

Modern instruments and methods of digital radioscopy

V. V. Kluev, F. R. Sosnin

The authors analyse the papers presented at the 15th WCNDT and 8th EFNDT. They put the emphasis on X-ray testing and mark the high integration of up-to-date trends. It is with the use of high-stability X-ray sources, state-of-the-art image converters, computer operation and, finally, application of the latest image processing and analysis technologies.

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ РАДИАЦИОННОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

По материалам XV Международной (Рим, 2000) и 8-й Европейской (Барселона, 2002) конференций по НК

52

Об авторах



Клюев Владимир Владимирович

Вице-президент EFNDT, Президент РОНКТД, Генеральный директор Ассоциации «Спектр-Групп». Член-корр. РАН, профессор, лауреат премии СМ СССР и Государственной премии РФ.



Соснин Феликс Рубенович

Директор Независимого органа по аттестации персонала в области НК «СПЕКТРСерт». Доктор техн. наук, профессор. Лауреат Премии СМ СССР.

Поиск новых средств и методов повышения объективности и надежности радиационного контроля был и остается одним из приоритетных направлений развития этого метода НК. Достигнутые в течение 30 последних лет беспрецедентные успехи в электронике и вычислительной технике оказали глубокое воздействие на системы радиационного контроля промышленной продукции и, как следствие, привели к новым возможностям представления количественных характеристик материалов и изделий и к возрастанию роли этих систем для повышения качества промышленной продукции, к появлению полностью автоматизированных систем контроля.

Цифровую технику, используемую во многих системах радиационного контроля, удобно разделить на две основные группы: улучшения изображений и их анализа. И та, и другая являются важными элементами автоматической оценки качества объекта контроля (ОК). Операция по улучшению изображения состоит в том, что входное изображение в результате ее применения преобразуется в улучшенное изображение. При использовании операции анализа изображения входное изображение преобразуется в некоторую совокупность чисел. Эти числа могут быть значениями некоторого набора признаков, характеризующих изображение. Такими признаками могут быть площадь дефекта, его размеры и координаты и т. п.

Методы улучшения изображения связаны с тем, что при выделении информации, заключенной в световом изображении, например, на рентгенограммах, наблюдатель не реагирует на некоторую ее часть (пороговый контраст, различимый глазом,

≈ 0,02 ÷ 0,04) и, следовательно, имеет место некоторая «избыточность» информации на рентгенограмме. Поэтому действительные возможности теневого изображения (в смысле извлечения максимального количества заключенных в нем сведений о просвечиваемом объекте) обычно реализуются не полностью. Поэтому вопросам повышения качества теневого изображения путем его коррекции в настоящее время уделяется достаточно большое внимание. Эффективность корректирующих процедур и их предельные возможности существенно зависят от соотношений между пороговыми характеристиками устройств, формирующих изображение, и характеристиками зрительного аппарата наблюдателя. Анализ докладов показывает, что достаточно высокая эффективность коррекции достигается за счет использования маломощных средств, формирующих изображение, и низкоэнергетического рентгеновского излучения.

Поскольку эффективность корректирующих изображение процедур тесно связана с параметрами радиационных преобразователей, ниже в краткой форме рассматриваются и анализируются системы преобразования радиационных изображений и методы, широко используемые в цифровой рентгенотехнике.

Перевод изображения на пленке в цифровую форму

Наиболее важными результатами оцифровки пленочных изображений являются корректировка изображений, количественный анализ и архивирование. Промышленные рентгеновские пленки используются для получения изображений с оптическими плотностями до 4 и иногда до 5. Только некоторые из существующих сканеров способны перекрыть

подобный диапазон плотностей. Кроме этого, рентгеновские пленки для НК характеризуются большим отношением сигнал/шум, определяемым стандартами EN 584, ISO 11699, ASTM E 1815-96 [1]. Преобразователь в цифровое изображение не только должен быть способен извлекать информацию из снимков с оптическими плотностями 4 или 5, но и не должен увеличивать шум изображения шумом собственного детектора. Он также должен обладать очень высоким пространственным разрешением. Из-за большого диапазона энергии фотонов ($50 \div 12000$ кэВ), используемых в НК, при разработке требований к переводу изображения в цифровую форму было решено снизить требования по пространственному разрешению до нерезкости, создаваемой взаимодействием высокоэнергетического рентгеновского излучения с системой экран-пленка.

Так, преобразователь изображения на пленке в цифровую форму RADView Film Digitiser может обрабатывать все используемые в настоящее время форматы пленок шириной до 36 см и неограниченной длины с пространственным разрешением от 50 до 500 мкм [2]. Пленка размером $36 \div 43$ см может быть обработана всего за 7 с.

