

Научно-производственное
унитарное предприятие



ATOMTEX®

Приборы и технологии для ядерных
измерений и радиационного контроля

www.atomtex.com

Республика Беларусь, г. Минск

© 2025



ATOMTEX®

Приборы и технологии для ядерных
измерений и радиационного контроля

Применение оператора Спектр-Доза для блока детектирования на основе пластмассового сцинтиллятора большого объема, используемого в составе порталных радиационных мониторов

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»

Загороднюк А.А. Толкачев А.Н. Быстров Е.В.

Санкт-Петербург, 2025



ATOMTEX®

Приборы и технологии для ядерных
измерений и радиационного контроля

Введение

Назначение порталных установок радиационного контроля:

- мониторинг радиационной обстановки в местах массового скопления людей
- мониторинг радиационной обстановки на контрольно-пропускных пунктах
- мониторинг радиационной обстановки на предприятиях атомной отрасли



Цель настоящей работы: расчет и применение оператора “спектр-доза”, позволяющего по данным **спектрометрических измерений**, выполняемых установкой радиационного контроля на основе блока детектирования БДРМ-11, изготовленного из поливинилтолуола, с активным объемом 11 литров, **оценивать** мощность амбиентного эквивалента дозы $\dot{H}^*(10)$ с неопределенностью менее 30%.



ATOMTEX®

Приборы и технологии для ядерных
измерений и радиационного контроля

Линейные размеры:

150x80x80 см³

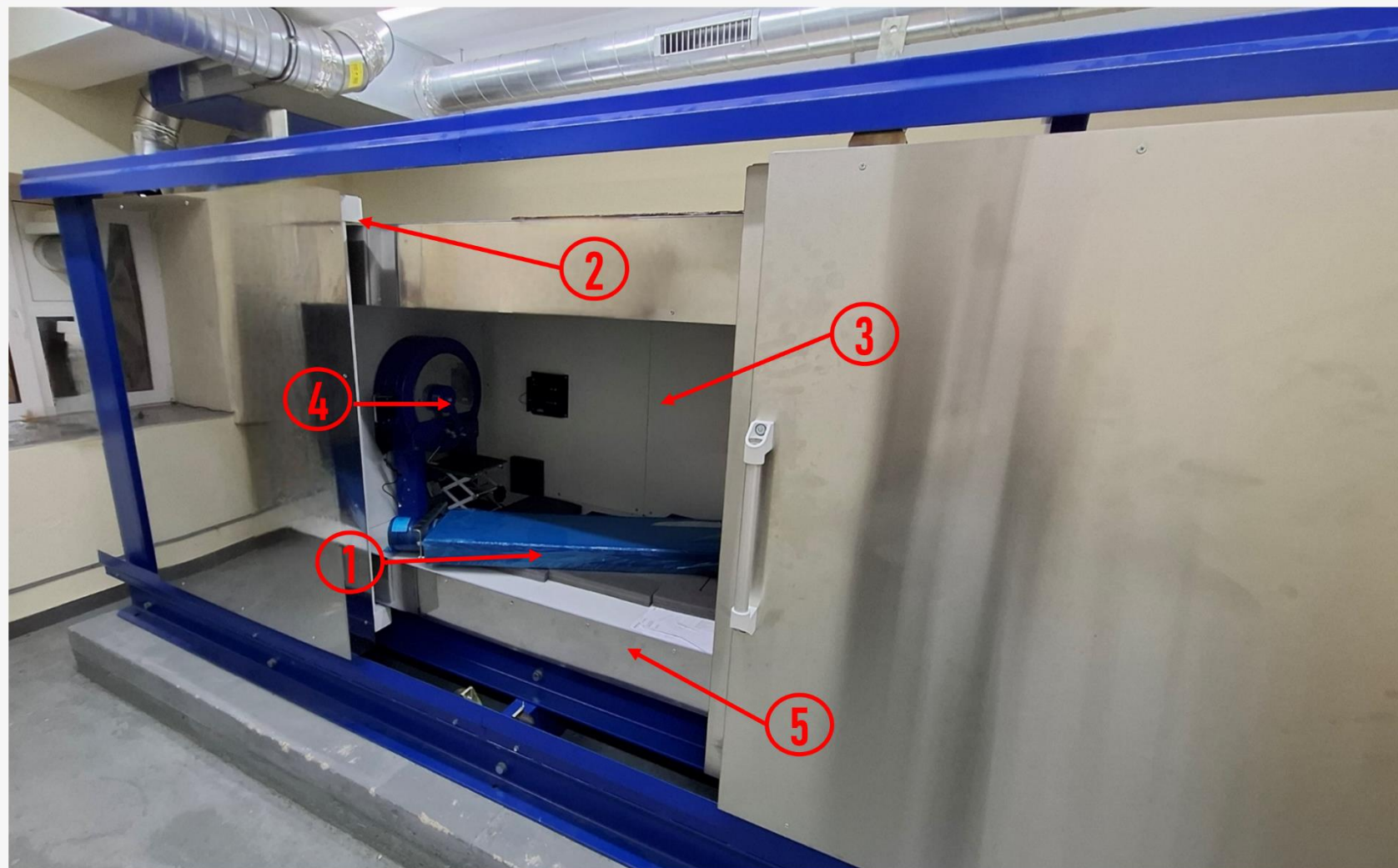
Материалы:

Внутренний слой: сталь 1 см
Средний слой: свинец 10 см
Внешний слой: пластик 3 см

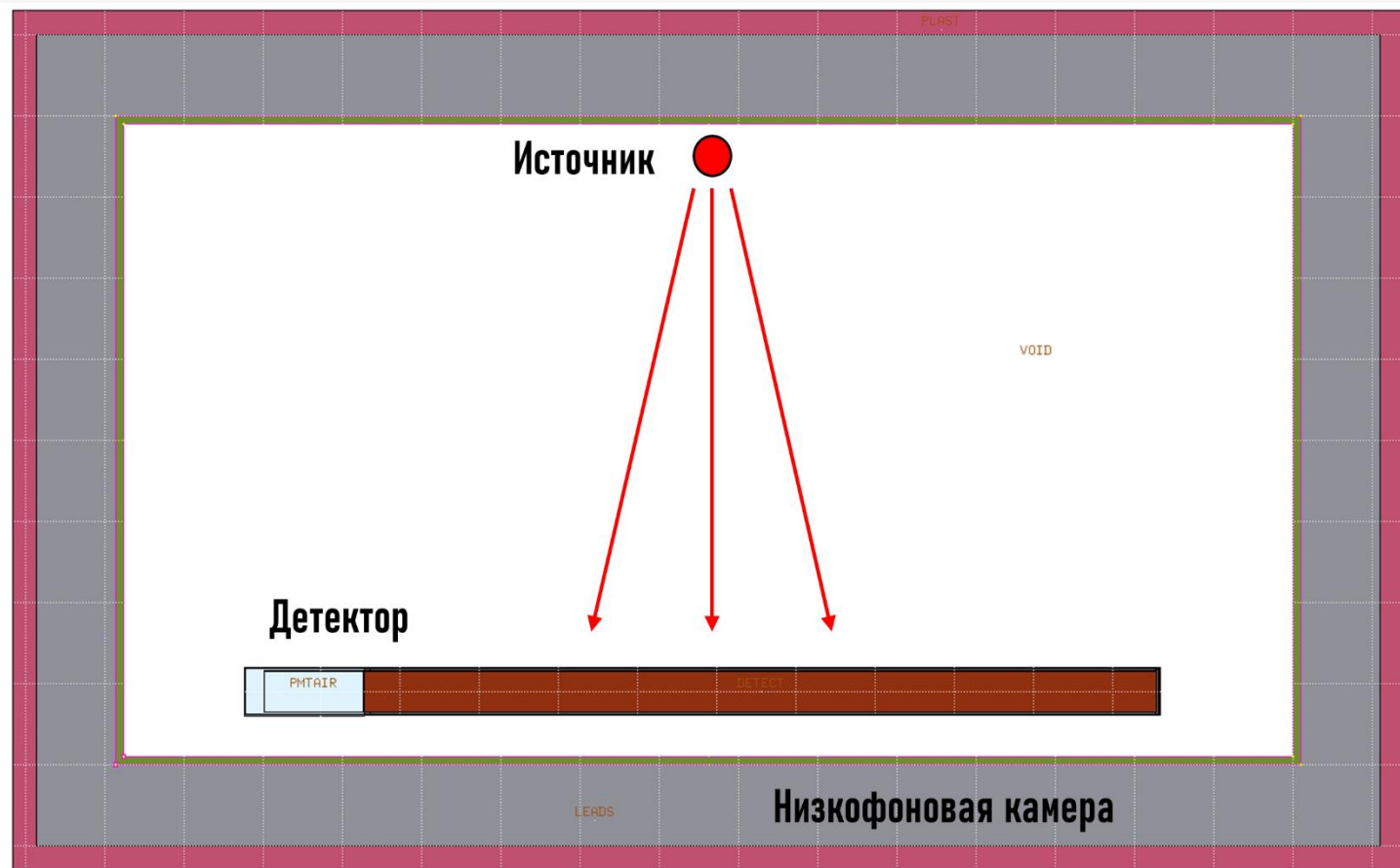
Основные компоненты:

1. Детектор БДРМ-11
2. Створки
3. Внутренний объем
4. Коллиматор
5. Корпус

Прямые измерения в низкофоновой камере



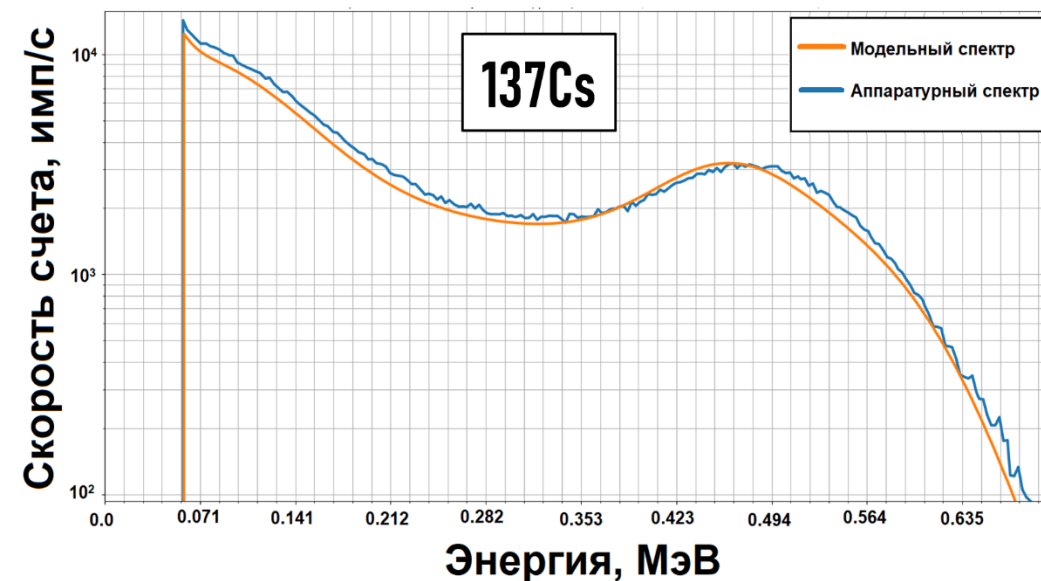
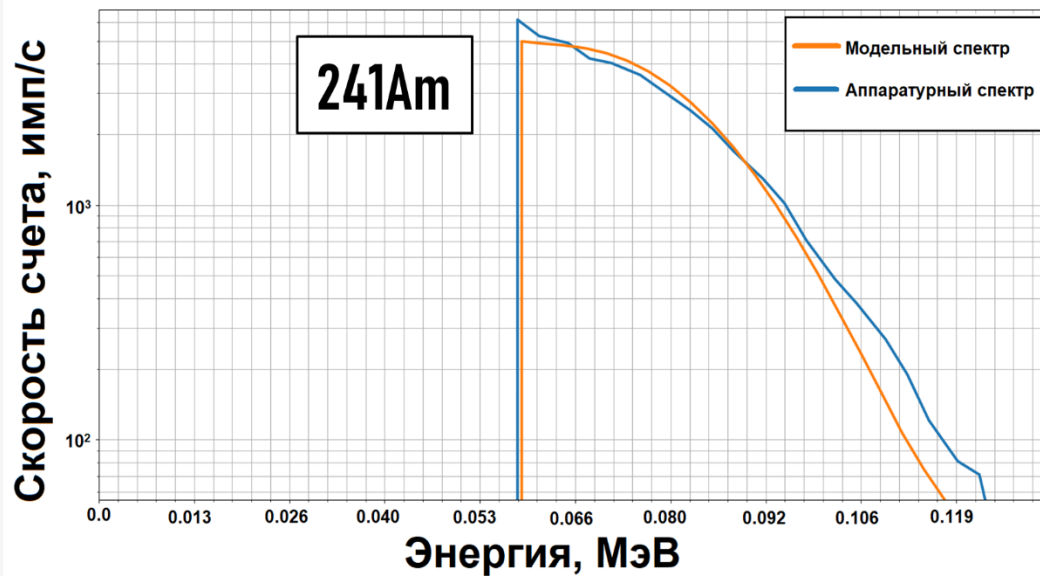
