

В.Д. РИЖИКОВ, докт. фіз.-мат. наук, проф., зав. відділення РП, ІСМА НАНУ, Харків;

О.Д. ОПОЛОНІН, заст. зав. відділу ІСМА НАНУ, Харків;

В.Г.ВОЛКОВ, заст. зав. відділу ІСМА НАНУ, Харків;

О.К. ЛИСЕЦЬКА, канд. хім. наук, ст. наук. співроб., ІСМА НАНУ, Харків;

С.М. ГАЛКІН, канд. хім. наук, зав. відділу ІСМА НАНУ, Харків;

Є.Ф. ВОРОНКІН, канд. техн. наук, заст. зав. відділу, ІСМА НАНУ, Харків

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ДЕТЕКТУЮЧОГО ТРАКТУ ДЛЯ ЦИФРОВИХ РАДІОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ З ПОКРАЩЕНИМ ПРОСТОРОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ

Для отримання тінєвих рентгенівських зображень було проведено розробку приймально-детектуючого тракту з лінійкою 32-канальних детекторів «сцинтилятор-фотодіод» нового дизайну для поля сканування $200 \cdot 10^{-3}$ м. За допомогою макетів цифрової радіографічної системи та стандартних тестових об'єктів визначено просторову роздільну здатність (не гірше 1,25 пар ліній/мм) та виявну здатність (краща ніж $0,2 \cdot 10^{-3}$ м сталюго дроту за $6 \cdot 10^{-3}$ м сталі).

Для получения теневых рентгеновских изображений было проведено разработку приемно-детектирующего тракта с линейкой 32-канальных детекторов «сцинтиллятор-фотодиод» нового дизайна для поля сканирования $200 \cdot 10^{-3}$ м. С помощью макетов цифровой радиографической системы и стандартных тестовых объектов определено пространственное разрешение (не хуже 1,25 пар линий / мм) и выявляющую способность (лучше чем $0,2 \cdot 10^{-3}$ м стальной проволоки по $6 \cdot 10^{-3}$ м стали).

For obtaining shadow X-ray images, a receiving-detecting circuit with the 32-channel detector array "scintillator-photodiod" of new design was developed for $200 \cdot 10^{-3}$ m scanning field. Using model digital radiographic systems and standard testing we have evaluated spatial resolution (not worse than 1.25 line pairs/mm) and detecting ability (better than $0.2 \cdot 10^{-3}$ m steel wire behind $6 \cdot 10^{-3}$ m steel).

Вступ. Плівковий радіографічний контроль (ПРК) показує, що не завжди забезпечуються точні оцінки ушкоджень [1-6]. Також проведення ПРК потребує дорогих матеріалів та значних часових витрат. Матеріали дев'ятої Європейської конференції з неруйнівного контролю вказують, що головним напрямом розвитку цифрових радіографічних систем (ЦРС) є підвищення просторового розділення (ПР) [6]. ЦРС поступається ПРК по роздільній здатності, однак за контрастною чутливістю по щільності значно перевершує: (0,8- 1)% та (1-2)% відповідно.

Мета даної роботи є пошук резервів для поліпшення ПР, роздільної здатності по товщині та виявної здатності ЦРС на базі детекторів рентгенівського випромінення типу «сцинтилятор-фотодіод» (СЦ-ФД).

Попередні дослідження показали, що на шляху створення детекторів СЦ-ФД з підвищеним ПР існують дві основні технологічні проблеми [1-3,7].

Одна з них – це виготовлення сцинтиляційних лінійок (збірок) з малою апертурою окремого сцинтиляційного елемента. Друга – це компактне розташування попередніх підсилювачів (ПП).

Нами розроблені технічні рішення для виготовлення та вдосконалення ФД та сцинтиляційних збірок з кількістю каналів 32 на одному ФД та конструкції детектора у цілому.

Розробка конструкції детектора з підвищеним ПР. Детектор рентгеновського випромінювання типу СЦ-ФД складається з двох головних елементів – багатоканального ФД та сцинтиляційної лінійки (збірки).

Попередня конструкція 16 та 32 каналних ФД обмежує напрямок опромінення детекторів, створених на їх базі. Коректне використання таких детекторів можливе тільки у випадку, коли опромінення є в напрямку, перпендикулярному площині фоточутливих елементів [2,3].

