



ПРИЙМАЛЬНО-ДЕТЕКТУЮЧИЙ ТРАКТ ЦИФРОВОЇ РАДІОГРАФІЧНОЇ СИСТЕМИ З ПІДВИЩЕНИМ ПРОСТОРОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ

В. Д. РИЖИКОВ, О. Д. ОПОЛОНІН, О. К. ЛИСЕЦЬКА, С. Н. ГАЛКІН, Е. Ф. ВОРОНКІН, В. Л. ПЕРЕВЕРТАЙЛО

Висвітлюється пошук резервів для поліпшення виявної та роздільної здатності цифрових радіографічних систем на базі детекторів «сцинтилятор–фотодіод». Визначено напрямок створення приймально-детектуючого тракту з підвищеним просторовим розділенням за рахунок удосконалення структурної схеми, виготовлення 32-канальних сцинтиляційних збірок та фотоприймальних пристроїв з інтегрованою електронікою. За результатами випробувань зроблено висновки щодо застосування пристрою для контролю зварних з'єднань та металоконструкцій.

Search for potential for improvement of the detection and resolution capabilities of digital radiographic systems based on Scintillator-photodiode detectors is described. The approach based on creation of the receiving-detecting channel with an improved spatial resolution due to improvement of block-diagram, manufacturing 32-channel scintillation assemblies and photodetectors with integrated electronics, is outlined. Testing results were the basis to draw conclusions on application of the device for testing of welded joints and metal structures.

Плівковий радіографічний контроль (РГК) залишається одним з найнадійніших при експлуатації систем трубопроводів та металоконструкцій [1–10]. Його головною перевагою є роздільна здатність до 16...18 пар ліній/мм [9, 10]. Однак значний досвід показав, що не завжди забезпечуються точні оцінки ушкоджень, а проведення РГК потребує дорогих матеріалів та значних часових витрат. Підвищення вимог до якості неруйнівного контролю (НК) та технічної діагностики (ТД) визначило потребу у розвитку новітніх засобів з високою контрастною чутливістю.

Заповнити цю нішу можуть цифрові радіографічні системи (ЦРС) на базі приймально-детектуючого тракту (ПДТ) типу «сцинтилятор-фотодіод» (СЦ-ФД) [11–13], перевагами яких порівняно з РГК є:

- висока ефективність реєстрації рентгенівського випромінювання (90...98 %) у широкому діапазоні енергій (30 кеВ...10 МеВ);
- отримання тіншового рентгенівського зображення у реальному масштабі часу;
- збереження отриманих даних у цифровому вигляді;
- застосування математичних методів обробки;
- відсутність витратних матеріалів (плівки з вмістом срібла, хімічних реактивів тощо).

Такі ЦРС вже надійно зарекомендували себе у інтроскопах митного контролю [12], також їх можна використовувати для інспекції стану зварних з'єднань [13]. Принциповою перешкодою для прямого застосування є той факт, що ЦРС посту-

пається РГК по роздільній здатності, однак за контрастною чутливістю по щільності перевершує: (0,8...1 %) та (1...2 %) відповідно.

Метою даної роботи є створення новітніх приладів ЦРС з покращеними характеристиками — виявною та роздільною здатностями.

Напрямки створення ЦРС з покращеними характеристиками. Враховуючи досвід розробки рентгенівських інтроскопів [12], виявлено, що є резерви для поліпшення експертизи об'єктів контролю (ОК) за рахунок створення ПДТ з підвищеним просторовим розділенням (ППР).