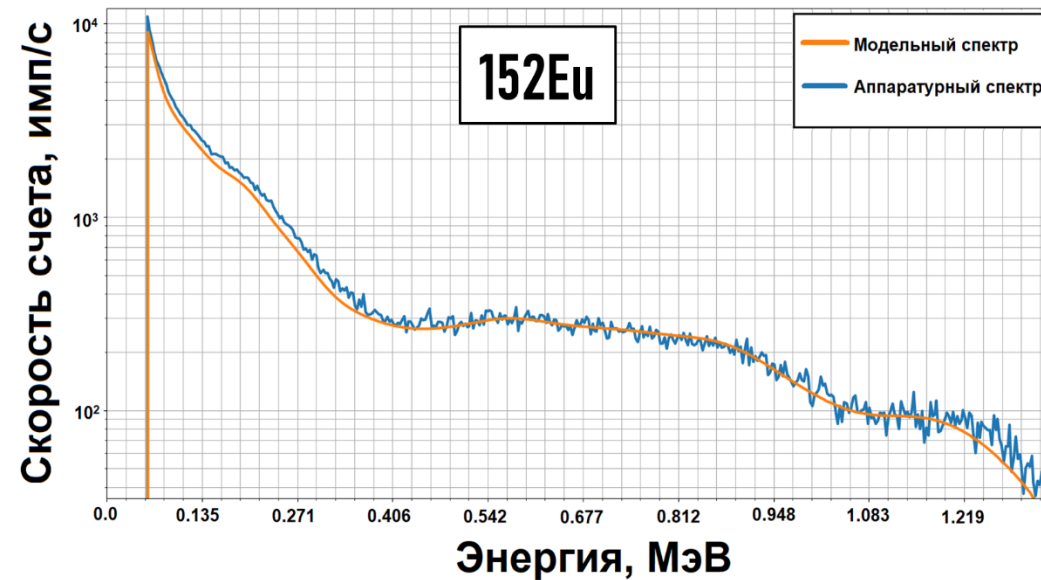
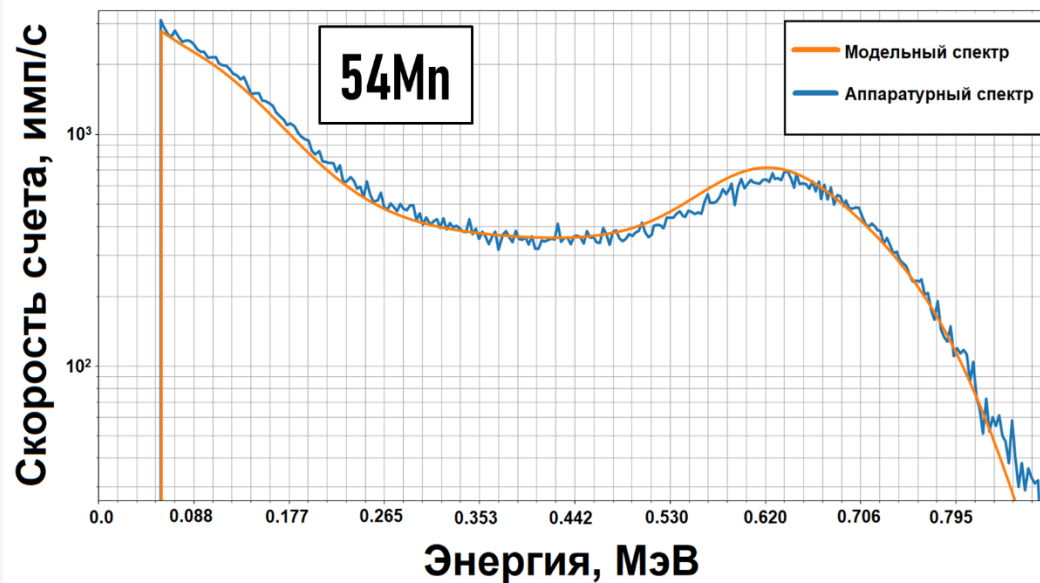
**Фотография низкофоновой камеры с размещенным внутри ее активного
объема блоком детектирования БДРМ-11**