Спільно з НДІ Мікроприладів, м. Київ, нами була розроблена нова конструкція 32 каналного ФД (рис.1), яка має такі переваги [4,7,8]:

- усі контакти фоточутливих елементів розварені по один бік кремнієвої пластини;
- наявність та розташування роз'єма забезпечує можливість довільного розміщення плати ПП відносно напрямку опромінення детектора;
- на передній (вільній від контактів) стороні корпусу передбачено 2 юстировочні отвори.

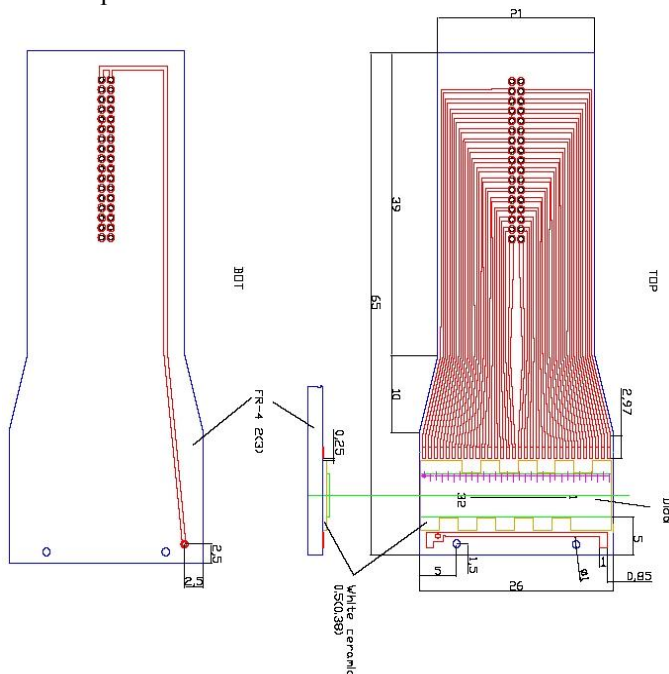


Рис.1. 32 каналний фотодіод нової конструкції

Перша та третя особливості конструкції дозволяє при використанні детектора в двоенергетичних ЦРС досягти найбільшої ідентичності характеристик пари детекторів високих та низьких енергій [4]. Друга особливість конструкції 32 канального ФД надає можливість легкого стикування детекторів з мінімальним зазором між ними, що важливо для збереження кроку каналів у лінійці $0,8 \cdot 10^{-3}$ м. Також розташування ФД забезпечує значну відстань між детектором та платою ПП, що надає більше можливостей щодо захисту елементної бази ПП від впливу прямого та розсіяного іонізуючого випромінювання. Захист елементів електроніки набуває важливого значення при використанні високоенергетичних джерел рентгенівського випромінювання (ДРВ) з анодною напругою до 450 кВ тощо [9,10].

Виготовлення дослідних зразків 1D-лінійок проводили з використанням монолітних заготовок скінтіляторів. Виготовлені з пластини 32-х канальні скінтіляційні збірки мають розміри $(25,4 \times 4 \times 0,6) \cdot 10^{-3}$ м, високу однорідність скінтіляційних характеристик та можуть бути точно розміщені на фоточутливих елементах багатоканального ФД [9].

Виготовлення макетних зразків детекторів та дослідження їх характеристик. Виготовлено макетні зразки 32 канальних детекторів рентгенівського випромінювання. Вимоги до параметрів 32 канального детектора рентгенівського випромінювання були сформульовані на рівні закордонних аналогів. Параметри детекторів приведені у табл.1.

Таблиця 1.

Параметри 32 канального детектора

Найменування	Параметри
Площа вхідного вікна детектора	$(0,6 \times 0,6) \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
Крок детектора	$0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
Статичний струм детектора за відсутності впливу випромінювання ($T=293 \text{ K}$, $U_{\text{зміщ.}} = 10^{-2} \text{ V}$)	$< 20 \cdot 10^{-12} \text{ A}$
Спад сигналу детектора через $10 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ CsI(Tl) ZnSe(Te) CdWO ₄	До рівня 2% До рівня 0,2% До рівня 0,1%
Смність детектора ($T=293 \text{ K}$, $U_{\text{зміщ.}} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ V}$)	$< 50 \cdot 10^{-12} \text{ F}$

32-канальний детектор з скінтіляційними елементами різної товщини зображено на рис.2.