Першим напрямком є подолання недоліків структурної схеми ПДТ, тобто відсутність апаратної компенсації (калібровки) розкиду параметрів по каналах лінійки детекторів (ЛД) («темнових» струмів та рентгеночутливості). Рівні як «темнових» сигналів (без рентгенівського випромінюван-

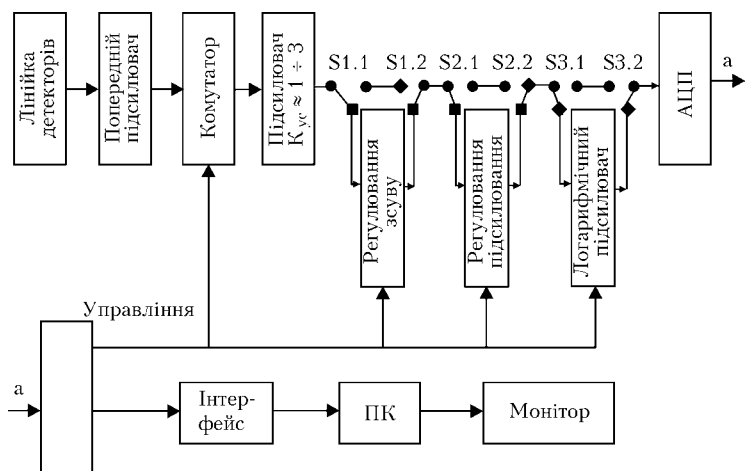


Рис. 1. Структурна схема ПДТ

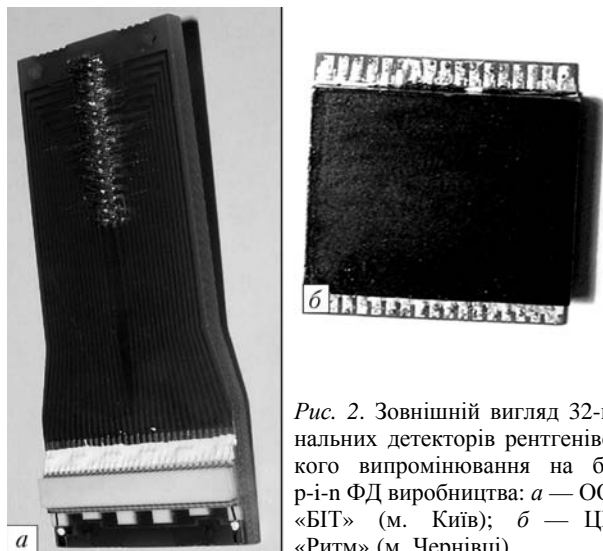


Рис. 2. Зовнішній вигляд 32-канальних детекторів рентгенівського випромінювання на базі р-і-п ФД виробництва: а — ООО «БІТ» (м. Київ); б — ЦКБ «Ритм» (м. Чернівці)



W6	1,00	±0,02
W7	0,80	
W8	0,63	
W9	0,50	
W10	0,40	
W11	0,32	±0,01
W12	0,25	

Рис. 3. Тестові об'єкти: зварені сталеві пластини, набір щупів та набір залізних дротиків (див. таблицю)

ня), так і сигналів під час рентгенівського випромінювання (без ОК) суттєво відрізняються (до 30 %) по різних каналах ЛД. Таким чином, розкид параметрів призводить до зменшення динамічного діапазону ПДТ. Крім того, при застосуванні логарифмічного підсилювача значно ускладнюється калібрування ПДТ. Проблема може бути вирішена шляхом удосконалення структурної схеми ПДТ. Нами була розроблена нова структурна схема ПДТ, що входить до складу ЦРС (рис. 1).

Реалізація цієї схеми розширює функціональні можливості ЦРС, тобто надає їй здатності апаратного калібрування зміщення та коефіцієнта підсилення по кожному каналу, сприяє підвищенню якості тіньового рентгенівського зображення.

Використання сучасної елементної бази дозволяє застосовувати поканальне калібрування сигналів 512-канальної ЛД при часі опитування усіх каналів менш, ніж 10 мс. Обрані схемні рішення дозволяють змінювати напругу зміщення $U_{зм}$ від $U_{зм} = 0$ В до $U_{зм} = U_{оп}$ з кроком $U_{кр} = U_{оп}/128$, де $U_{оп}$ — рівень опорної напруги. Аналогічно реалізована можливість змінення (128 значень) коефіцієнта підсилення.

Таким чином, з використанням спеціального програмного забезпечення реалізована можливість подвійного (апаратного та програмного) калібрування сигналів ЛД.

