

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Ополоніна Олександра Дмитровича

«ПРИНЦИПИ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ЗА ЕФЕКТИВНИМ АТОМНИМ НОМЕРОМ ПРИ РАДІОГРАФІЧНОМУ КОНТРОЛІ»

що подана на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Дисертаційна робота Ополоніна Олександра Дмитровича виконана в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України, який займає провідне місце в світі по вирощуванню напівпровідникових кристалів ZnSe:Te, виготовленню сцинтиляційних елементів і блоків детектування. Продовж довгого часу в НТК ІМК існував окремий підрозділ – центр радіаційного приладобудування. Дисертація Олександра Ополоніна як раз і є продовженням традиційної тематики цього центру.

У дисертації розглянуто проблеми роздільної реєстрації матеріалів за ефективним атомним номером Z_{ef} при радіографічному контролі (медична діагностика, митний догляд, тощо). Відомо, що для митного догляду точність розділення матеріалів за Z_{ef} визначає вірогідність виявлення вибухових речовин, наркотиків, інших небезпечних речовин. Одним з найважливіших завдань митного догляду вважається підвищення точності характеристики матеріалів за Z_{ef} , для виявлення різниці між близькими за Z_{ef} "легкими" матеріалами ($Z_{ef} < 10$), бо саме до "легких" матеріалів відносяться наркотичні речовини, вибухівка, ліки, тощо. Для медичної діагностики – виявлення остеопору, ожиріння, тощо (на ранніх стадіях розвитку хвороби). За результатами роботи набув подальшого розвитку метод. Не викликає сумніву той факт, що розробка нових та вдосконалення існуючих методів характеристики матеріалів за ефективним атомним номером, можна вважати **актуальною задачею**, вирішення якої може сприяти створенню ЦРС з новими функціональними можливостями та підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних ЦРС на світовому ринку.

Окремо відзначу актуальність роботи для нашого міста, а саме для таких харківських підприємств, як СКБ "Полісвіт", фірми "Квант" та "Радмір", які є виробниками рентгенівських апаратів та радіографічних систем для медицини та митного контролю. Тому ці, а також інші, підприємства вкрай зацікавлені у розробці нових і вдосконаленні існуючих методів ідентифікації матеріалів за ефективним атомним номером.

Представлена дисертація складається із вступу, **п'яти** розділів, висновків, списку цитованої літератури з 121 найменувань і додатку. Робота містить 83 рисунків, 2 таблиці, які подано в потрібних місцях, має загальний обсяг 158 аркушів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульована мета та завдання роботи, визначені об'єкт і предмет дослідження, показано наукову новизну та практичне значення результатів. Наведено дані про особистий внесок здобувача.

У першому розділі здійснено літературний огляд за темою роботи. Розглянуто сучасний стан розвитку цифрових радіографічних систем (ЦРС), в тому числі їх застосування у неруйнівному та митному контролі, а також у медицині.

Детально описано складові елементи ЦРС та їх характеристики, включаючи джерела іонізуючого випромінювання, детектори рентгенівського випромінювання, а також конструкційні елементи систем.

Окремо описано особливості ЦРС з можливістю характеристикації матеріалів за ефективним атомним номером. Одним з найважливіших завдань митного догляду вважається підвищення точності ідентифікації матеріалів за Z_{ef} , для виявлення різниці між близькими за Z_{ef} "легкими" матеріалами ($Z_{ef} < 10$), бо саме до "легких" матеріалів відносяться наркотичні речовини, вибухівка, ліки, тощо.

Вважаю, що літературний огляд відповідає меті роботи і написано кваліфіковано. Однак відзначу, що літературний огляд має одну особливість, він починається з преамбули, яка займає майже три сторінки і містить складний та інформативний малюнок з трьох частин. Закінчується преамбула висновком, що за результатами огляду 74-х публікацій, у [1] наводиться стислий опис основних напрямків розвитку ЦРС різноманітного призначення. З останнього речення видно, що першим параграфом огляду має бути; «Основні напрямки розвитку ЦРС».

Другий розділ «Фізичні аспекти характеристикації матеріалів за ефективним атомним номером» присвячено розгляду деяких особливостей формування спектрів рентгенівського випромінювання у діапазоні енергій 20-150 кеВ, взаємодії рентгенівського випромінювання з речовиною, проаналізовано енергетичну залежність масових коефіцієнтів ослаблення для елементів таблиці Д.М. Менделєєва та розглянуто деякі особливості характеристикації матеріалів за Z_{ef} .

Наведено опис детекторів типу сцинтилятор-фотодіод (СЦ-ФД), які було використано для створення макетів ЦРС. Також, наводяться результати досліджень детекторів типу сцинтилятор – фото приймальний пристрій (СЦ-ФПП). Враховуючи, що при розробці ЦРС для різних галузей застосування існує необхідність оптимізації характеристик їх складових, наведено загальну методику та послідовність розробки підсистем. Визначено перелік матеріалів та біологічних об'єктів з різним Z_{ef} для експериментальної перевірки можливості розділення близьких за Z_{ef} об'єктів у трьох діапазонах: 1) $Z_{ef} < 10$; 2) $10 < Z_{ef} < 20$; 3) $Z_{ef} \geq 20$ кеВ.

