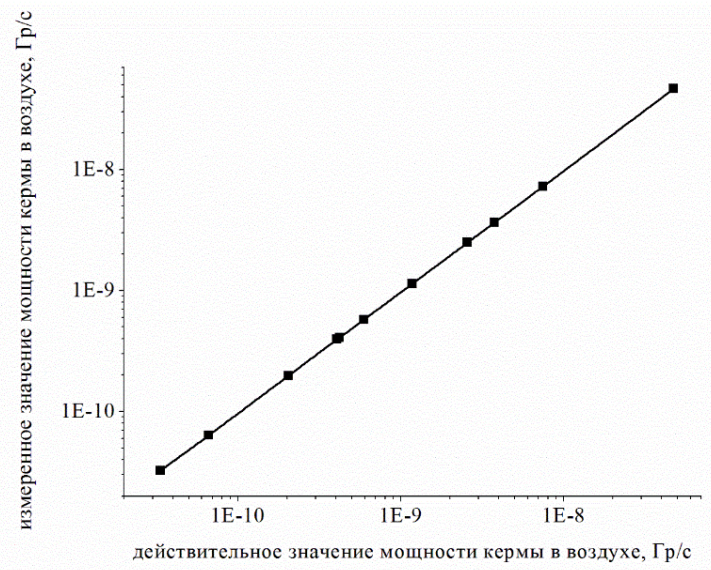
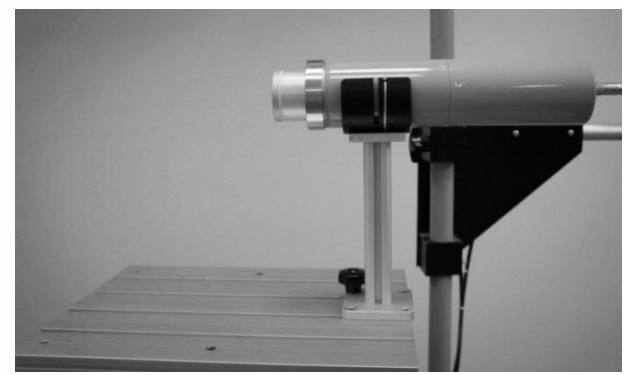




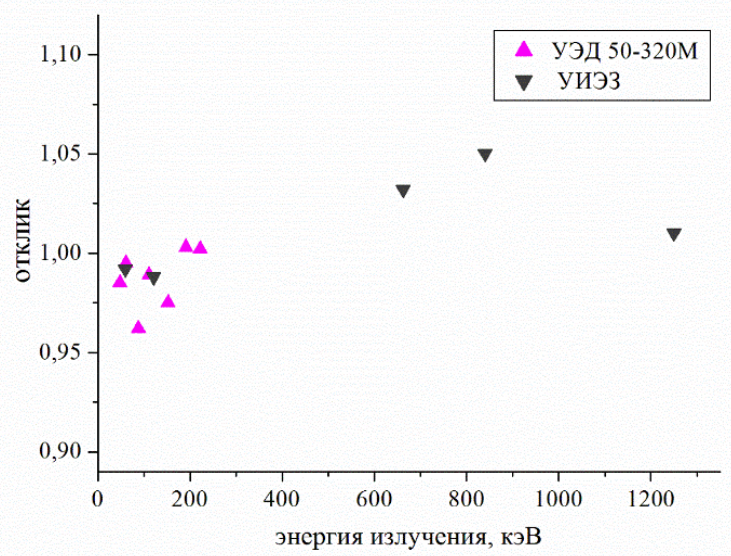
## Калибровка блока-компаратора БКМГ-АТ1102 в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»:

Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 0,02 - 100 нГр/с на эталонной установке гамма-излучения **УИЭЗ** с использованием источников гамма-излучения <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, <sup>60</sup>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.



