

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника

Дудника Олексія Володимировича

про дисертацію Ополоніна Олександра Дмитровича

«Принципи характеристики матеріалів за ефективним атомним номером при радіографічному контролі»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Дисертація Ополоніна О.Д. присвячена розвитку методів характеристики матеріалів за ефективним атомним номером при радіографічному контролі. В роботі автор пропонує новий метод характеристики матеріалів за Z_{eff} , який має перспективу застосування як для митного контролю, так і для медичної діагностики.

1. Актуальність теми дисертації

Рентгенографічний контроль дуже широко використовується у самих різних галузях діяльності людства, а поступовий перехід від плівкової до цифрової рентгенографії є сталою тенденцією останні два десятиріччя.

Важко уявити сучасний аеропорт без цифрових рентгенівських систем (ЦРС), які дозволяють в режимі реального часу здійснювати контроль вмісту великої кількості багажу, що переміщується за допомогою конвеєрів. Протидія тероризму та запобігання контрабанді є актуальними дотепер.

Найбільш актуальним напрямом підвищення інформативності рентгенівського контролю при митному контролі є розділення "легких" речовин з ефективним атомним номером $Z_{\text{eff}} < 10$. До "легких" відносяться вибухові та наркотичні речовини, медикаменти, тощо.

Рентгенографія відіграє ключову роль серед неінвазивних методів медичної діагностики. Підвищення інформативності рентгенографічної медичної діагностики та митного контролю пов'язане, насамперед, з використанням методу двоенергетичної рентгенівської абсорбціометрії (ДРА). Метод ДРА дозволяє оцінювати ступінь мінералізації кісткової тканини людини, ожиріння, тощо.

В медицині важливим є виявлення хвороби на ранніх стадіях. Тому, підвищення функціональних можливостей діагностичних засобів є актуальною задачею.

Основна частина досліджень виконана під час виконання:

- комплексної програми наукових досліджень НАН України "Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин";
- державної науково-технічної програми розвитку мікро- та оптоелектронних технологій в Україні "Оптоелектронні пристрої для сфери охорони здоров'я, моніторингу навколишнього середовища і запобігання тероризму";
- пошукових тем Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України "Дослідження можливості розділення речовин за ефективним атомним номером" та "Дослідження особливостей практичного використання мультиенергетичного підходу для цифрової радіографії".

2. Наукова новизна результатів, представлених в дисертаційній роботі Ополоніна О.Д. полягає в наступному:

Проведений аналіз енергетичної залежності масових коефіцієнтів ослаблення простих елементів, дозволив сформулювати критерій однозначної характеристики матеріалів за ефективним атомним номером при радіографічних дослідженнях у діапазоні енергій $20 \div 150 \text{ кеВ}$.

В роботі пропонується новий фізичний метод характеристики матеріалів за ефективним атомним номером. Автор вирішує зворотну задачу ДРА – за сигналами двоенергетичного детектора обчислює параметр, пропорційний масовому коефіцієнту ослаблення матеріалу, крізь який пройшло рентгенівське випромінювання. За умов незначного впливу розсіяного випромінювання, як показано експериментально, обчислений параметр не залежить від товщини та щільності матеріалу і характеризує саме ефективний атомний номер матеріалу.

Моделювання енергоселективних властивостей двоенергетичного сцинтиляційного детектора типу сцинтилятор-фотодіод дозволило порівняти дві конструкції детекторів "пристрою для контролю параметрів рентгенівських апаратів" та обґрунтувати вибір найбільш ефективної конструкції. Пристрій пройшов натурні випробування, отримано патент на корисну модель.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом

Дисертантом особисто:

- проаналізовано особливості взаємодії елементів таблиці Д.І. Менделєєва з рентгенівським випромінюванням в діапазоні енергій $20-150 \text{ кеВ}$;
- запропоновано у якості інформаційного параметру для характеристики матеріалів за Z_{eff} використовувати масовий коефіцієнт ослаблення;

- знайдено рішення зворотної задачі ДРА з обчисленням параметру, пропорційного масовому коефіцієнту ослаблення;
- запропоновано спрощену модель двоенергетичного сцинтиляційного детектора рентгенівського випромінювання;
- виконано модельні обчислення та експериментальні дослідження енергоселективних властивостей сцинтиляційних детекторів рентгенівського випромінювання;
- отримано експериментальні дані, що підтверджують наукові положення, узгоджуються з результатами модельних обчислень та окреслюють перспективи практичного використання результатів дисертаційної роботи.