Топологія модуля детекторів повинна забезпечувати можливість послідовного стикування модулів у лінію із збереженням кроку детекторів в місті стикування модулів.

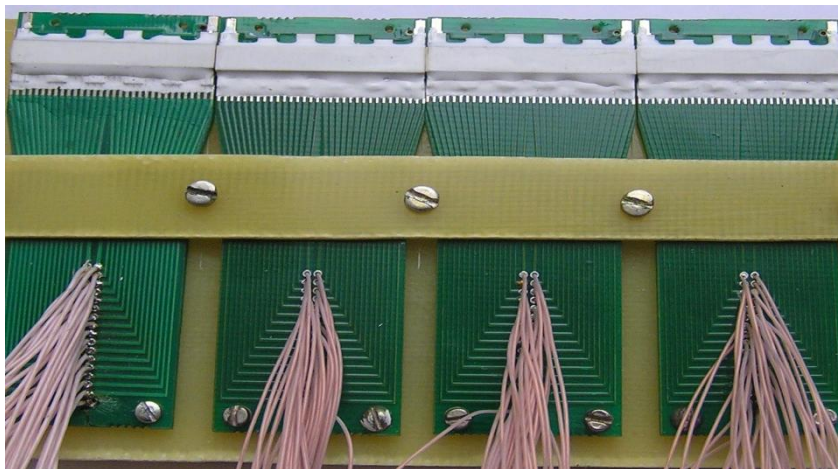


Рис.2. 32-канальний детектор з сцинтиляційними елементами різної товщини

Випробування 32-канальної лінійки детекторів у складі макету ЦРС на базі приймально-детектуючого тракту. Було змонтовано макетний зразок ЦРС на базі приймально-детектуючого тракту (ПДТ) з лінійкою 32 каналних детекторів. Для отримання тінювих рентгенівських зображень було проведено розробку ПДТ з лінійкою детекторів нового дизайну для поля сканування $200 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. ПДТ було послідовно інтегровано до двох макетів ЦРС.

Перший макет ЦРС-1 складався з ПДТ, лінійного двигуна (мінімальний крок переміщення менше 1 мкм , довжина більше $1600 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) та ДРВ типу Isovolt Titan E ($U_{\text{а макс}}=160 \text{ кВ}$, $I_{\text{а макс}}=45 \text{ мА}$, максимальна потужність $4,5 \text{ кВт}$).

Другий макет ЦРС-2 складався з ПДТ, механізму переміщення та обертання об'єкта контролю та ДРВ типу РАПАН 140/140 ($U_{\text{а макс}}=140 \text{ кВ}$, $I_{\text{а макс}}=1 \text{ мА}$). Наявність у складі макету механізму обертання забезпечило реалізацію режиму багаторакурсного сканування (60 ракурсів), що здатний суттєво підвищити інформативність неруйнівного контролю та технічної діагностики.

За допомогою означених макетів ЦРС та стандартних тестових об'єктів - EN 462-5 (набір пар дротиків), канавочний еталон чутливості №2 (ГОСТ 7512-82), набір залізних дротиків DIN 62 Fe (10 ISO 16), комплект автомобільних щупів різної товщини (від $0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ до $0,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) та зварне з'єднання сталевих пластин товщиною $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ визначено ПР. Зовнішній вигляд тестових об'єктів зображено на рис. 3. Розміри дротиків, що входять у набір стандартних тестових об'єктів EN 462-5 та DIN 62 Fe (10 ISO 16) показані у табл. 2 та 3 відповідно.

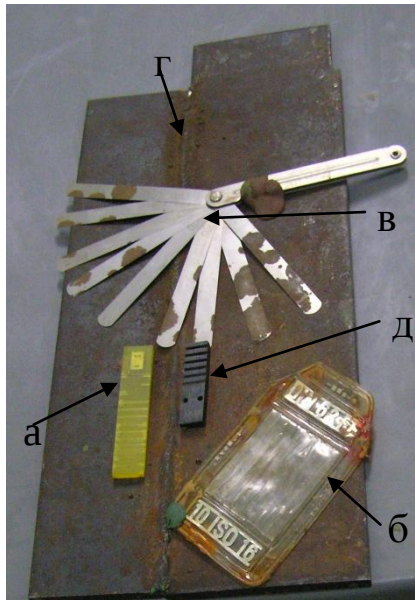


Рис. 3. Зовнішній вигляд стандартних тестових об'єктів: EN 462-5 - набір пар дротиків а), набір залізних дротиків DIN 62 Fe (10 ISO 16) б), комплект автомобільних щупів в) та зварне з'єднання сталевих пластин товщиною $6 \cdot 10^{-3}$ м г), канавочний еталон чутливості №2 (ГОСТ 7512-82) д).

