

Современное состояние и направления совершенствования технологий радиационного контроля

О.А. Сидуленко

доктор технических наук,
старший научный сотрудник¹
osidulenko@mail.ru, info@arcnk.ru

¹ ООО «Аттестационный региональный центр специалистов неразрушающего контроля», Томск, Россия



Представлен обзор современного состояния радиационного контроля. Отмечены пути его развития и совершенствования, классифицирована аппаратура реализации основных способов контроля.

Материалы и методы

Технико-экономическое исследование, физический эксперимент.

Ключевые слова

цифровая рентгенография, радиационное изображение, цифровой сигнал, цифровое изображение, линейка детекторов

Мы живем в мире цифровой техники, а если быть точнее, то на этапе перехода от аналоговых технологий к цифровым. Это касается всех сторон жизни человека, начиная от производственной сферы и заканчивая сугубо бытовыми применениями.

Не осталось в стороне и развитие технологий радиационного контроля. Переход от мокрых (плёночных, аналоговых технологий) к сухим (цифровым) обозначился сравнительно недавно — в конце восьмидесятых годов прошлого века и прежде всего в сталелитейной промышленности и медицине.

Рентгенография — это процесс получения радиационного (скрытого) изображения (РИ) объекта контроля (ОК), преобразование его на определенном этапе в цифровой сигнал, занесение его в память компьютера, перераспределение его в двумерный массив измерительных данных, то есть получение первичного цифрового изображения (ПЦИ) и дальнейшая цифровая обработка (контрастирование, масштабирование, препарирование, сглаживание и т.п.) (рис. 1).

Наибольшее распространение современные системы цифровой рентгенографии получили в промышленной дефектоскопии, медицинской диагностики и для проведения досмотра багажа, ручной клади, опломбированных контейнеров и т.д. с целью обеспечения безопасности пассажирских и грузовых перевозок.

Источником излучения в данных системах обычно являются рентгеновские аппараты, а при контроле крупногабаритных объектов применяются бетатроны и линейные ускорители.

Существует несколько классификаций систем цифровой рентгенографии (СЦР) (рис. 2). На наш взгляд, наиболее совершенной, отображающей весь спектр СЦР, является классификация по способам детектирования РИ и формирования ПЦИ.

Системы на основе оцифровки традиционных рентгенограмм.

Рентгенограммы, полученные с помощью традиционного фотохимического процесса, переводятся в цифровую форму путём сканирования лазером или преобразования с помощью телевизионных систем. Для этой цели могут также использоваться проекционные полутоновые графические сканеры и обычные негатоскопы.

Как правило, телевизионные системы высокой четкости имеют локальное разрешение 0,1% рабочего поля (1024×1024 точечное изображение), так что при размере снимка 250×250 мм размер элемента изображения (пространственное разрешение) составит 0,25 мм, что намного выше собственной нерезкости высококачественного рентгеновского снимка.

Цифровое изображение, полученное в результате оцифровки снимка, может обрабатываться как с целью повышения качества снимка, так и с целью обнаружения дефектов, определения их размеров, ориентации и мест залегания в ОК.

СЦР данного типа имеют ограниченную перспективу своего развития и главным образом потому, что использование в данных системах рентгеновской плёнки (как детектора излучения) сопряжено с существенными: рост стоимости рентгеновской плёнки и химических реактивов; малый динамический диапазон рентгеновской плёнки и её низкая эффективность регистрации излучения (даже в случае комбинации с усиливающими экранами); трудности содержания плёночного архива; ухудшения качества (снижение контраста) радиографического снимка из-за рассеянного в ОК излучения.

Системы на основе запоминающих люминофоров.