Таким чином, основні результати роботи, що визначають її новизну та фактичні матеріали експериментальних досліджень, були отримані здобувачем особисто.

4. Повнота опублікування основних результатів дисертації.

Новизна, актуальність, достовірність та обґрунтованість роботи підтверджується 33 публікаціями (з них 10 у міжнародних та вітчизняних фахових виданнях) та апробацією на 18 конференціях. 23 статті входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Результати досліджень опубліковані у наступних виданнях: "Functional materials", "Radiation Measurements", "Nuclear Instruments and Methods in Physics Research", "Instruments and Experimental Techniques", "Радіоелектроніка та інформатика", Biomedical Engineering, "Journal of Crystal Growth", "Вісник НТУУ „Київський політехнічний інститут", серія «Приладобудування»

Основні наукові результати дисертації є повністю опублікованими та апробованими.

5. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів

Достовірність отриманих в дисертаційній роботі результатів базується на використанні здобувачем фізичних засад взаємодії рентгенівського випромінювання з речовиною та на результатах експериментальних досліджень, виконаних з використанням сучасного рентгенівського та вимірювального обладнання.

Виконані здобувачем модельні обчислення співвідношення сигналів двоенергетичного сцинтиляційного детектора узгоджуються з результатами експериментальних досліджень.

Обчислені енергоселективні властивості двоенергетичного детектора рентгенівського випромінювання підтверджено експериментальними вимірюваннями.

Ефективність використання нового методу характеристики матеріалів за Z_{eff} при радіографічному контролі доведена експериментально з використанням набору тестових

об'єктів контролю. Тестові об'єкти контролю дозволили дослідити залежність трьох різних параметрів характеристикації матеріалів від Z_{eff} , щільності та товщини матеріалу.

6. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Низка експериментальних досліджень, наведених в дисертації, підтверджує можливість використання результатів роботи в галузях протидії тероризму та медицини.

Моделювання співвідношення сигналів двоенергетичного детектора було використано при створенні пристрою для контролю параметрів рентгенівських апаратів. Такий прилад експлуатується дотепер у ІСМА НАН України.

Наявність в Україні виробників ЦРС медичного призначення (фірми "Квант" та "Радмір") створює сприятливі умови для практичного використання результатів дисертаційної роботи.

Запропонований в роботі фізичний метод характеристикації матеріалів за Z_{eff} та результати модельних обчислень можуть бути використані при створенні нових приладів радіаційного контролю, ЦРС та томографів (для медицини, митного контролю, тощо).

7. Зауваження до змісту роботи

1. Написи усередині частини рисунків наведені в оригінальному варіанті, без перекладу українською мовою: рис. 2.6, 2.12, 2.19, 3.15, 4.17, 5.15.

2. Посилання на ДСТУ у списку цитованої літератури [3-12] наведені без дати набуття чинності та кількості сторінок у стандартах.

3. В поясненнях до рисунку 3.2 не повною мірою надано інформацію щодо ослаблення світлового потоку на осі абсцис. В роботі вказано (сторінка 77): "на рисунку 3.2 наведено результати модельних обчислень співвідношення сигналів за умов нормування сигналів, тобто, за відсутності ОК співвідношення сигналів та їх сума дорівнюють одиниці".

З даного пояснення не зрозумілим залишається як саме проводилось нормування:

- нормувався кожен сигнал НД та ВД окремо, а потім обчислювались їх співвідношення та сума? Тоді по осі абсцис відкладено напівсуму сигналів;

- обчислювались сигнали ВД та НД у відносних одиницях, потім знаходилося співвідношення сигналів та їх сума, а далі проводилось нормування?

Далі на сторінці 78 вказано:

Як можна бачити з рис. 3.2, по мірі ослаблення РВ матеріалом ОК, співвідношення сигналів монотонно, зростає. На мій погляд, доцільно було би вказати за рахунок чого при моделюванні змінюється ослаблення рентгенівського випромінювання. Наприклад, товщини матеріалу.