**Модель детектора БДРМ-11,
размещенного в модели низкофоновой камеры
(сечение YZ)**



**Модель детектора БДРМ-11,
размещенного в модели низкофоновой камеры
(сечение XZ)**





Расчет оператора спектр-доза:

- расчет матрицы отклика
- решение матричного уравнения

$$\bar{S} \times M = \bar{D}$$

$$\bar{S} = \bar{D} \times M^{-1}$$

$\bar{S}$ – оператор спектр-доза (1 x α)

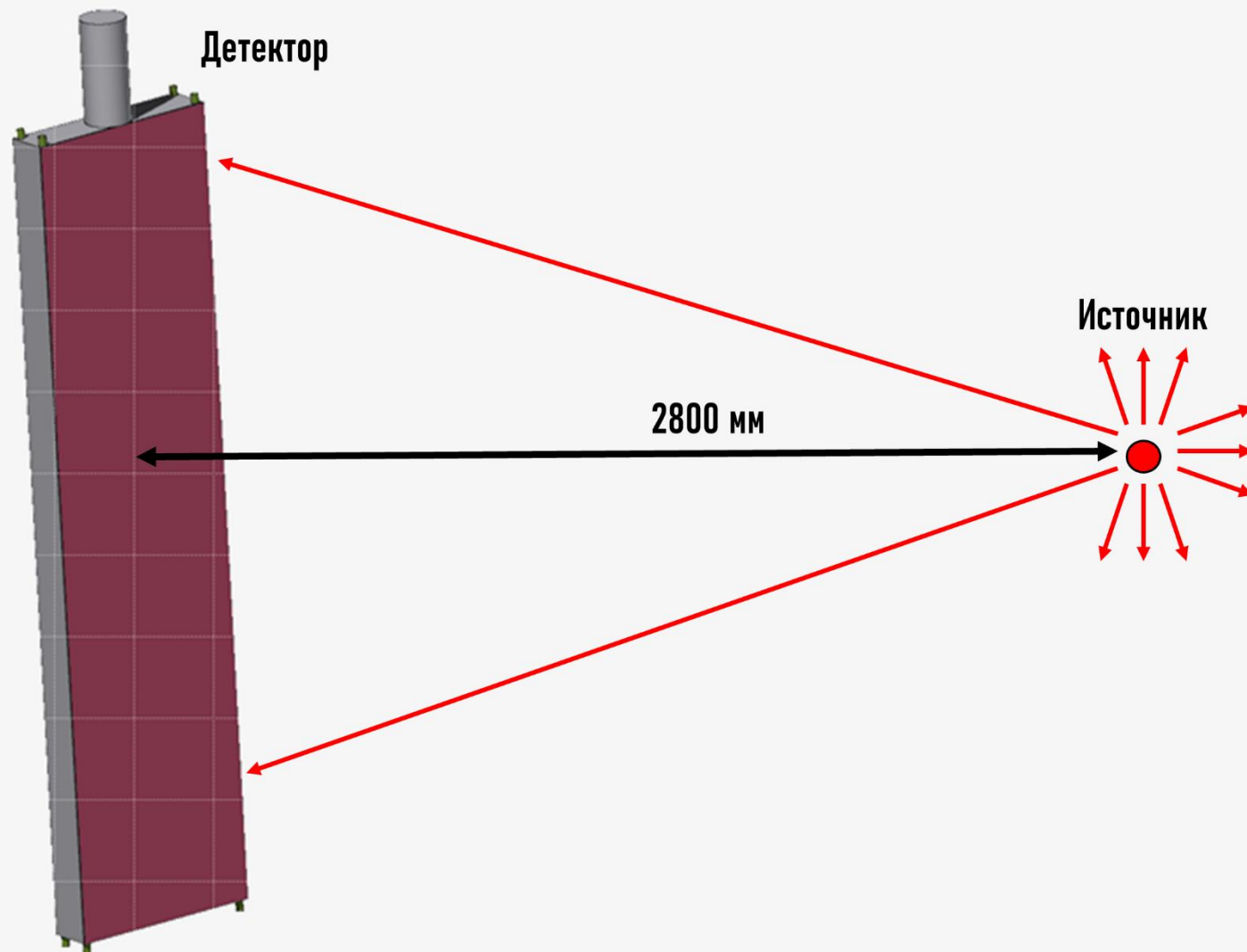
M – матрица отклика детектора (α x α)