**Линейность дозовой характеристики БКМГ-АТ1102**



**Энергетическая зависимость чувствительности БКМГ-АТ1102 в диапазоне 40 – 1500 кэВ**

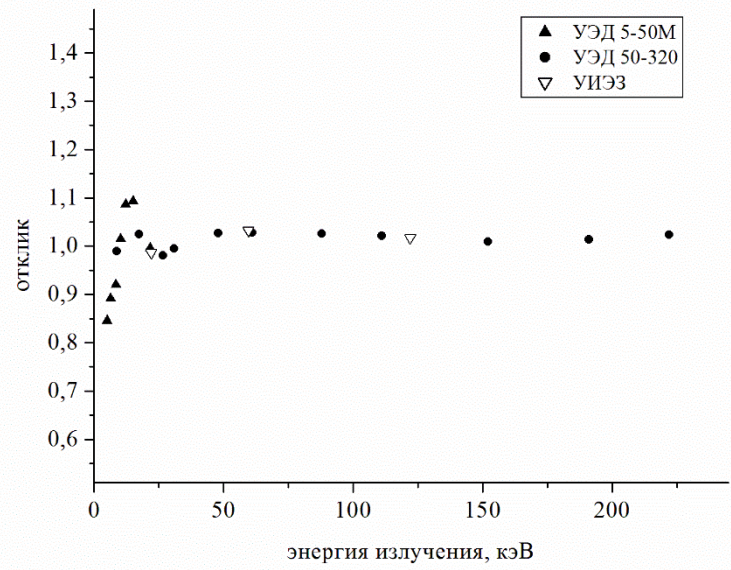
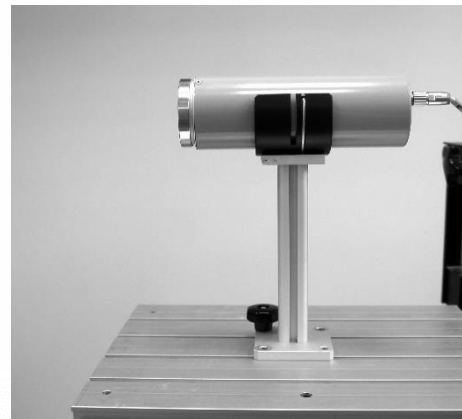
## Калибровка блока-компаратора БКМР-АТ1104 в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»:

Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 1,2 - 22 нГр/с на эталонной установке рентгеновского излучения УЭД 50-320 (режим качества излучения L) в диапазоне энергий фотонов 31 - 222 кэВ;

Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 12 - 260 нГр/с на эталонной установке рентгеновского излучения УЭД 5-50М (режим качества излучения L) в диапазоне энергий фотонов 8 - 27 кэВ;

Измерение мощности кермы в воздухе в диапазоне 4,5 - 650 нГр/с на эталонной установке рентгеновского излучения УЭД 5-50М в диапазоне энергий фотонов 5 - 27 кэВ;

Измерение мощности кермы в воздухе на эталонной установке гамма-излучения УИЭЗ с использованием источников рентгеновского и гамма- излучений на основе радионуклидов <sup>55</sup>Fe, <sup>109</sup>Cd, <sup>241</sup>Am из составов ГВЭТ 8-2 и КРИ-1;