Третій розділ «Методи характеристикації матеріалів за ефективним атомним номером» присвячено опису спрощеної моделі системи, що дозволяє обчислити

співвідношення інтенсивності світлових потоків, які виникають в сцинтиляторах після проходження рентгенівського випромінювання крізь об'єкти з різним Z_{ef} . Розглянуто існуючі методи ідентифікації матеріалів за Z_{ef} та запропоновано новий метод на базі двоенергетичного детектора, який дозволяє обчислити параметр $P(H,L) \sim \mu_m$ (автор називає його «параметр характеристики»), який є пропорційним масовому коефіцієнту ослаблення та не залежить від товщини та щільності об'єкту контролю. Також, розглянуто методи візуалізації радіографічних зображень з кольоровим розділенням матеріалів, які відрізняються за Z_{ef} .

Запропоновано два методи візуалізації дво- та три- енергетичних зображень, а саме – кольорового розділення матеріалів, що відрізняються за Z_{ef} . Перший з використанням 2D мапи крапок, другий – з використанням 3D мапи крапок у координатах відповідного методу ідентифікації матеріалів.

Ідейний сенс дисертації базується на сформульованих пунктах **наукової новизни**, яка полягає в тому, що в дисертації проаналізовано фізичні аспекти визначення матеріалів за ефективним атомним номером та запропоновано новий фізичний метод характеристики матеріалів за Z_{ef} .

1. Вперше розроблено фізичний метод характеристики матеріалів за ефективним атомним номером, що дозволяє обчислити параметр, пропорційний масовому коефіцієнту ослаблення, який не залежить від товщини та щільності матеріалу;
2. Сформульовано критерій однозначної характеристики матеріалів за ефективним атомним номером при радіографічних дослідженнях у діапазоні енергій 20÷150кеВ;
3. набули подальшого розвитку моделювання енергоселективних властивостей двоенергетичного сцинтиляційного детектора типу сцинтилятор – фотодіод та цифрові радіографічні системи у цілому.

Четвертий розділ називається «Аналіз результатів експериментальних досліджень». В цьому розділі надано опис макетних зразків систем, які було створено для експериментальної перевірки дво- та три- енергетичних методів характеристики матеріалів за Z_{ef} , наведено результати експериментальних досліджень. Перший тестовий макет дозволяє отримати двоенергетичні тіньові рентгенівські зображення об'єктів під різними кутами, а другий – одночасно три тіньових зображення у трьох енергетичних діапазонах. Наведено характеристики складових елементів макетів.

Найбільш вражаючими на мій погляд є медичні застосування. Показано, що на відміну від традиційної радіографії (виявляє 20÷40% зміну мінералізації кісткової тканини) і двоенергетичної рентгенівської абсорбціометрії (2÷3%) пропо-

нований метод і тестова система дає можливість виявлення природного розподілу мінералізації кісткової тканини на рекордно низькому рівні $1 \pm 2\%$.

П'ятий розділ називається «Аналіз чинників, що впливають на точність характеристики матеріалів за Z_{ef} та узагальнення результатів досліджень». В ньому проаналізовано найбільш важливі чинники, такі як: 1) розкид параметрів детекторів типу СЦ-ФД; 2) нестабільність потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання; 3) шуми квантування аналого-цифрового перетворювача; 4) вплив розсіяного випромінювання.

Для усунення впливу розкиду параметрів детекторів, який може становити до 30% ("темнові" струми та рентгеночутливість) було запропоновано та реалізовано механізм поканального змінення напруги зміщення та коефіцієнту підсилення на базі швидкодіючих комутаторів та цифро-аналогових перетворювачів (апаратне калібрування).

Наприкінці розділу автор робить висновок, що наведені в роботі методи характеристики матеріалів можуть бути використані не тільки у ЦРС, а й при створенні томографів нового покоління, де параметр $P(H,L) \sim \mu_m$ може бути використаний для характеристики матеріалів за Z_{ef} у елементарному об'ємі (вокселі).

Завершуючи розгляд розділу 5 слід зауважити, що матеріали параграфу «Узагальнення результатів досліджень», який займає у п'ятому розділі дисертації 3 сторінки, майже зовсім не відображено у авторефераті.

Практичне значення одержаних результатів, яке полягає в тому, що запропонований в роботі метод характеристики матеріалів за ефективним атомним номером дозволяє покращити існуючі ЦРС для митного контролю, протидії тероризму, медицини, НК, тощо.