4. В таблиці 1.1, (сторінка 49) відносно об'єкту контролю надається пояснення терміну "радіаційна товщина" – еквівалент по сталі, мм. В цьому ж сенсі застосовано термін "радіаційна товщина" (сторінки 55, 68, 105). Але, на сторінці 67 використано термін "радіаційна товщина" по відношенню до сцинтиляційного кристалу, але не зрозуміло чи доцільно використання еквіваленту по сталі стосовно сцинтиляційного кристалу, можливо термін "радіаційна товщина" було використано в іншому сенсі, але не надано роз'яснення.

5. В підрозділі 1.1 (сторінка 33) згадується «спільно з НТ СКБ "Полісвіт", м. Харків, використовуючи детектори рентгенівського випромінювання виробництва НТЦ РП НТК "Інститут монокристалів", м. Харків, було створено серію ЦРС "Поліскан" для митного контролю (від ручного багажу до автомобілів і контейнерів)». Однак, далі в роботі, про технічні характеристики ЦРС серії "Поліскан" нічого не сказано, тільки на сторінці 46 наводиться загальний вигляд ЦРС "Поліскан 2". Виникає питання – який метод характеристики матеріалів за Z_{eff} використовувався в ЦРС серії "Поліскан"?

6. На сторінці 111 автор стверджує, що триенергетичні радіографічні зображення містять більше інформації ніж двоенергетичні, а групи точок, що відповідають різним матеріалам не належать одній площині та посилається на рисунок 4.9а,г. За вказаним посиланням наводиться тривимірний мапа точок, відображена з одного ракурсу, яка не надає можливості оцінити – належать групи точок до однієї площини або не належать. Доцільно було б навести 3 або більше ракурсів відображення мапи точок, як наприклад, це зроблено для багаторакурсного сканування на рис.4.19.

7. На рисунку 4.10б невдало обрано масштаб відображення співвідношення сигналів детекторів високих та низьких енергій, в наслідок чого, важко оцінити залежність параметру характеристики матеріалів від ослаблення сигналу. Доцільно було би змінити масштаб, як на рисунку 4.10в.

8. В таблиці 2.1 (сторінка 64) вказано, що в роботі використовувались детектори СЕЛДІ-16М.06-1 та СЕЛДІ-16М.06-2, однак, інформація про виробника цих детекторів в дисертації відсутня.

Однак, наведені вище зауваження і рекомендації не впливають на загальну високу оцінку рівня дисертації, не піддають сумніву основні наукові результати, отримані автором, їх обґрунтованість, достовірність та практичне значення.

8. Загальна оцінка дисертації та висновки

Дисертація О.Д. Ополоніна викладена на 158 сторінках друкованого тексту, з яких на 125 сторінках викладена основна робота, містить 83 рисунки, 2 таблиці, 1 додаток, 121 бібліографічне найменування.

Робота виконана на високому науковому та професійному рівні і є завершеною науковою працею. В роботі отримано нові наукові результати щодо характеристики матеріалів за ефективним атомним номером при радіографічному контролі.

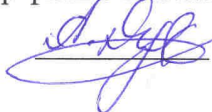
Дисертація є чітко структурованою, матеріал викладено логічно та зрозуміло. Експериментальна частина роботи пов'язана з результатами модельних обчислень та підтверджує ефективність використання нового методу характеристики матеріалів ефективним атомним номером.

Основні наукові положення, відображені у авторефераті, ідентичні викладеним у дисертаційній роботі.

Вважаю, що дисертація О.Д. Ополоніна «Принципи характеристики матеріалів за ефективним атомним номером при радіографічному контролі», є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає паспорту спеціальності 01.04.01–фізика приладів, елементів і систем та вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а здобувач, Ополонін Олександр Дмитрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник Радіоастрономічного інституту НАН України,
доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

 О.В. Дудник " 23 " серпня 2021 р.

Підпис Олексія Володимировича Дудника засвідчую:

Учений секретар Радіоастрономічного інституту НАН України,
кандидат фізико-математичних наук

 Ю.В. Антоненко