Энергетическая зависимость чувствительности БКМР-АТ1104 в диапазоне 5 – 300 кэВ



## Металлические фильтры из особо чистых металлов



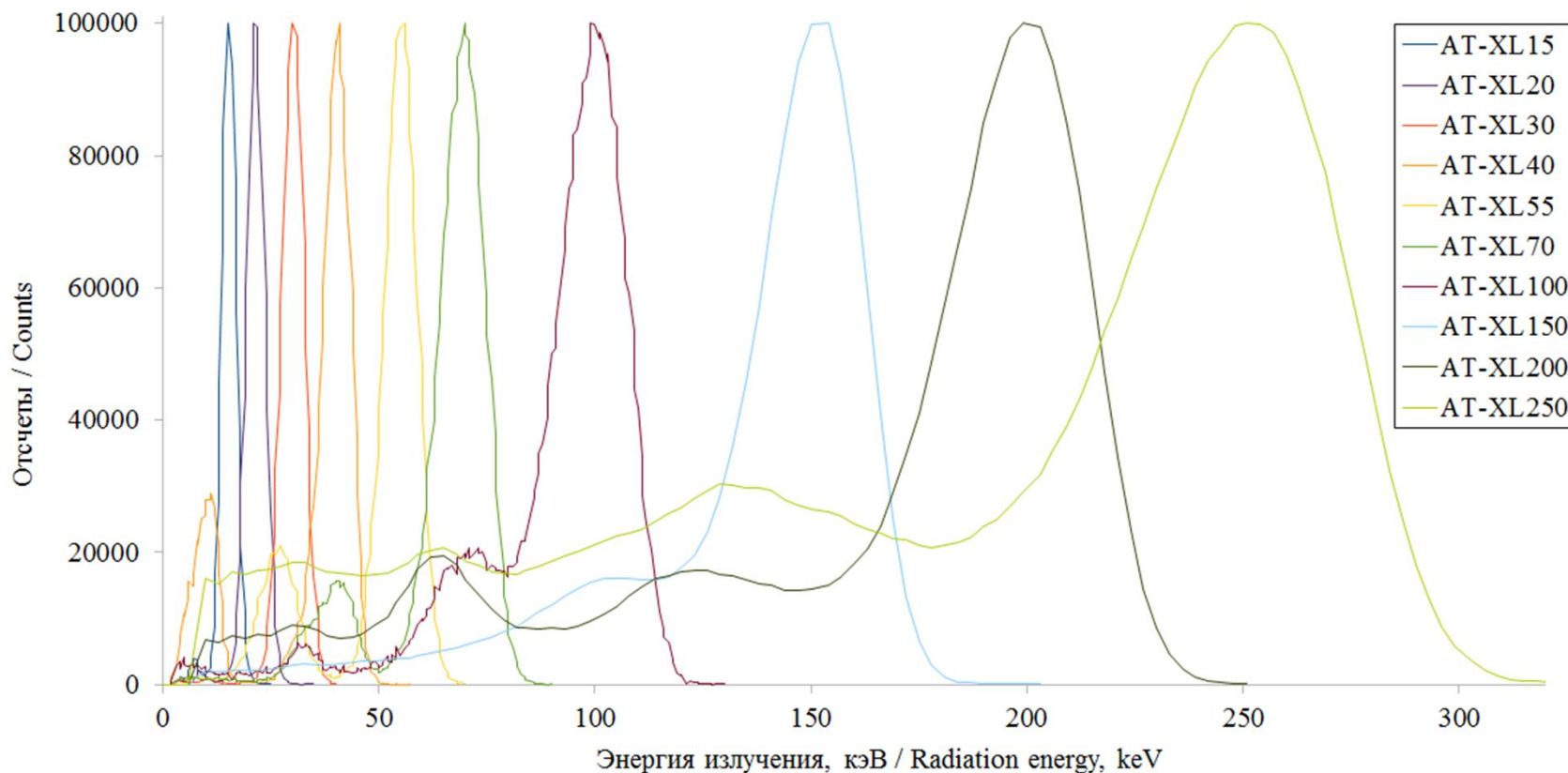
Фильтры	Al	Cu	Sn	Pb
Габаритные размеры, мм	100 × 100			
Диапазон толщин, мм	от 0,1 до 21			
Чистота, %	99,99			



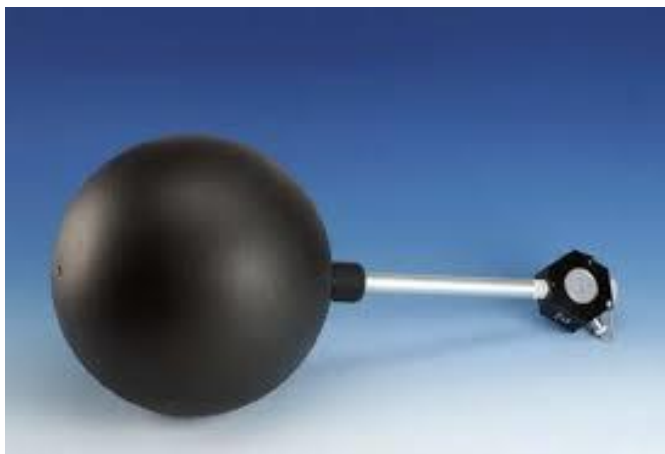
## Характеристики серии качеств АТ-ХЛ

Качество излучения	Е, кэВ	Фильтрация, мм				СПО, мм	Энергетическое разрешение, %
		Al	Cu	Sn	Pb		
АТ-ХЛ15	15	2,184	0,048	-	-	0,33 Al	23
АТ-ХЛ20	21	2,184	0,256	-	-	0,86 Al	23,8
АТ-ХЛ30	29	2,184	0,759	-	-	2,1 Al	20
АТ-ХЛ40	39	5,972	1,512	-	-	4,25 Al	17,1
АТ-ХЛ55	54,5	2,184	4,47	-	-	0,38 Cu	15
АТ-ХЛ70	69,7	3,67	8,988	-	-	0,72 Cu	16
АТ-ХЛ100	99,8	4,991	18,006	1,031	-	1,71 Cu	19
АТ-ХЛ150	150	4,991	20,037	13,126	-	3,98 Cu	18,1
АТ-ХЛ200	200	21	12,04	13,99	3,065	5,4 Cu	19
АТ-ХЛ250	250	21	12,04	15,164	4,99	6,24 Cu	23,9