Другим напрямком для підвищення роздільної здатності ЦРС є зменшення апертури окремого каналу багатоелементної ЛД типу СЦ-ФД [11–14]. Технологія виготовлення 32-канального детектора значною мірою схожа з технологією створення 16-канального [12]. Головна різниця полягає у необхідності мінімізувати міжканальний шар відбивача. Нами виготовлено 32-канальні збірки детектування з міжканальним шаром відбивача 150...200 мкм (для 16-канальної збірки 250...300 мкм). Для розробки були використані 32-канальні р-і-п ФД з кроком розташу-

вання фоточувливих елементів 0,8 мм (рис. 2) [12].

Таким чином, була досягнута достатня ефективність детектування при малому міжканальному оптичному взаємовпливі.

Макетні випробування ЦРС. У якості тест-об'єктів, що дозволяють визначити виявну здатність макету ЦРС та розділення по щільності (контрастну чутливість) було використано зварені сталеві пластини товщиною 6 мм; набір щупів товщиною 0,05...0,30 мм; набір залізних дротиків від 0,25 до 1 мм (рис. 3).

Тіньове рентгенівське зображення тестових об'єктів дозволило оцінити розділення по щільності — не гірше 0,9 %, та виявну здатність — залізний дротик $\varnothing 5$ мм, що знаходиться за сталеву пластину товщиною 6 мм.

Такі результати вимірювань свідчать про можливість використання ЦРС у якості товщиноміру або для виявлення корозійних процесів, що призводять до зменшення товщини ОК менш, ніж на 1 %.

Крім тіньового рентгенівського зображення були отримані зображення, які надають змогу

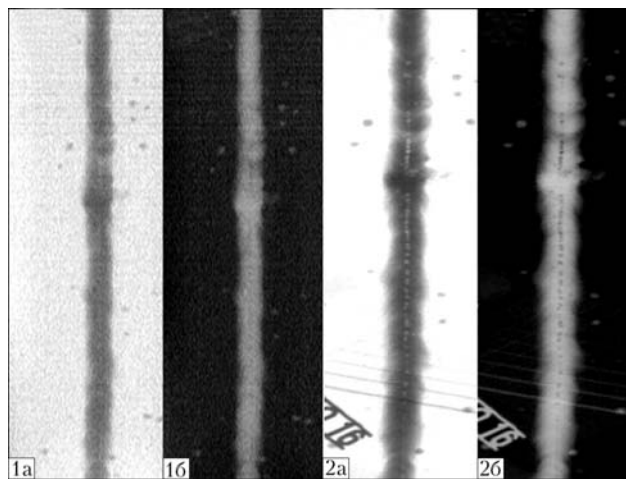


Рис. 4. Тіньове рентгенівське зображення зварного з'єднання, режим збільшення приблизно у 1,4 рази: 1а — позитив; 1б — негатив; у 8 разів: 2а — позитив; 2б — негатив



Рис. 5. Тіньові рентгенівські зображення зварного з'єднання, отримані під різними кутами зору

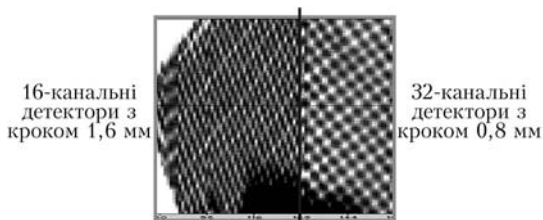


Рис. 6. Тіньове рентгенівське зображення латунної сітки (детектори: 16- та 32-канальні)

оцінити додаткові можливості використання ЦРС для контролю зварних з'єднань.

По-перше, було зроблено тіньове рентгенівське зображення зварного з'єднання, що відображено на рис. 3, у режимі збільшення приблизно у 1,4 та 8 разів (рис. 4). При збільшенні у 8 разів непровар можна бачити без додаткової математичної обробки.