Детектор излучения в данных системах представляет собой экран (пластину) с нанесённым на него слоем специального люминофора. В процессе рентгеновской экспозиции происходит запоминание информации люминофором (подобно рентгеновской плёнке) в виде скрытого изображения, которое способно сохраняться длительное время. Затем под действием видимого или инфракрасного излучения (сканирование экрана лазерным пучком) происходит освобождение накопленной на люминофоре энергии в виде вспышек света — фотостимулированной люминесценции (ФСЛ). Эти вспышки видимого света преобразуются фотоэлектронным умножителем в электрические сигналы, которые затем оцифровываются и обрабатываются на компьютере для последующего воспроизведения изображения на экране монитора. Остаточное скрытое изображение может быть

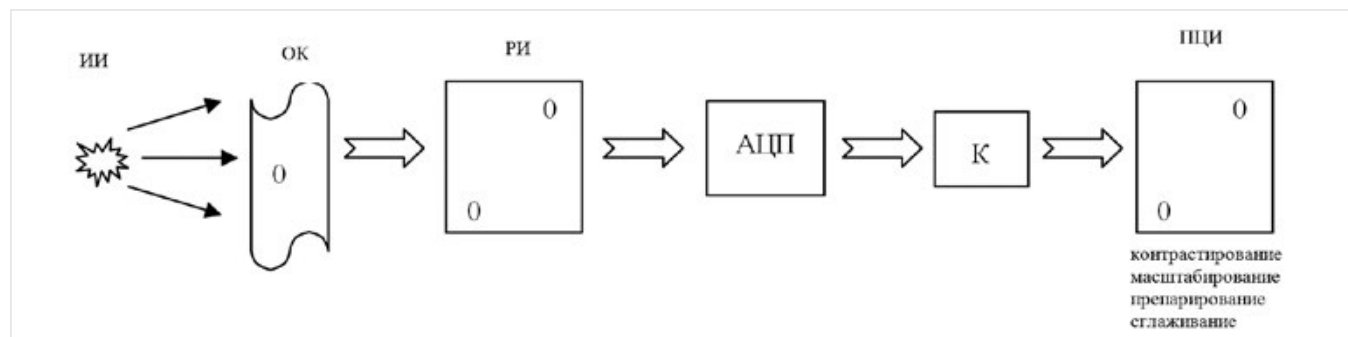


Рис. 1 — Принцип работы системы цифровой рентгенографии (СЦР)

стерто путём засветки экрана мощным пучком видимого света. После чего экран можно использовать повторно.

Диаметр лазерного луча, скорость сканирования экрана и толщина слоя люминофора определяет в дальнейшем чувствительность системы и её пространственную разрешающую способность (РС). Типичное значение РС систем на запоминающих люминофорах варьируется в пределах от 3 пар линий/мм до 4,5 пар линий/мм. Для сравнения отметим, что этот показатель у традиционных систем на основе комбинации экран – плёнка составляет 5 пар линий/мм и даже 8-10 пар линий/мм. В некоторых источниках сообщается о создании системы, которая имеет РС в 4,5 пар линий/мм и контрастную чувствительность 0,5% при динамическом диапазоне 200 (по сравнению с 10 – у сравниваемого рентгенографического комплекта).

Недостаток СЦР на основе запоминающих люминофоров – низкая эффективность регистрации излучения (практически как у традиционных плёночных систем).

Системы на основе фоторезистивных экранов.

Фоторезистивные экраны представляют собой пластины со слоем аморфного селена, которые применяются в электрорадиографии для промежуточного преобразования радиационной информации в электростатическое изображение (потенциальный рельеф).

При использовании такого экрана, как детектора излучения в СЦР, после просвечивания ОК осуществляется считывание, сформированного на экране потенциального рельефа, линейкой микроэлектрометров, оцифрованные сигналы с которых могут обрабатываться и в дальнейшем отображаться в виде светового изображения на экране дисплея. Для считывания потенциального рельефа с экспонированного экрана вместо линейки микроэлектрометров могут применяться и лазеры, а вместо самого экрана (как детектора ионизирующего излучения) зачастую используют либо конденсатор в виде барабана, покрытого слоем селена, либо телекамеру с селеновым входным экраном.