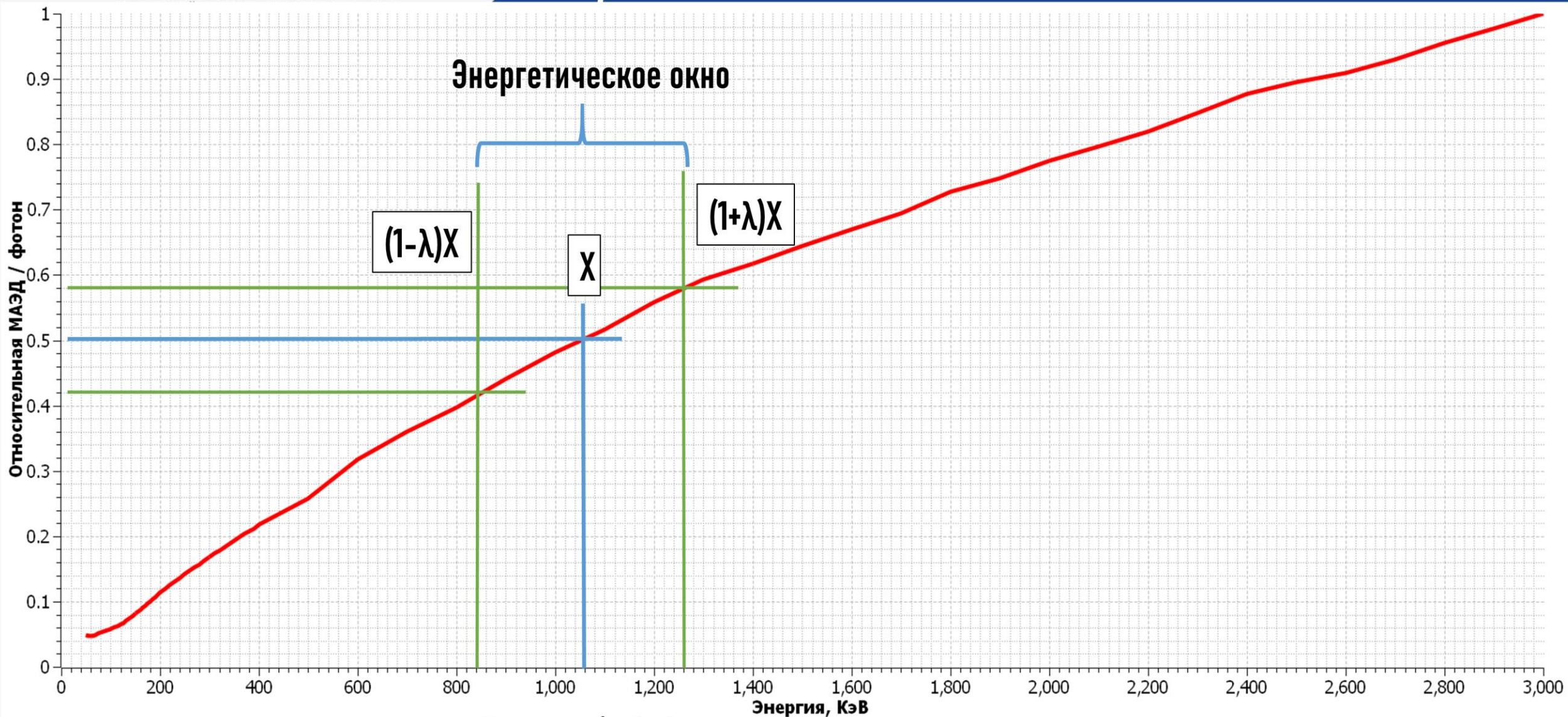
$\bar{D}$ – вектор доз (1 x α)

α – количество энергетических окон

Сложности:

- размерность матрицы отклика
- матрица M вырожденная
- решение системы уравнений требует использования численных методов





Кривая зависимости относительной МАЭД $\dot{N}^*(10)$ от энергии фотонного излучения в диапазоне 50 кэВ – 3000 кэВ

- Теоретическое значение $\dot{H}^*(10)$ рассчитывалось в программе FLUKA
- Расчетное значение $\dot{H}^*(10)$ получалось путем свертки аппаратного спектра с оператором спектр-доза

Расстояние источник-детектор 70 см				
Источник	Активность, Бк	$\dot{H}^*(10)$ теоретическая, мкЗв/ч	$\dot{H}^*(10)$ расчетная, мкЗв/ч	Отклонение, %
22Na	26518	0.0224	0.0220	1.7
54Mn	15105	0.0048	0.0040	16.6
60Co	53473	0.0460	0.0400	13.2
88Y	56160	0.0484	0.0450	6.9
109Cd	138281	0.0111	0.0110	1.2
113Sn	40156	0.0072	0.0070	2.7
137Cs	64697	0.0158	0.0160	1.3
139Ce	58323	0.0056	0.0060	7.0
152Eu	18558	0.085	0.0090	6.0
228Th	13231	0.0062	0.0060	3.1



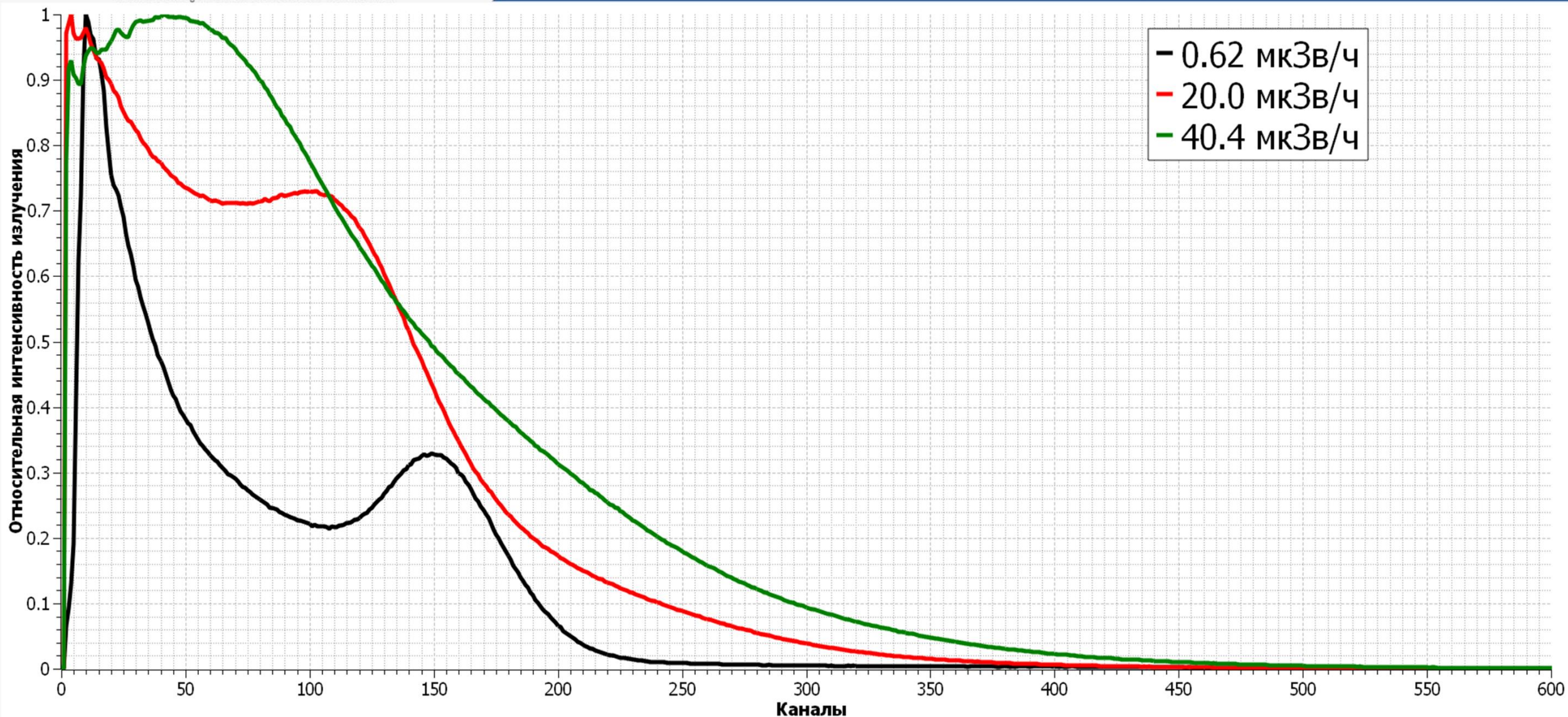
- Верификация оператора спектр-доза производилась на поверочной дозиметрической установке **УДГ-АТ110**
- Расчетное значение $\dot{H}^*(10)$ получалось путем свертки аппаратного спектра с оператором спектр-доза