Крім того, проведено послідовне сканування зварного з'єднання під різними кутами зору (рис. 5). При застосуванні послідовного відображення на екрані ПЕОМ (ракурс за ракурсом) надає оператору можливість псевдооб'ємного перегляду (на рис. 5 наведено лише три ракурси з 43, повний кут повороту дорівнює $75,6^\circ$). Багаторакурсні дані дозволяють також оцінити глибину розташування дефектів при застосуванні відповідних математичних обчислень [12].

Наведені рентгенівські зображення отримані з використанням 16-канальних детекторів типу СЦ-ФД. Крок детекторів у лінійці — 1,6 мм.

32-канальний детектор рентгенівського випромінювання було змонтовано замість двох 16-канальних детекторів на платі 32-канального модуля попередніх підсилювачів, що входить до складу макету ЦРС. Це надало змогу на одному тіньовому рентгенівському зображенні наочно оцінити різницю просторового розділення при використанні 16- та 32-канального детекторів.

У якості тест-об'єкта було обрано латунну сітку з кроком 1,23 мм та діаметром дроту 0,38 мм. Отримано тіньове рентгенівське зображення при дворазовому збільшенні (рис. 6).

Порівняння тіньового рентгенівського зображення латунної сітки, отриманого за допомогою 16- та 32-канальних детекторів виявило, що використання 32-канального детектора суттєво поліпшує просторове розділення ЦРС.

Висновки

Покращення характеристик ЦРС — виявної та роздільної здатностей — можливо за рахунок створення ПДТ з ППР.

Доцільне сполучення напрямків удосконалення структурної схеми та зменшення апертури окремого каналу багатоеlementної ЛД дозволило домогтися ППР ПДТ.

Більш ефективне використання динамічного діапазону АЦП за рахунок апаратної компенсації розширило функціональні можливості ЦРС і сприяло підвищенню якості тіньового рентгенівського зображення.

Завдяки виготовленню 32-канальних скінтіляційних збірок досягнуто високу роздільну здатність ЦРС по щільності (краще 0,9 %) та виявну здатність — залізний дріт $\varnothing 5$ мм, що знаходиться за сталеву пластину товщиною 6 мм.

Багаторакурсне сканування надає оператору додаткову інформацію про дефекти зварного з'єднання та місце їх розташування.

Апробовано застосування ЦРС для контролю зварних з'єднань та металоконструкцій.

Освещается поиск резервов для улучшения обнаружительной способности и пространственного разрешения цифровых радиографических систем на базе детекторов «сцинтиллятор-фотодиод». Определено направление создания приемно-детектирующего тракта с повышенным пространственным разрешением за счет усовершенствования структурной схемы, изготовления 32-канальных сцинтилляционных сборок и фотоприемных устройств с интегрированной электроникой. По результатам испытаний сделаны выводы относительно применения прибора для контроля сварных соединений и металлоконструкций.

1. *Неразрушающий контроль* / Справ. под ред. Ключева В. В. — М.: Машиностроение, 2001. — 616 с.
2. *Методы дефектоскопии сварных соединений* / Справ. под ред. Шербинского В. Г. — М.: Машиностроение, 1987. — 515 с.
3. *Румянцев С. В., Штань А. С., Гольцев В. А.* Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля. — М.: Энергоиздат, 1982. — 416 с.
4. *Неразрушающий контроль качества сварных конструкций* / В. А. Троицкий, В. П. Радько, В. Г. Демидко, В. Т. Бобров. — Киев: Техника, 1986. — 159 с.
5. *Неразрушающий контроль и диагностика трубопроводов* / Сб. статей под ред. Чабуркина В. Ф., 1988. — 230 с.
6. *Рентгенотехника* / Справ. под ред. Ключева В. В. — М.: Машиностроение, 1992. — 480 с.
7. *Pat. США US 98 96848 18.08.1998, US 99 37 670617.08.1999.* Цифровая рентгеновская установка для проверки качества сварных швов. — ИСМ, 2003, № 5.
8. *Pat. WO 97 NO 9700225 29.08.1997, NO 963923 19.09.1996 (ЕПВ).* Система для проверки трубопроводов. — ИСМ, 2000, № 15.
9. *Павлий А. В., Белый Н. Г., Бухенский В. Н.* К вопросу применения радиографической пленки FOMADUX RX1 // Матер. 2-й Науч.-практ. конф. «Современные аспекты организации неразрушающего контроля качества про-