Системы на основе фоторезистивных экранов также как и системы на основе запоминающих люминофоров мало востребованы (особенно при диагностике крупноформатных объектов) в связи с их высокой стоимостью и принципиальными ограничениями, присущими методу рентгенографии. Кроме того, зарядка селенового слоя требует высокого напряжения (киловольты), что не совместимо с современной микроэлектроникой.

Системы на основе усилителей радиационных изображений.

Тракт визуализации РИ в данных системах имеет следующую структуру: усилитель радиационного изображения (УРИ) – оптика переноса изображения – телевизионная камера – аналого-цифровой преобразователь – компьютер – дисплей. При этом в качестве УРИ чаще всего используется радиационный электронно-оптический преобразователь (РЭОП), а иногда – световой электронно-оптический преобразователь в комбинации с рентгенолюминесцентным экраном.

Достоинства систем данного типа: число пространственных элементов, в которых излучение может регистрироваться независимо

и одновременно, может превышать 10^6 при рабочем поле контроля 400 мм и выше; возможность контроля как неподвижных, так и подвижных объектов; возможность диагностики процессов сварки и заливки отливок; возможность получения качественного изображения даже для проведения медицинской диагностики при пониженных, по сравнению с традиционной экрано-плёночной радиографией, дозах облучения.

РС современных систем этого типа может достигать значения в 3 пары линий/мм и даже – 6 пар линий/мм.

Недостатками данных систем являются: ограничение динамического диапазона УРИ и телекамеры; возникновение в РЭОПах геометрических искажений под воздействием магнитного поля Земли; несовместимость РЭОПов с современной микроэлектроникой; большие габариты и масса РЭОПов; необходимость высоковольтного питания (до 30 кВ); резкое возрастание стоимости РЭОПов с увеличением размеров рабочего поля.

Системы на основе двумерных матричных детекторов.

Процесс визуализации РИ в данных системах осуществляется следующим образом. Матричный детектор преобразует РИ в совокупность аналоговых электрических сигналов (либо зарядов), которые после их оцифровки (либо считывания и оцифровки) обрабатываются на компьютере и далее воспроизводятся на экране дисплея в виде ПИ.

В настоящее время существуют две основные разновидности матричных детекторов РИ: комбинация сцинтилляционный экран – объектив (оптика переноса изображения) – ПЗС – матрица (двумерный матричный фотоприёмник); вторая – плоская панель (flat panel). Плоские панели чаще всего изготавливают на основе аморфного кремния либо теллурида кадмия или аморфного селена, а сцинтилляционные экраны – из соединений цезия или гадолиния.

Формат существующих матричных детекторов может достигать 4000×4000 элементов (пикселей), а размеры рабочего поля – 430×430 мм. При этом размеры пикселя могут составлять 42,5 мкм.

РС систем данного типа варьируется в

пределах 2,5-5 пар линий/мм.

К недостаткам данных систем следует отнести необходимость применения отсеивающих растров для подавления рассеянного излучения и необходимости обеспечения равномерного порога регистрации квантов по всей поверхности детектора. Помимо этого у детекторов на ПЗС – матрицах потери света при переносе изображения с экрана на ПЗС – матрицу составляют более 99 %, а параметры плоских панелей непрерывно деградируют под действием радиации, что приводит к необратимой потере их работоспособности. Кроме того, плоские панели имеют высокую стоимость и сложны в изготовлении.

Сканирующие системы на основе линейки детекторов (одномерных матричных детекторов).

Принцип действия данных систем (рис. 3), состоит в следующем. Узкий веерный пучок рентгеновского излучения, проходя через ОК, облучает линейку детекторов, сигналы каждого из которых усиливаются и предварительно обрабатываются (интегрируются либо пересчитываются и т.п.), а затем поступают через аналого-цифровые преобразователи в компьютер, где они нормализуются и хранятся, формируя тем самым соответствующую строку отсчетов РИ просвечиваемого ОК. Затем эти отсчеты визуализируются на экране дисплея, образуя строку полутонового изображения (ПИ). Полное ПИ формируется путём однократного сканирования ОК горизонтальным веерным пучком по вертикали (либо вертикальным пучком по горизонтали).

