



ОПТИМИЗАЦИЯ ФИЗИКО-ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ДЕТЕКТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДОСМОТРОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

Поздняков Д., Касюк Д., Славашевич И., Линев В., Сосенко К.
Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы

- ✓ Определение конструктивных параметров спектрометрических рентгеновских детекторов, обеспечивающих максимальную дискриминацию материалов по атомному номеру в области наибольшего интереса $z_{eff} = z_{H_2O} = 7.5$ (вода) $-0.6/+0.5$ (взрывчатые и наркотические вещества).
- ✓ Решить задачу для двойного сцинтилляционного детектора с промежуточным фильтром рентгеновского излучения.

Инструментарий

- ✓ Аппарат рентгеновский досмотровый КОНПАСС с моноблоком VJTIXS200BP500P265 s/n S16722-A00011 и детекторной линейкой на основе двухэнергетических детекторных модулей DT X-Card 2.5-64DE в основной проекции

МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Ослабление рентгеновского излучения при прохождении через вещество описывается следующим законом:

$$I(E) = I_0(E) \cdot e^{-\alpha(E, Z, h)} \quad (1)$$

где $I_0(E)$ – исходный рентгеновский спектр, $I(E)$ – спектр после прохождения излучения через вещество толщиной h с атомным номером Z , α – постоянная релаксации рентгеновского излучения.

Уменьшение числа фотонов в спектре для двух энергий E_{LE} и E_{HE} будет иметь следующий вид:

$$I_{LE}(E_{LE}) = I_0(E_{LE}) \cdot e^{-\alpha(E_{LE}, Z, h)} \quad (2)$$

$$I_{HE}(E_{HE}) = I_0(E_{HE}) \cdot e^{-\alpha(E_{HE}, Z, h)} \quad (3)$$

МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Логарифм отношения откликов детектора по каналам для низкой и высокой энергий является уникальным для данного эффективного атомного номера в достаточно широком интервале значений атомных номеров элементов, содержащихся в идентифицируемом материале:

$$\ln I_{HE} / I_{LE} = f Z \quad (4)$$

Выражение, представляющее собой отношение квадрата отношения контраст/шум к дозе – стандартная целевая функция для таких задач оптимизации

$$F_u = \frac{C N R_z^2}{D} = \frac{\left(\ln \left(\frac{S_{HE,Z_2}}{S_{LE,Z_2}} \right) - \ln \left(\frac{S_{HE,Z_1}}{S_{LE,Z_1}} \right) \right)^2}{\frac{\sigma^2 + \eta_N S_{HE,Z_1}}{S_{HE,Z_1}^2} + \frac{\sigma^2 + \eta_N S_{LE,Z_1}}{S_{LE,Z_1}^2} + \frac{\sigma^2 + \eta_N S_{HE,Z_2}}{S_{HE,Z_2}^2} + \frac{\sigma^2 + \eta_N S_{LE,Z_2}}{S_{LE,Z_2}^2}} \quad (5)$$

где S_{ij} – нормированный сигнал.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сэндвич-детектор