- дукции на промышленном предприятии». — Турция, г. Сид, 1–8 мая 2004. — 40 с.
10. *Белый Н. Г., Павлий А. В.* Использование рентгеновских технических пленок для задач контроля в атомной энергетике // Матер. 3-й Науч.-практ. конф. «Организация неразрушающего контроля качества продукции в промышленности». — Турция, г. Аланья (Анталия), 30 апр.–7 мая, 2005. — 56 с.
 11. *Сцинтилляторы* на основе соединений $A^{IV}B^{VI}$. Получение, свойства и особенности применения / Н. Г. Старжинский, Б. В. Гринев, Л. П. Гальчинецкий, В. Д. Рыжиков. — Харьков: Ин-т монокристаллов, 2007. — 294 с.
 12. *Гринев Б. В., Рыжиков В. Д., Семиноженко В. П.* Сцинтилляционные детекторы и системы контроля радиации на их основе. — Киев: Наук. думка, 2007. — 447 с.
 13. *Рыжиков В. Д., Лисецкая Е. К., Ополонин А. Д.* Цифровая радиография для технической диагностики сварных конструкций // Междунар. информ.-техн. журн. «Оборудование и инструмент для профессионалов». — 2005, № 10(69). — С. 30–33.
 14. *Многоэлементные детекторы ионизирующего излучения* / М. В. Синьков, В. Д. Сапрыкин, В. Г. Чалай и др. — Киев: Техника, 1985. — 136 с.

Ін-т сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків,
НДІ «Мікроприладів», Київ

Надійшла до редакції
16.03.2009

О. М. Карпаш. Технічна діагностика бурового та нафтогазового обладнання: Навч. посібник. — Івано-Франківськ, Факел, 2008. — 272 с.

В навчальному посібнику використано напрацьований вітчизняними та закордонними фахівцями досвід у неруйнівному контролі та технічній діагностиці бурового, нафтогазового обладнання та інструменту. Викладено на основі літературних і статистичних даних основні види та причини відмов нафтогазового обладнання. Розглянуто принципи, теоретичні основи, сучасні технології та технічні засоби діагностування стану об'єктів нафтогазового комплексу, в т. ч. бурового і нафтогазового обладнання й інструменту. Також висвітлено питання організаційного, методичного та кадрового забезпечення проведення технічної діагностики обладнання.

Навчальний посібник призначений для студентів технічних вузів нафтогазового профілю. Він також може бути використаний інженерно-технічними працівниками, які займаються виробництвом та експлуатацією бурового нафтогазового обладнання.



О. М. Карпаш, А. В. Яворський, М. О. Карпаш. Основи забезпечення якості в нафтогазовій інженерії: Навч. посібник. — Івано-Франківськ, Факел, 2008. — 439 с.

Посібник «Основи забезпечення якості в нафтогазовій інженерії» вдало поєднує питання для досягнення єдиної мети забезпечення якості продукції і послуг у нафтогазовій галузі, а також допоможе студентам ознайомитися з:

- нормативно-правовими та методологічними основами метрології: засобами і методами вимірювань, забезпечення єдності вимірювань;
- системою стандартів у нафтогазовій галузі; системою стандартів із сертифікації нафтогазового обладнання;
- органами метрології і стандартизації та організацією робіт з метрології, стандартизації; державною системою сертифікації і практикою сертифікації в Україні;
- міжнародною та європейською діяльністю в галузі стандартизації та сертифікації, міжнародними стандартами серії ISO 9000 та сертифікацією у зарубіжних країнах.

Навчальний посібник призначений для спеціалістів нафтової та газової промисловості, аспірантів, студентів старших курсів технічних університетів, викладачів, наукових співробітників відповідних спеціалізацій.



З питань придбання посібників звертатись за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ,
вул. Карпатська, 15. Тел.: (803422) 4-24-30; e-mail: karpash@nung.edu.ua.