Таблиця 2.

Розміри пар дротиків тестового об'єкту - EN 46 2-5

Пара	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	10D	11D	12D	13D
Діаметр мм	1.6	1.26	1.0	0.80	0.64	0.5	0.4	0.32	0.26	0.2	0.16	0.13	0.1

Таблиця 3.

Розміри дротиків тестового об'єкту -
DIN 62 Fe (10 ISO 16).

№ дротику	Діаметр, мм	
W10	0.40	±0.01
W11	0.32	
W12	0,25	
W13	0.20	
W14	0.16	
W15	0.125	±0.05
W16	0.100	
W17	0.080	

Проведені випробування лінійки детекторів з різною товщиною скінтиляційних елементів у складі макетів ЦРС з отриманням тінювих рентгенівських зображень тест – об’єкту (калібрований набір пар дротиків) показали, що в залежності від товщини використаної при виготовленні детекторів скінтиляційної збірки просторове розділення становить $1\div 1,25$ пар ліній/мм, а виявна здатність краща ніж $0,2\cdot 10^{-3}$ м сталюго дроту (рис. 4).

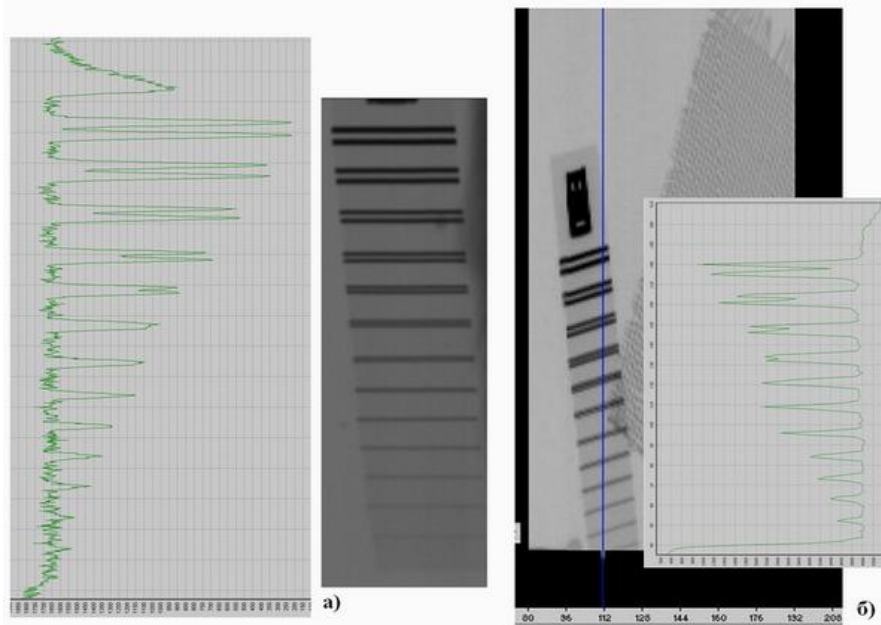


Рис.4. Оцінка просторової роздільної здатності ЦРС а) перший макет ЦРС, об’єкт EN 462 -5 розташовано за 6мм сталі, збільшення ≈ 2 ; б) другий макет ЦРС - об’єкт EN 462 -5 розташовано без перешкод, збільшення $\approx 1,3$.

Використання 16 розрядного аналого - цифрового перетворювача у складі ПДТ дозволило збільшити динамічний діапазон та підвищити, порівняно з попередніми результатами [9], роздільну здатність по товщині з $\approx 0,9\%$ до $\approx 0,4\%$ за $6\cdot 10^{-3}$ м сталі (рис.5).