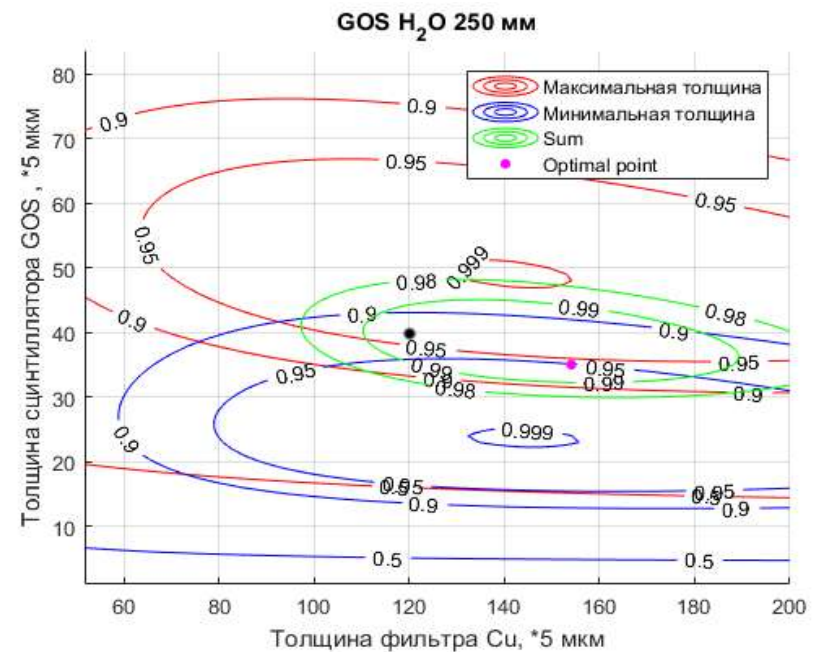
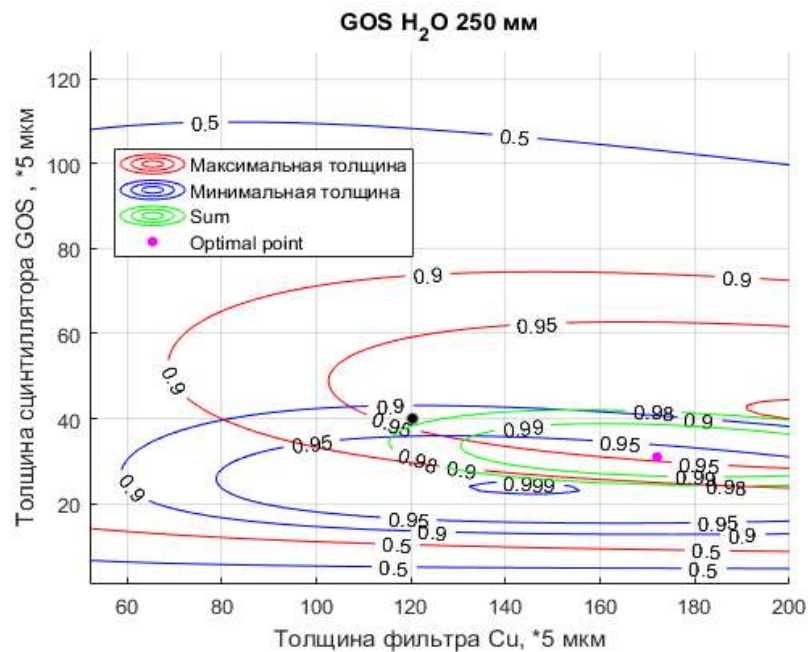


Рисунок 1 – Изоуровни функций цели F_1 , F_1 (слева) и F_1 , F_2 (справа) для GOS/GOS (5–250 мм H₂O) при 160 кВ