## Аппаратурные спектры серии качеств АТ-ХЛ измеренные блоками-компараторами БКМР-АТ1104 и БКМГ-АТ1102



## 10 литровая ионизационная камера Type 32003 PTW



### Основные характеристики:

Чувствительность: 330  $\mu\text{Кл/Гр}$

Диапазон энергий: 25 кэВ ... 50 МэВ

Энергетическая зависимость  
(40 кэВ – 1,5 МэВ) :  $\leq \pm 3 \%$

Ток утечки:  $\leq \pm 10 \text{ фА}$

Внешний диаметр: 276 мм

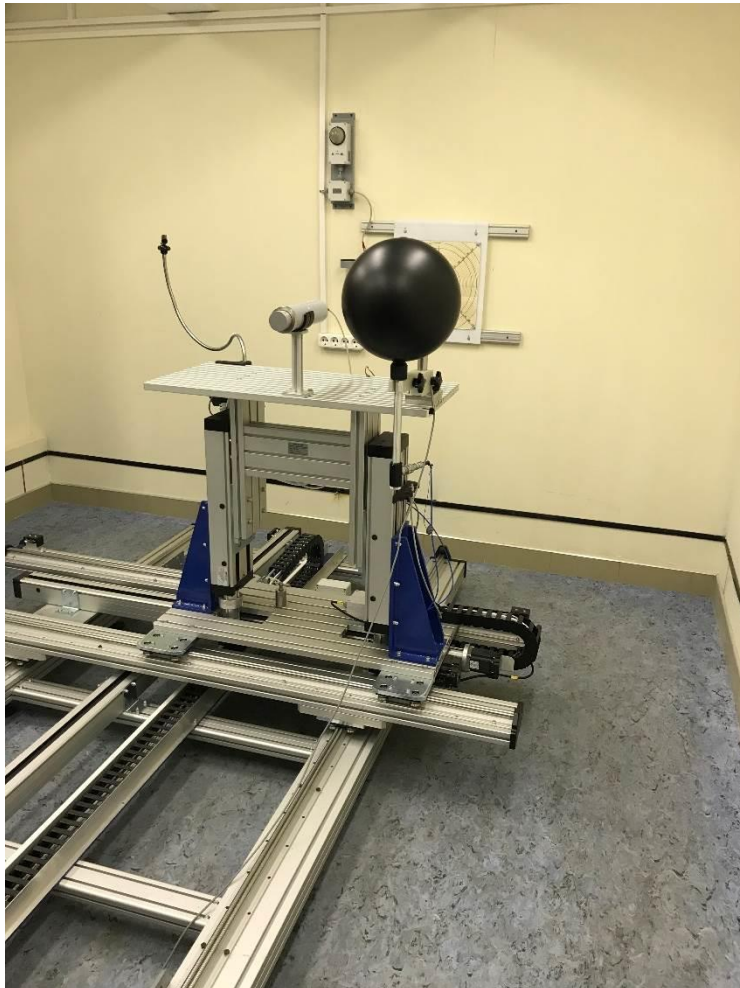
## Значения калибровочных коэффициентов для ионизационной камеры ТМ32003

Предварительно ионизационная камера ТМ32003 была откалибрована на стандартных качествах рентгеновского излучения описанные в ISO 4037-1-2019 с известной мощностью кермы в воздухе в диапазоне энергий от 30 до 263 кэВ.