Исходя из показателей качества изображения на рентгеновских пленках и из характеристик современных систем оцифровки изображений, были предложены три класса качества систем оцифровки [1] (табл. 1 и 2).

Табл. 1. Минимальный диапазон плотностей системы оцифровки радиографических изображений с минимальной чувствительностью по контрасту плотности

Параметры	Класс DS	Класс DB	Класс DA
Диапазон плотности	0,5 ÷ 4,5	0,5 ÷ 4,0	0,5 ÷ 3,5
Цифровое разрешение, бит	12	10	10
Чувствительность по контрасту плотности в цифровой радиографии	0,02	0,02	0,02

Табл. 2. Предлагаемое минимальное пространственное разрешение систем перевода изображения на пленке в цифровую форму: I – размер элемента изображения, мкм; II – пространственная частота при значении МПФ, равного 20 %, пар линий/мм*

Энергия, кэВ	Класс DS		Класс DB		Класс DA	
	I	II	I	II	I	II
100	15	16,7	50	5	70	3,6
200	30	8,3	70	3,6	85	3
450	60	4,2	85	3	100	2,5
⁷⁵ Se, ¹⁹² Ir	100	2,5	125	2	150	1,7
⁶⁰ Co	200	1,25	250	1	250	1

* Здесь модуляционной пространственной функцией (МПФ) называют отношение коэффициента модуляции цифрового изображения к коэффициенту модуляции пропускания рентгенограммы в зависимости от пространственной частоты (ПЧ). Наряду с термином МПФ в отечественной литературе для этой же функции употребляют термины: частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), частотно-контрастная функция (ЧКФ) и др. Чем выше значение МПФ для данной ПЧ, тем лучше передача контраста какой-либо системой мелких деталей изображения. Значение ПЧ, например, 16,7 пар линий/мм для класса DS и энергии фотонов 100 кэВ означает, что при этой ПЧ значение МПФ равно 20 % от ее максимального значения, равного 100 %.

Пользователь может выбрать класс систем, исходя из задач оцифровки.

DS – улучшенная система, используемая для перевода изображения в цифровую форму без существенного ухудшения отношения сигнал/шум и пространственного разрешения, область применения: цифровое архивирование пленок.

DB – система, допускающая некоторое ухудшение качества шифровки изображения, область применения: цифровой анализ изображения и архивирование.

DA – основная система, допускающая снижение качества цифрового изображения и ухудшение пространственного разрешения при удовлетворении требований в соответствии со стандартами ISO 5579 и EN 444 при контроле класса А (основной метод).

Каталоги эталонных изображений на рентгенограммах, например, ASTM E155 для отливок из легких сплавов и IIW ISO5817 для сварных швов широко используются для обучения персонала по интерпретации рентгенограмм и для создания шкалы опасностей несплошностей в ОК. Новые детекторы, такие как РЭОП, люминесцентные платы, плоские панели детекторов и т. п., используемые в цифровой рентгенотехнике, во многих случаях заменяют рентгеновскую пленку. В работе [3] сообщается о том, что в ASTM (Американское общество по испытаниям и материалам) образован подкомитет для разработки стандарта на цифровые эталонные каталоги.

Авторы предложили использовать эталонные изображения на рентгенограммах совместно с детекторами цифровых радиационных систем и специальным программным обеспечением, требующим ввода в программы передаточных характеристик детекторов. Новые эталонные

изображения необходимы для оценки изображений дефектов цифровыми средствами. Эталонные рентгенограммы должны сканироваться устройством с разрешением 10 мкм или меньше, цифровым разрешением 16 бит и рабочим диапазоном оптических плотностей рентгенограмм от 0,5 до 4,5.

Радиоскопические цифровые системы

Главными преимуществами таких систем перед другими системами радиационного контроля являются экспрессность, простота оптимизации геометрии контроля, предпочтительность с точки зрения оцифровки изображений, техники безопасности и стоимости контроля. В этих системах в качестве детекторов используются:

- усилители яркости изображений;
- линейные дискретно-детекторные преобразователи;
- плоские панели детекторов с аморфным селеном (a-Se) и с аморфным кремнием (a-Si);
- флюоресцентные экраны.

Системы с усилителями яркости изображений имеют диаметры входных экранов РЭОП от 40 до 400 мм с предельным разрешением примерно 10 пар линий/мм, твердотельную телевизионную камеру, компьютер, манипулятор. Цифровая часть таких систем позволяет улучшить отношение сигнал/шум в элементах выходного изображения путем интегрирования телевизионных кадров и запоминать изображение на жестком диске. По сравнению с обычной радиографией время контроля снижается в 5–7 раз.