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сэндвич-детектор

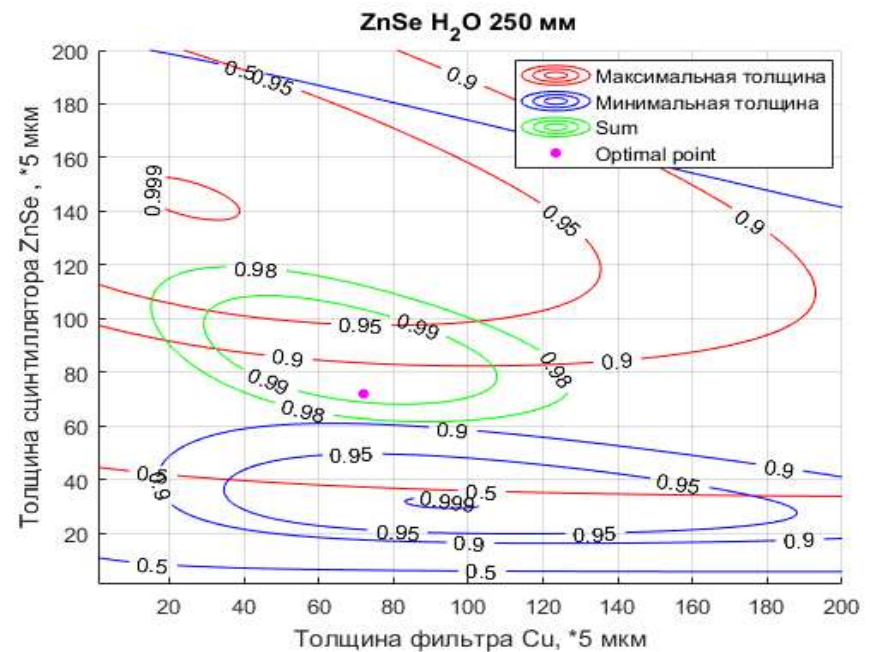
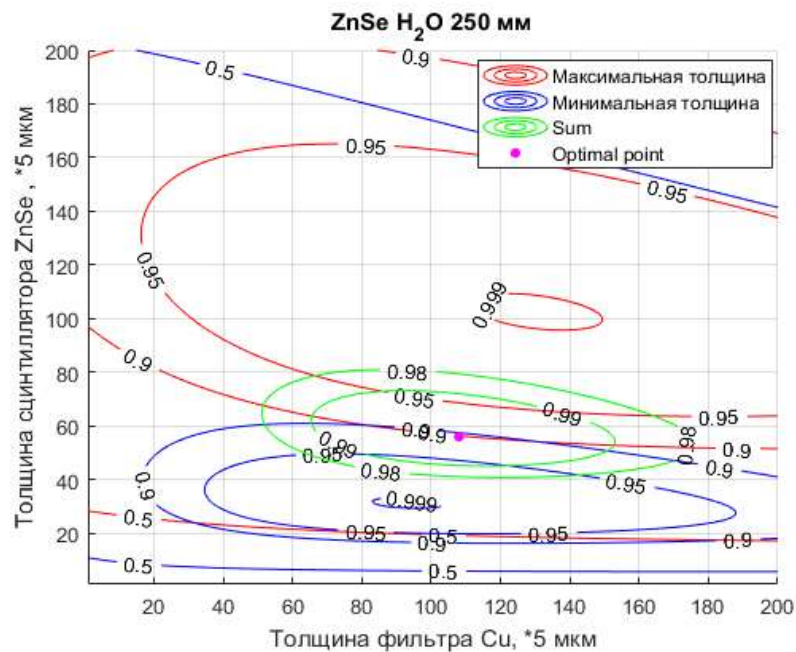


Рисунок 2 – Изоуровни функций цели F_1 , F_1 (слева) и F_1 , F_2 (справа) для ZnSe/GOS (5–250 мм H₂O) при 160 кВ