Для подавления рассеянного в ОК излучения в системах этого типа применяются щелевые коллиматоры как источника излучения, так и линейки детекторов.

Детекторы для сканирующих СЦР по составу и конструктивным особенностям можно разделить на следующие основные классы: полупроводниковые, комбинированные (в виде оптически сопряжённой пары: сцинтиллятор – фотоприёмник (ФЭУ или фотодиод) и ионизационные (в виде миниатюрных ксеноновых ионизационных камер). В последнее время разработчики сканирующих СЦР предпочитают использовать линейки (одномерные матричные преобразователи РИ),



Рис. 2 — Классификация СЦР по способам детектирования РИ и формирования ПЦИ

сформированные из комбинированных детекторов типа сцинтиллятор – фотодиод.

Сканирующие СЦР на основе линейки детекторов обладают целым рядом преимуществ: отсечка рассеянного излучения; малая дозовая нагрузка на исследуемый объект; большой динамический диапазон; высокая эффективность регистрации излучения; возможность контроля крупногабаритных объектов; высокая восприимчивость к автоматизации. В существующих системах линейки детекторов могут иметь длину в несколько метров с размером одного детектора до 50 мм, а число детекторов в линейке может варьироваться от нескольких десятков до нескольких тысяч.

РС современных систем данного типа обычно составляет порядка 1 пары линий/мм, но для некоторых систем она достигает значения, равного 3 пары линий/мм и даже – 4 пары линий/мм.

К недостаткам сканирующих СЦР на основе линейки детекторов относится необходимость обеспечения однородности к излучению по всем элементам линейки и сравнительно низкая производительность контроля.

Заключение

1. К настоящему времени сложилась устойчивая тенденция по замене традиционных экрано-плёночных рентгенографических систем на СЦР.
2. Большое многообразие существующих типов СЦР наглядно свидетельствует о постоянном поиске разработчиков во всём мире всё новых, ещё более совершенных, цифровых технологий визуализации радиационных изображений.
3. Развитие каждого из типов СЦР главным образом происходит по линии совершенствования детектирующей части системы и применения современных достижений цифровой обработки информации.

4. Среди различных типов СЦР в настоящее время наиболее перспективны сканирующие СЦР на основе линейки детекторов, что обусловлено целым рядом существенных преимуществ данных систем перед остальными (отсечка рассеянного излучения; малая дозовая нагрузка на исследуемый объект; большой динамический диапазон; высокая эффективность регистрации излучения; возможность контроля крупногабаритных объектов; высокая восприимчивость к автоматизации).

Итоги

В современной радиографии сложилась устойчивая тенденция процесса замены традиционных экрано-плёночных технологий на системы цифровой рентгенографии.

Выводы

Среди различных типов систем цифровой рентгенографии (СЦР) в настоящее время наиболее перспективны сканирующие СЦР на основе линейки детекторов, что обусловлено целым рядом существенных преимуществ данных систем перед остальными (отсечка

рассеянного излучения; малая дозовая нагрузка на исследуемый объект; большой динамический диапазон; высокая эффективность регистрации излучения; возможность контроля крупногабаритных объектов; высокая восприимчивость к автоматизации).

Список использованной литературы

1. Ключев В.В., Соснин Ф.Р. Современные радиационные системы неразрушающего контроля // Дефектоскопия. 1993. №1. С. 65–67
2. Соснин Ф.Р. Современные методы и средства цифровой рентгенографии (обзор) // Заводская лаборатория. 1994. Т.60. № 6. С. 28–34
3. Сидуленко О.А., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П. Методики оценки производительности досмотрового комплекса для контроля крупногабаритных объектов // Контроль. Диагностика. 2005. №12. С. 49–52.
4. Кантер Б.М., Владимиров Л.В., Лыгин В.А. и др. Исследование цифровых рентгенографических систем регистрации с оптическим переносом изображения // Медицинская техника. 2006. №5. С. 42–45.

