

# ВПЛИВ ТОВЩИНИ СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО ЕЛЕМЕНТА НА СИГНАЛ ДЕТЕКТОРА ТИПУ СЦИНТИЛЯТОР – ФОТОДІОД НА БАЗІ ZnSe(Al)

О.Д. Ополонін, А.В. Креч

Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків, Україна

E-mail: zdobuvach2021@gmail.com

Попередні дослідження авторів показали можливість модельної оцінки сигналів сцинтиляційних детекторів при товщині сцинтиляційного елемента 3,5 мм ZnSe(Al) за енергією, що поглинається у сцинтиляційному елементі за рахунок фотоэффекту. Підтверджено, що сигнали детекторів на базі сцинтиляційних елементів різної товщини ZnSe(Al) (0,5; 1,5; 3,5 мм) також визначаються долею енергії рентгенівського випромінювання (РВ), яке поглинається у ZnSe(Al) за рахунок фотоэффекту. Встановлено, що енергія РВ, яке поглинається у сцинтиляційному елементі ZnSe(Al) за рахунок фотоэффекту та спричиняє однаковий рівень сигналу детектора, лінійно залежить від товщини ZnSe(Al). Дослідження проведено для діапазону енергій РВ 20...150 кеВ (анодна напруга джерела РВ 50...150 кВ) при застосуванні фільтрів з алюмінію, товщиною 4 мм.

## ВСТУП

Цифрові рентгенографічні системи (ЦРС), що використовують метод двоенергетичної рентгенівської абсорбціометрії (ДРА) набули самого широкого застосування у медицині та митному догляді. Крім того є багато різноманітних галузей, де використовують ДРА. Наприклад, харчова промисловість, де ДРА дозволяє оцінювати жирність м'яса, контролювати якість горіхів, виявляти сторонні вклучення у харчових продуктах, тощо.

Сигнали детекторів типу СЦ-ФД є згортокою багатьох функцій: спектра РВ, енергетичної залежності коефіцієнта поглинання РВ матеріалом об'єкта контролю та фільтрами, енергоселективні властивості детектора, тощо. Зважаючи на велику кількість чинників, що впливають на формування сигналу детектора РВ, оптимізація параметрів ЦРС потребує або великий обсяг експериментальних досліджень або модельних обчислень.

Раніше нами було показано [1], що сигнал детектора типу СЦ-ФД на базі ZnSe(Al) може бути обчислений за долею енергії РВ, що поглинається у ZnSe(Al) товщиною 3,5 мм за рахунок фотоэффекту в діапазоні енергій 20...150 кеВ за незмінних умов фільтрації.

Данна робота присвячена пошуку можливості модельних обчислень сигналу детектора типу СЦ-ФД при зміні товщини сцинтиляційного елемента на базі ZnSe(Al).

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Обчислення зміни сигналів детекторів при зміні тих чи інших параметрів ЦРС є ключовим завданням модельних обчислень.

Метою даної роботи було дослідження можливості модельних обчислень сигналу детектора типу СЦ-ФД при зміні товщини сцинтиляційного елемента ZnSe(Al).

Для проведення експериментальних досліджень використовувався макет триенергетичної ЦРС, до складу якого входить три 128 каналних ЛД типу СЦ-ФД, кожна з ЛД використовує сцинтиляційний елемент ZnSe(Al) різної товщини: 0,5; 1,5; 3,5 мм.

Перший крок досліджень полягав у експериментальному визначенні струму рентгенівської трубки, при обраній анодній напрузі (від 50 до 150 кВ із кроком 10 кВ), при якому сигнал детектора становить близько 60000 кодів АЦП ( $I_{a60000}$ ). Отже, для кожного значення  $U_a$  було отримано три значення  $I_{a60000}$ , що відповідають трьом товщинам сцинтиляційного елемента (0,5; 1,5; 3,5 мм).

Другий крок полягав у обчисленні енергії РВ, яка падає на апертуру детектора її частки, що поглинається за рахунок фотоэффекту в сцинтиляційних елементах ZnSe(Al) різної товщини (0,5; 1,5; 3,5 мм) при різних значеннях  $U_a$ .

Третій крок полягав у співставленні результатів експериментальних даних з результатами модельних обчислень.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментально було отримано 33 значення  $I_{a60000}$  (при одинадцяти значеннях  $U_a$  для одного каналу в кожній з трьох 128 каналних ЛД).

Деякі експериментальні данні наведено у Таблиці, де ліва колонка містить значення  $I_{a60000}$  для детекторів типу СЦ-ФД на базі ZnSe(Al) різної товщини (0,5; 1,5; 3,5 мм). Права колонка містить потужність, що споживається рентгенівською трубкою  $P=I_a \cdot U_a$ .

Залежність потужності, що споживається рентгенівською трубкою, необхідної для формування сигналу детектора на базі ZnSe(Al) на рівні 60000 кодів АЦП, від анодної напруги, наведено на Рис. 1.

Далі обчислювалась повна енергія РВ, що падає на апертуру детектора, та енергія, що поглинається у ZnSe за рахунок фотоэффекту за 1 с. Обчислення поглинання РВ у ZnSe проводилось з використанням довідкових даних [2] за класичним експоненціальним законом взаємодії РВ із речовиною:

$$S = S_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot \rho \cdot x}, \quad (1)$$

де  $S_0$  – вихідна інтенсивність РВ;  $\mu_m$  – масовий коефіцієнт ослаблення РВ речовиною;  $\rho$  – щільність речовини;  $x$  – товщина речовини у напрямку розповсюдження РВ.