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сэндвич-детектор

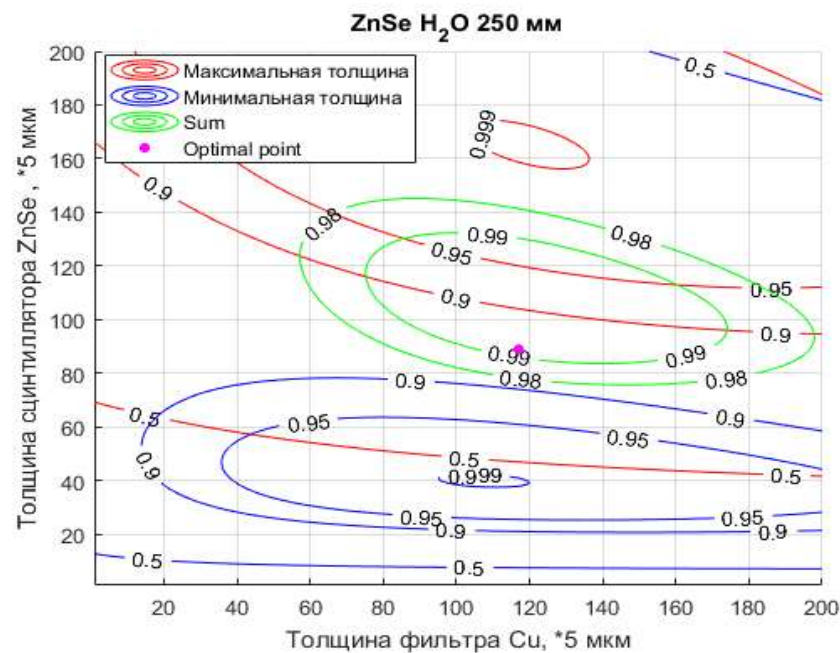
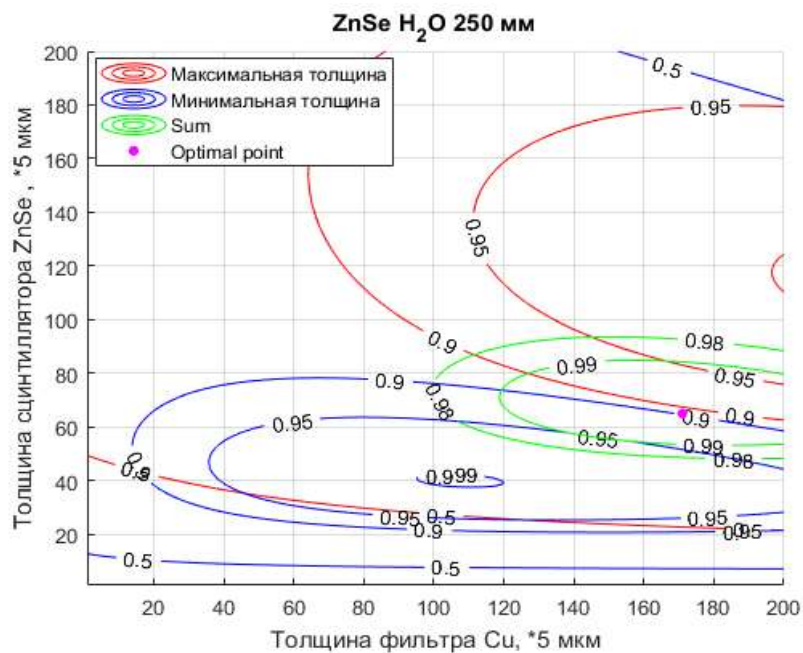


Рисунок 3 – Изоуровни функций цели F_1 , F_1 (слева) и F_1 , F_2 (справа) для ZnSe/ZnSe (5–250 мм H₂O) при 160 кВ

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сэндвич-детектор

Таблица 1 – Оптимальные толщины сцинтилляторов и медного фильтра

Анодное напряжение, кВ	Материал	H _{Sc1} , мм	H _ф , мм	H _{Sc2} , мм
320	CsI/CsI	0,5	0,8	15
160–200	GOS/GOS	0,2	0,6	2,5
	ZnSe/GOS	0,5		2,5
	ZnSe/ZnSe	0,5		5,0
80–120	GOS/GOS	0,1	0,4	1,5
	ZnSe/GOS	0,25		1,5
	ZnSe/ZnSe	0,25		2,5