Источник	Расстояние источник-детектор, мм	$\dot{H}^*(10)$ паспортная, мкЗв/ч	$\dot{H}^*(10)$ расчетная, мкЗв/ч	Отклонение, %
^{60}Co	2800	2.370	2.497	5.1
^{137}Cs	2800	0.620	0.706	12.2
^{137}Cs	2800	40.300	20.895	48.2
^{137}Cs	3000	35.100	19.305	45.0
^{241}Am	2800	2.510	2.484	1.0
^{241}Am	3000	2.180	2.213	1.5



- Верификация оператора спектр-доза производилась на поверочных дозиметрических установках **УДГ-АТ110**, **УДГ-АТ130**
- Значение, принимаемое за граничное, соответствует отклонению расчетной величины $\dot{H}^*(10)$ от паспортного значения более чем на 30%

Источник	Расстояние источник-детектор, мм	$\dot{H}^*(10)$ паспортная, мкЗв/ч	$\dot{H}^*(10)$ расчетная, мкЗв/ч	Отклонение, %
137Cs	2800	40	20.895	48.2
137Cs	3000	35	19.305	45.0
137Cs	4040	25	17.440	30.2
137Cs	4513	20	15.160	24.2
137Cs	5195	15	12.580	16.1



Изменение формы аппаратного спектра при изменении интенсивности излучения источника ^{137}Cs

- Для увеличения верхней границы МАЭД $\dot{H}^*(10)$ была произведена аппаратно-программная модификация блока детектирования, позволяющая учитывать изменение формы спектра для больших нагрузок
- Верификация производилась на поверочных дозиметрических установках **УДГ-АТ110, УДГ-АТ130**

Источник ^{137}Cs		
$\dot{H}^*(10)$ паспортная, мкЗв/ч	$\dot{H}^*(10)$ расчетная, мкЗв/ч	Отклонение, %
10	11.83	15.5
15	16.52	9.2
25	25.25	1.0
30	28.62	4.6
40	34.82	13.0
Источник ^{60}Co		
30	30.80	2.6



- Зависимость расчетного значения величины $\dot{H}^*(10)$ от расстояния производилось путем прямых измерений при помощи точечного неколлимированного источника ^{137}Cs с паспортной активностью 7.6 МБк
- Теоретическое значение мощности AMBIENTного эквивалента дозы рассчитывалось в программе **Rad Pro Calculator**

Источник	Расстояние источник-детектор, см	$\dot{H}^*(10)$ теоретическая, мкЗв/ч	$\dot{H}^*(10)$ расчетная, мкЗв/ч	Отклонение, %
^{137}Cs	75	1.029	1.006	2.2
^{137}Cs	105	0.524	0.520	0.8
^{137}Cs	140	0.294	0.300	2.0
^{137}Cs	195	0.151	0.162	6.8



- Использование оператора спектр-доза позволяет превратить блок детектирования на основе пластикового сцинтиллятора большого объема в средство измерения МАЭД, генерируемой источниками фотонного излучения в широком энергетическом диапазоне
- При стандартной методике применения оператора спектр-доза для блока детектирования на основе пластикового сцинтиллятора с активным объемом 11 литров, верхняя граница измеряемой величины МАЭД составляет 25 мкЗв/ч
- При аппаратно-программной модификации блока детектирования, верхняя граница МАЭД может быть поднята до 40 мкЗв/ч.



ATOMTEX[®]

Приборы и технологии для ядерных
измерений и радиационного контроля

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

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

info@atomtex.com
www.atomtex.com