Як експериментально показано у ході виконання роботи, двоенергетичні ЦРС здатні розрізняти "легкі" матеріали з ефективним атомним номером Z від 7,06 до 8,07 з точністю 7-9%, тоді як у традиційних ЦРС для митного контролю усі матеріали із $Z < 10$ віднесені до категорії "легких" матеріалів та не розділяються. У кістковій тканині біологічних об'єктів виявлено зміни мінералізації (за кальцієм) менш ніж на 1-2%, в той час як існуючі ЦРС для діагностування остеопору виявляють зміну мінералізації 2-3%. Крім того, моделювання співвідношення сигналів двоенергетичного детектора було використано при створенні дистанційного приладу для контролю та вимірювання електричних та радіаційних параметрів рентгенівських апаратів. Такий прилад створено у ІСМА НАН України і він з успіхом пройшов випробування у відділенні променевої діагностики Харківського ОКЦУН ім. Шаповала та експлуатується дотепер у ІСМА

Таким чином, запропонований в роботі фізичний метод характеристики матеріалів за ефективним атомним номером та модельні обчислення співвідношення сигналів двоенергетичного детектора можуть бути використані при створенні нових приладів радіаційного контролю, ЦРС та томографів (для медицини, митного контролю, тощо).

Приємно відзначити, що розробка захищена патентом України **на корисну модель**. Однак у мене складається враження, що розробки автора можна було захистити декількома патентами на винахід.

Автореферат дисертації в цілому відображає зміст роботи, він є добре ілюстрований і може бути використаний для швидкого ознайомлення з матеріалом дисертації. Однак в ньому зустрічаються стилістичні огріхи і жаргонні висловлювання. Зауваження до автореферату вже було відзначено. Це стосується опису підрозділу 5.2 «Узагальнення результатів досліджень», матеріали якого майже зовсім не відображено у авторефераті. Можна припустити, що відсутність цього параграфу не впливає на якість роботи. Вважаю, що це так і є, але розумію автора, для якого наприкінці дисертації з'явилася можливість дати коментарі щодо подальшого розвитку розглянутих систем.

Зауваження до дисертації О.Д Ополоніна.

1. Перше зауваження стосується літературного огляду, який має особливість, що відзначено вище. Вважаю, що замість преамбули має бути: підрозділ 1.1 «Основні напрямки розвитку цифрових радіографічних систем».
2. Друге зауваження стосується розділу 5 та автореферату і також було відзначено вище. Підрозділ 5.2 «Узагальнення результатів досліджень» майже зовсім не відображений у авторефераті. Можна припустити, що відсутність цього параграфу не впливає на якість роботи. Вважаю, що це так і є, але розумію автора, для якого наприкінці дисертації з'явилася можливість дати коментарі щодо подальшого розвитку розглянутих систем.
3. Наступне зауваження стосується висновків. Читаємо пункт 1: «Експериментально підтверджено, що використовуючи зміну анодної напруги та фільтри з Al, Cu, матеріалів, що мають К стрибок поглинання (Ta, W, тощо), можна отримати рентгенівське випромінювання ...». По-перше, К стрибок є характерним для всіх матеріалів, по-друге, сформульоване так, що сенс стає зрозумілим після вивчення розділу 2.
4. В перекладі анотації на англійську мову читаємо: «The dissertation solves the problem of increasing the informativity of radiographic control ...». В оригіналі це речення означає «Дисертація присвячена проблемі характеристики матеріалів за ефективним атомним номером». Вважаю, що вирази «вирішує проблему» та «присвячена проблемі» значно розрізняються за сенсом.

5. На рис. 3.12 надано кутову залежність сигналу детектора з підвищеним просторовим розділенням за результатами моделювання. Нажаль енергоселективні властивості такого детектора відсутні у тексті. Виникає питання: чи доцільно використовувати такий детектор для двоенергетичної абсорбціометрії?

Однак ці зауваження принципово не знижують наукову і практичну цінність дисертації Ополоніна О.Д., яка в цілому являє собою закінчене наукове дослідження, а основні результати роботи та висновки є обґрунтованими. **Достовірність** отриманих результатів обумовлена використанням сучасних і добре апробованих наукових приладів і підтверджується відтворюваністю результатів. Наукові та практичні результати мають усі ознаки обраної спеціальності – фізика приладів, елементів і систем.

Основний зміст дисертації та положень наукової новизни достатньо повно розкрито в 33 опублікованих наукових працях. Цей список складається з 10 статей в міжнародних і вітчизняних провідних фахових журналах, одного патенту на корисну модель та 22 робіт за матеріалами конференцій. Серед профільних журналів ми спостерігаємо такі престижні як Nuclear Instruments and Methods, міжнародне видання Radiation Measurements та Journal of Crystal Growth (Elsevier), перекладний журнал Instruments and Experimental Techniques (Shpringer), а також Functional Materials. Перелічені видання входять до бази даних SCOPUS. Відзначимо, що 23 статті зі списку опублікованих праць включено до баз Scopus або Web of Science. До цього переліку можна додати також **патент на корисну модель** «Пристрій для контролю параметрів рентгенівських випромінювачів».

Підсумовуюче сказане, я вважаю, що дисертаційна робота «**Принципи характеристики матеріалів за ефективним атомним номером при радіографічному контролі**», є кваліфікаційною науковою працею, яка за актуальністю, достовірністю результатів та науковою новизною і практичними результатами відповідає всім вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор – Олександр Ополонін – заслуговує присудження вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
Доцент кафедри фізико-математичних дисциплін
Національного університету цивільного
захисту України

Олександр Кудін



Особливий інспектор
19.08.2024 * КОД * * * * *
№08571363