Качество излучения	Эффективная энергия, кэВ	Калибровочный коэффициент, Гр/Кл
АТ-ХЛ55	54,5	$3,074 \cdot 10^3$
АТ-ХЛ70	69,7	$3,095 \cdot 10^3$
АТ-ХЛ100	99,8	$3,113 \cdot 10^3$
АТ-ХЛ150	150	$3,122 \cdot 10^3$
АТ-ХЛ200	200	$3,141 \cdot 10^3$
АТ-ХЛ250	250	$3,162 \cdot 10^3$



## Процедура сравнения показаний блока-компаратора БКМГ-АТ1102 и ионизационной камеры ТМ32003

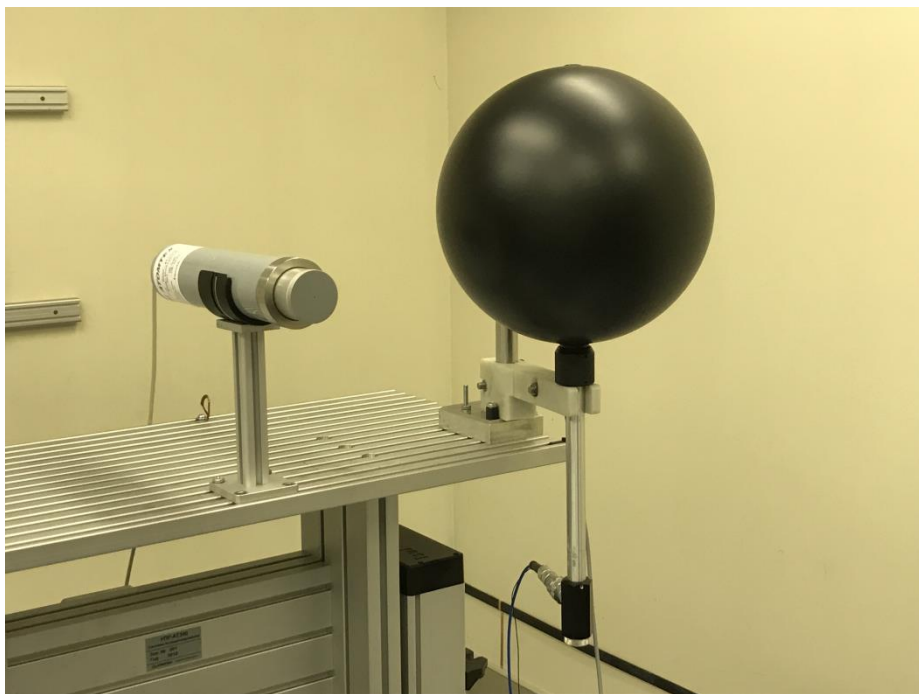


- Ионизационная камера ТМ32003 и блок-компаратор БКМГ-АТ1102 поочередно помещались в поле излучения и измерялась мощность кермы в воздухе
- Измерения мощности дозы проводились на расстоянии 2,5 м от фокуса рентгеновской трубки
- Диаметр равномерного поля излучения на данном расстоянии составляет 300 мм

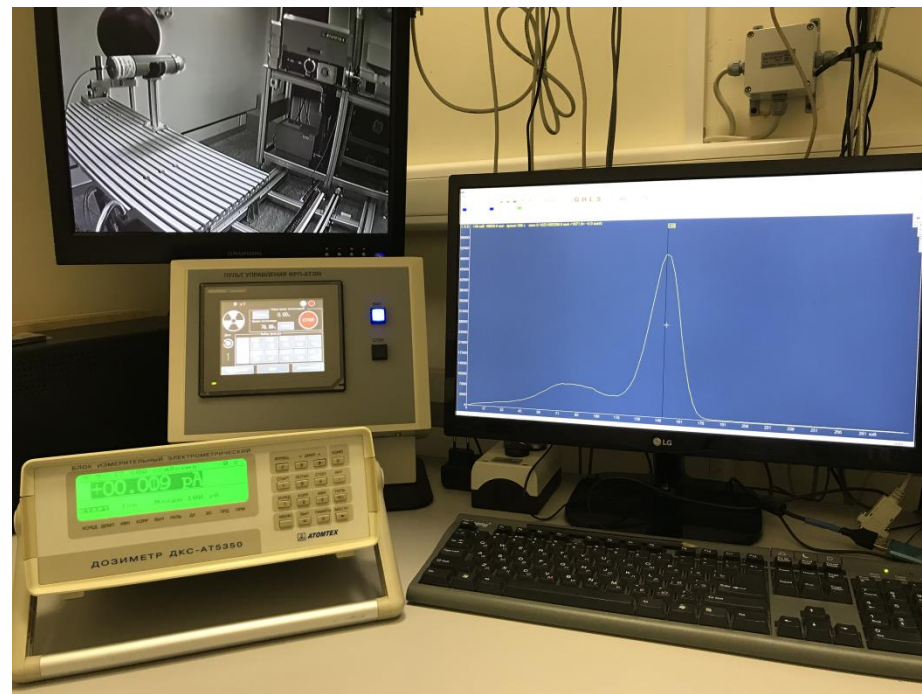




## Процедура сравнения показаний блока-компаратора БКМГ-АТ1102 и ионизационной камеры ТМ32003



Размещение блока-компаратора гамма-излучения БКМГ-АТ1102 и ионизационной камеры ТМ32003 на рабочем столе