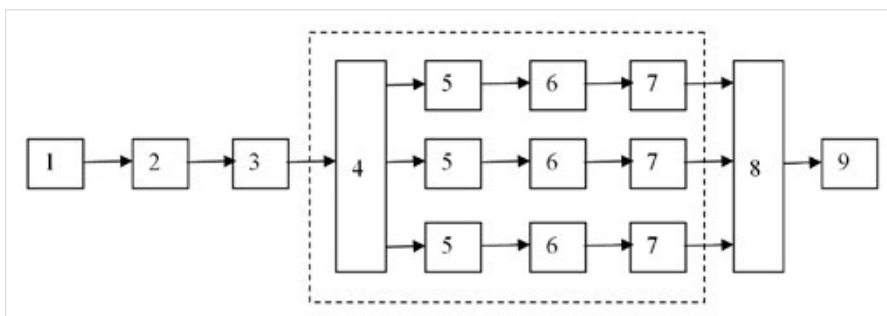


Рис. 3 — Структурная схема сканирующей системы на основе линейки детекторов 1 – источник излучения; 2 – щелевой коллиматор источника; 3 – объект контроля; 4 – щелевой коллиматор детекторов; 5 – детекторы; 6 – временные интеграторы; 7 – АЦП; 8 – компьютер; 9 – полутонный дисплей

ENGLISH

DIAGNOSTICS

Current state condition and improvement directions of X-Ray inspection technologies

UDC 620.1

Authors:

Oleg A. Sidulenko — doctor of technical sciences, senior research¹; osidulenko@mail.ru, info@arcnk.ru

¹Regional Center Certification of NDT Ltd, Tomsk, Russian Federation

Abstract

The review of current state condition of X-Ray inspection. There are development and improvement of X-Ray inspection in the article, equipment classification of basic radiographic testing methods regarding application.

Materials and methods

Technical and economical research, physical experiment.

References

1. Klyuev V.V., Sosnin F.R. *Sovremennye radiatsionnye sistemy nerazrushayushchego kontrolya* [Modern radiography systems of nondestructive testing]. *Defektoskopiya*, 1993, issue 1, pp. 65–67
2. Sosnin F.R. *Sovremennye metody i sredstva tsifrovoy rentgenografii (obzor)* [Modern methods and means of digital radiography

Results

In the modern radiography it has been steady tendency of replacement of traditional screens-film technologies by digital radiography systems.

Conclusions

Nowadays the most perspective digital radiography system is scanning digital radiography system, based on detector line.

- (review)]. *Zavodskaya laboratoriya*, 1994, Vol. 60, issue 6, pp. 28–34
3. Sidulenko O.A., Kas'yanov V.A., Kas'yanov S.V., Osipov S.P. *Metodiki otsenki proizvoditel'nosti dosmotrovogo kompleksa dlya kontrolya krupnogabaritnykh ob'ektov* [Methodology of assessment of examination complex productivity for large-sized objects inspection]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2005,

This is caused by a number of considerable advantages these systems to the rest (the cutoff of the scattered radiation; low-dose load to the analyzed object; the large dynamic range; high efficiency of the radiation registration; possibility of large objects control; high susceptibility to automation).

Keywords

digital radiography, radiation image, digital signal, digital image, detector line

- issue 12, pp. 49–52.
4. Kanter B.M., Vladimirov L.V., Lygin V.A. i dr. *Issledovanie tsifrovyykh rentgenograficheskikh sistem registratsii s opticheskim perenosom izobrazheniya* [The research of digital radiography systems of registration with optic image transfer]. *Meditsinskaya tekhnika*, 2006, issue 5, pp. 42–45