Таким чином, проведені вимірювання показали, що виготовлена лінійка детекторів для отримання тінювих рентгенівських зображень з високим ПР може бути з успіхом використана з ДРВ, що має анодну напругу до 160 кВ.

Розроблені та виготовлені детектори рентгенівського випромінювання можуть бути з успіхом використані для створення швидкодійних ЦРС з покращеним ПР. Їх застосування включає контроль зварних з’єднань, трубопроводів, металоконструкцій та металообробку. Також можна використовувати у інспекційних системах, включаючи анти-терористичну діяльність, технічну діагностику та медицину [1, 4, 7, 9, 10].

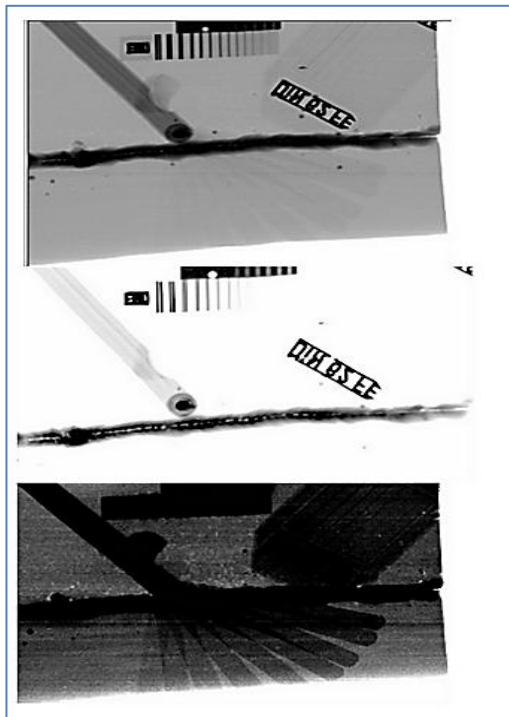


Рис.5 . Оцінка роздільної здатності ЦРС по товщині (за $6 \cdot 10^{-3}$ м сталі).

Вдячність: ця робота була частково проведена за підтримки проекту NATO SfP-982823.

Список літератури: 1. Ryzhikov, V.D., Opolonin O.D., Galkin S. M. et al. In: Proc. SPIE Optics+Photonics (Optical Engineering + Application), San Diego, USA, vol. 7450(2009) p.p. 0J1-0J6. 2. Ryzhikov, V.D., Opolonin, O.D., Kozin, D.N. et al., Nucl. Instr. and Meth. A, vol. 505, p.p.192-199 (2003). 3. Ryzhikov, V.D., Kozin, D.M., Grynyov, B.V et al., Nucl. Instr. and Meth. A, vol. 505, p.p.181-184 (2003). 4. Naydenov, S.V., Ryzhikov, V.D., Smith, C.F et al. In: Proc. SPIE Optics+Photonics (Optical Engineering + Application), San Diego, USA, vol. 6319(2006), p.p.A1-A8. 5. Seminozhenko, V.P., Ryzhikov, V. D., Opolonin, A.D.et al., In: Proc. SPIE Optics+Photonics (Optical Engineering + Application), San Diego, USA, vol. 6319(2006), p.p. B1-B8. 6. Bavendiek, K., Ewert U., Zscherpel, Meade, U. In: Proc. the 9-th European Conference on NDT, Berlin, Germany, vol.2(2006), p.p.44-48. 7. Гриньов, Б.В., Рижиков, В.Д., Семиноженко В.П, Сцинтиляційні детектори та системи радіаційного моніторингу на їх основі. – Київ: Наукова думка, (2007) – 447 с. 8. Ryzhikov, V., Grynyov, B., Opolonin, A et al., Radiation Measurements, vol.42, p.p. 915– 920 (2007). 9. Ryzhikov, V. D., Opolonin, O., Galkin, S. M. et al. In: Proc. SPIE Optics+Photonics (Optical Engineering + Application), San Diego, USA (2010), Vol. 7805, pp. P1-P9. 10. Ryzhikov,V.D., Opolonin,O.D., Galkin, S.M., Volkov V.G., Lysetska, O K., Kostioukevitch S.O. In: Proc. SPIE Optics+Photonics (Optical Engineering + Application), San Diego, USA, vol. 8142(2011) p.p.81421C-1- 81421C-8

Надійшла до редакції 13.04.12