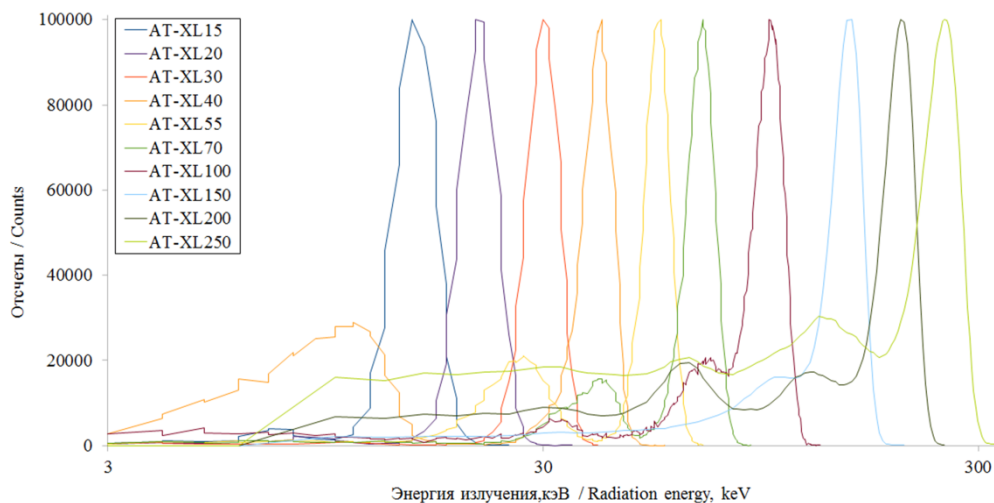
Пульт управления формирователем поля и измерительное оборудование

## Сравнение полученных с использованием ионизационной камеры ТМ32003 и блока-компаратора БКМГ-АТ1102 значений мощности кермы в воздухе

Качество излучения	Значения мощности дозы, мкГр/ч		$\Delta$ , %
	ТМ32003	БКМГ-АТ1102	
АТ-ХЛ55	3,247	3,297	1,54
АТ-ХЛ70	2,520	2,519	-0,04
АТ-ХЛ100	5,831	6,037	3,53
АТ-ХЛ150	6,828	6,700	-1,87
АТ-ХЛ200	9,821	10,17	3,55
АТ-ХЛ250	20,323	21,638	6,47



## Аппаратурные спектры серии качеств АТ-ХЛ в логарифмическом масштабе



**Значения мощности дозы на расстоянии 1 м от фокуса рентгеновской трубки с учётом расширенной неопределенности**

Качество излучения	Мощность дозы, мкЗв/ч
АТ-ХЛ55	1,051 ± 0,065
АТ-ХЛ70	0,985 ± 0,065
АТ-ХЛ100	1,104 ± 0,071
АТ-ХЛ150	0,584 ± 0,038
АТ-ХЛ200	1,641 ± 0,102
АТ-ХЛ250	18,08 ± 1,02



- Таким образом, созданные поля рентгеновского излучения обеспечивают возможность проводить исследования энергетической зависимости высокочувствительных дозиметрических средств измерений на основе неорганических сцинтилляционных детекторов на установке УПР-АТ300 расстояниях 1 м и 2,5 м от фокуса рентгеновской трубки по мощности дозы в пределах единиц мкЗв/ч (мкГр/ч) в диапазоне энергий от 55 до 250 кэВ.
- Планируется дальнейшая работа по калибровке поля излучения по мощности дозы в диапазоне энергий от 15 до 50 кэВ с применением рентгеновского блока компаратора БКМР-АТ1104.





**ATOMTEX<sup>®</sup>**

*Спасибо за внимание!*

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

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

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



**EAC**

*EN*