Таблица 2 – Сравнение функций цели детекторов

Материал	$\sqrt{F_{2\text{омн}}}$
GOS/GOS	1
ZnSe/ZnSe	1,5

РЕЗУЛЬТАТЫ

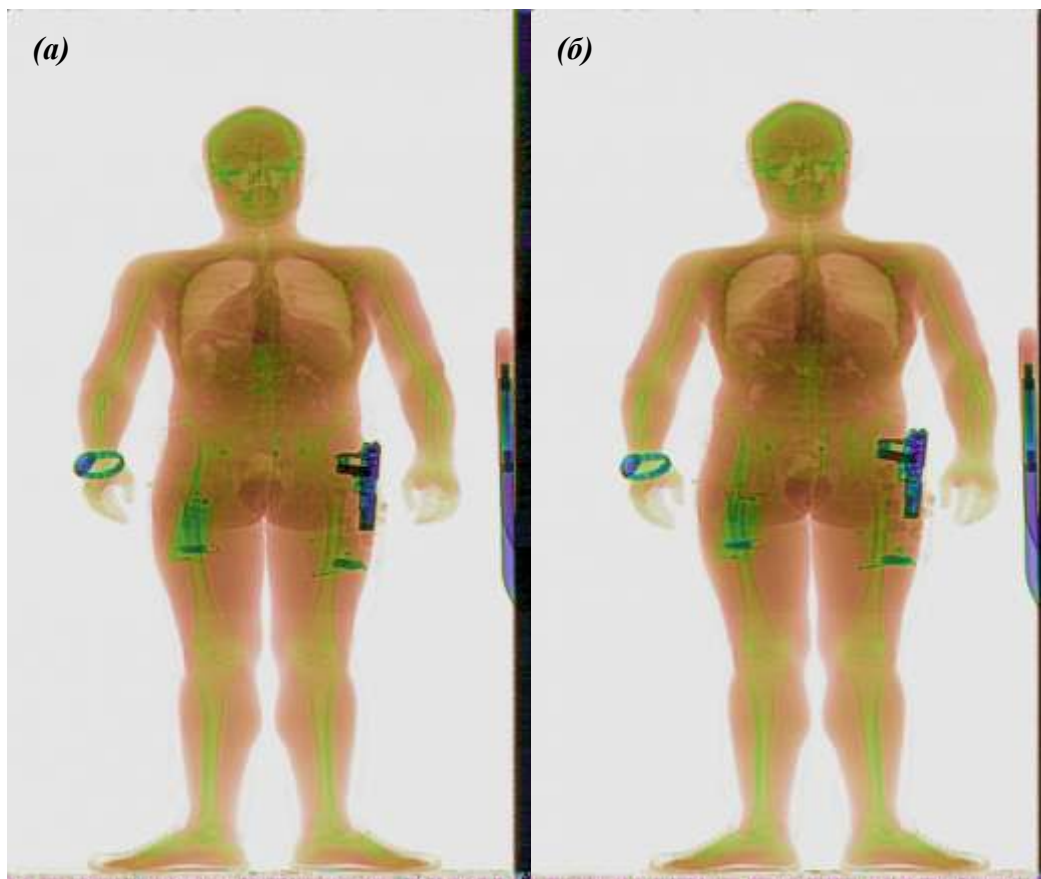


Рисунок 4 – Снимок человека в основной проекции, сделанный на КОМПАССе с условием одинаковой дозовой нагрузки в 1 мкЗв при различной величине анодного напряжения: (а) – 150 кВ; (б) – 200 кВ

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 3 – Численные результаты поиска показателя максимального значения

Вольфрамовое анодное напряжение, кВ	Оптимальные материалы слоев детектора	Первая толщина сцинтиллятора, мм	Толщина фильтра, мм	Вторая толщина сцинтиллятора, мм
320	CsI/Cu/CsI	0.5	0.8	15
160–200	GOS/Cu/CGOS	0.2	0.6	2.5
	ZnSe/Cu/CGOS	0.5		2.5
	ZnSe/Cu/ZnSe	0.5		5
120–160	GOS/Cu/CGOS	0.15	0.5	2
	ZnSe/Cu/CGOS	0.35		2
	ZnSe/Cu/ZnSe	0.35		3.5
80–120	GOS/Cu/CGOS	0.1	0.4	1.5
	ZnSe/Cu/CGOS	0.25		1.5
	ZnSe/Cu/ZnSe	0.25		2.5

Frank A., Schall P., Geus G. X-ray detecting apparatus. *United States Patent 6445765B1* (2002).

ВЫВОДЫ

1. Были получены конфигурации для трех типов сцинтилляторов ZnSe, CsI и GOS. Для аппаратов с рабочими режимами по напряжению от 80 до 200 кВ целесообразно использовать оптимальные конфигурации со сцинтиллятором ZnSe.
2. Минимизация дозовой нагрузки при неизменном качестве черно-белого (моноэнергетического) изображения возможна только при условии ужесточения спектра рентгеновского излучения, которое может быть достигнуто как путем увеличения анодного напряжения со 160 до 200 кВ, так и путем наращивания толщины фильтра рентгеновского излучения.
3. При необходимости дискриминации материалов по эффективному атомному номеру, когда стоит задача минимизации дозовой нагрузки при неизменном качестве цветного (спектрометрического) изображения, увеличение толщины фильтра, как правило, не оправдано в отличие от поднятия анодного напряжения со 160 до 200 кВ.

A faint, light gray line-art illustration of a modern building with a curved roof and a grid-like facade. The word "ADANI" is visible on the building's facade. In the background, there are stylized mountains and a winding path. The overall style is clean and architectural.

ADANI

Спасибо за внимание!