Значення струму рентгенівської трубки, при якому сигнал детекторів типу СЦ-ФД на базі ZnSe(Al) різної товщини (0,5; 1,5; 3,5 мм) становить близько 60000 у кодах АЦП при  $U_a=150$  кВ

$I_a$ , мА	1,5 мм	3,5 мм	0,5 мм	$P=I_a \cdot U_a$ , Вт
0,39	–	58436	61234	58,2
0,41	–	61318	64331	61,2
0,33	61230	49331	51778	49,05

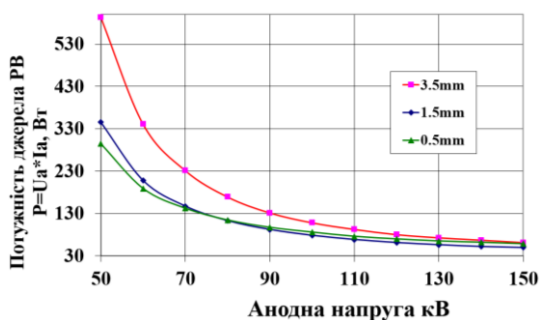


Рис. 1. Потужність, що споживається рентгенівською трубкою та відповідає сигналу детекторів типу СЦ-ФД на рівні  $\approx 60000$  у кодах АЦП. Детектори на базі ZnSe(Al) різної товщини (0,5; 1,5; 3,5 мм). Фільтр РВ 4 мм алюмінію

Далі обчислювалась сумарна енергія потоку РВ, що падає на апертуру детектора за 1 с, тобто потужність РВ:

$$P_{(keV/c)} = \sum_{i_{min}}^{i_{max}} E_i \cdot N_i, \quad (2)$$

де  $i_{min}$  та  $i_{max}$  – номери каналів спектрометра, які відповідають енергії 20 та 150 кеВ відповідно;  $N_i$  – кількість імпульсів, зареєстрована в  $i$ -му каналі спектрометра за 1 с;  $E_i$  – енергія квантів РВ, яка відповідає  $i$ -му каналу спектрометра.

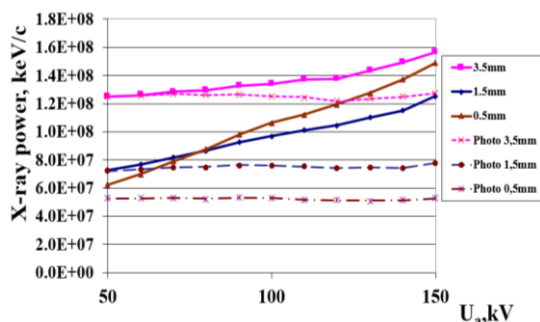


Рис. 2. Потужність РВ, що падає на апертуру детекторів на базі ZnSe(Al) з товщинами елементів 0,5; 1,5 та 3,5 мм (суцільні лінії) та її частка, що поглинається за рахунок фотоефекту (пунктирні лінії)

Отже, за формулою (2) обчислювалась потужність РВ, що падає на апертуру детектора. Згідно (1) обчислювалась частка потужності РВ, що

поглинається у ZnSe(Al) при товщині елементів 0,5; 1,5 та 3,5 мм за рахунок фотоефекту. Результати даних обчислень наведено на Рис. 2.

З урахуванням, що  $1 \text{ eV} = 1,602176634 \cdot 10^{-19}$  Дж, для елемента ZnSe(Al), товщиною 3,5 мм, потужність РВ, що падає на апертуру детектора та формує сигнал 60000 кодів АЦП, складає 19,9 нВт, для ZnSe(Al) 0,5 та 1,5 мм 12 нВт та 8,3 нВт відповідно (див. Рис. 3).

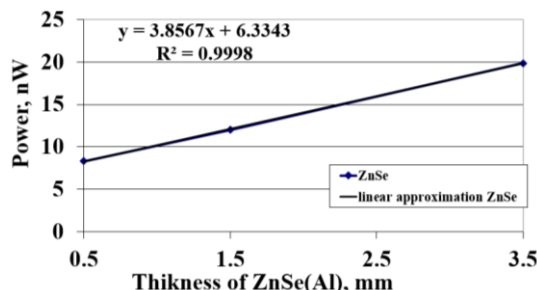


Рис. 3. Потужність РВ, що поглинається у детекторі за рахунок фотоефекту та формує сигнал 60000 кодів АЦП у залежності від товщини сцинтиляційного елемента ZnSe(Al)

З Рис. 3 можна бачити, що залежність потужності РВ, необхідної для формування сигналу детектора 60000 кодів АЦП, з високою достовірністю має лінійну залежність від товщини сцинтиляційного матеріалу.

## ВИСНОВКИ

За результатами даної роботи можна зробити наступні висновки.

1. Сигнал детекторів типу СЦ-ФД на базі ZnSe(Al) може бути обчислений за потужністю (енергією) РВ, що поглинається у ZnSe(Al) за рахунок фотоефекту. Однак, рівень потужності РВ, необхідний для формування того ж самого сигналу, залежить від товщини сцинтиляційного елемента.

2. Залежність потужності РВ, необхідної для формування того ж самого сигналу, лінійно залежить від товщини сцинтиляційного елемента ZnSe(Al), принаймні у діапазоні товщин 0,5...3,5 мм.

3. Показана принципова можливість оптимізації за допомогою модельних обчислень детекторів для цифрових радіографічних систем, що базуються на детекторах типу сцинтилятор-фотодіод та використовують ZnSe(Al).

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- O.D. Opolonin, A.V. Krech, N.L. Karavaeva, S.V. Makhota. Using Apparatus Spectra of X-Ray for Calculation of Signals of Detectors Scintillator-Photodiode Type Based on Znse(Al) // *Problems of Atomic Science and Technology*. 2025, №3(157), p. 58-61.
- <https://physics.nist.gov/PhysRefData/FFast/html/form.html>