Линейные дискретно-детекторные системы имеют разрешение ~ 50 мкм. Формируемое такими системами изображение сварных швов, например, в трубах, улучшено по сравнению с радиографическим изображением как за счет отсечки рассеянного излучения (98 %), так и за счет улучшения геометрии просвечивания (одинаковая локальная радиационная толщина труб).

Плоский матричный детектор с покрытием из аморфного селена в сочетании с тонкопленочными транзисторами преобразует радиационное изображение непосредственно в цифровые сигналы без применения сканителляторов и люминофоров. Цифровое 14-битовое изображение размером $35 \div 43$ см может наблюдаться в реальном времени на видеомониторе, передаваться по компьютерной сети, запоминаться и выводиться в виде твердой копии. При этом качество изображения приближается к качеству рентгенограммы на среднезернистой пленке [2].

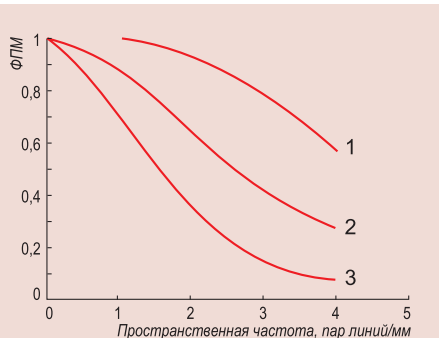


Рис. 1. Зависимость функции передачи модуляции от пространственной частоты: 1 – система (a-Se); 2 – система (a-Si); 3 – система с люминесцентным фосфором

Плоские матрицы из аморфного кремния используют сцинтиллятор, состоящий из иодида цезия или оксисульфида гадолиния, который преобразует падающее на него рентгеновское излучение в видимый свет. Световые фотоны преобразуются матрицей из аморфного кремния в электрический сигнал. Прогресс в технологии изготовления таких преобразователей и современное программное обеспечение позволили настолько улучшить отношение сигнал/шум в выходном изображении за счет суммирования по кадрам, что качество выходного изображения приблизилось к изображению, полученному с помощью a-Se матриц. Эти матрицы менее чувстви-

тельны к условиям окружающей среды, что позволяет использовать их в полевых условиях. При одиночном снимке быстрого действия a-Si матрицы примерно в 4 раза выше, чем a-Se матрицы.

На рис. 1 представлены функции передачи модуляции (ФПМ) для различных систем получения изображений, а на рис. 2 – эквивалентные чувствительности по пенетрометру EPS (equivalent penetrometer sensitivity) согласно стандарту ASTM E 746:

$EPS = 100 (T h/2)^{1/2} / x$, где T – толщина пластинчатого пенетрометра; h – диаметр видимого отверстия пенетрометра; x – радиационная толщина ОК.

Из рис. 1 видно, что контраст элементов изображения, полученного с использованием a-Se матриц, сравним с контрастом элементов изображения на рентгенограммах примерно до 4 пар линий/мм (около 125 мкм), тогда как компьютерная рентгенография с использованием пластин со стимулируемым люминофором достигает высокого контраста при значительно более низкой пространственной частоте.

Характер EPS на рис. 2 дает информацию о том, что чувствительность радиационного контроля с a-Se может быть сравнима с чувствительностью рентгенографии на среднезернистую пленку, а EPS систем с фотостимулированным фосфором приближается к чувствительности контроля с использованием крупнозернистой пленки.

В докладе [4] сообщается об устройстве и характеристиках плоской панели на основе конвертора из $Gd_2O_2S:Tb$, соединенного с матрицей a-Si фотодиодов

Табл. 3. Номер элемента ИКИ (I), соответствующая нерезкость изображения (II), диаметр проволочек и расстояние между ними (III)

I	II	III	I	II	III
13D	0,10	0,050	6D	0,50	0,250
12D	0,13	0,063	5D	0,64	0,320
11D	0,16	0,080	4D	0,80	0,400
10D	0,20	0,100	3D	1,00	0,500
9D	0,26	0,130	2D	1,26	0,630
8D	0,32	0,160	1D	1,60	0,800
7D	0,40	0,200			

Табл. 4. Данные по системе контроля металлических материалов SA и SB

Класс контроля SA			Класс контроля SB		
Класс системы	SC2		Класс системы	SC3	
Толщина стенки, мм	Диаметр по EN 462-1, мм	Номер элемента ИКИ по EN 462-5	Толщина стенки, мм	Диаметр по EN 462-1, мм	Номер элемента ИКИ по EN 462-5
1,2–2,0	0,08	11D	< 1,5	0,05	13D
2,0–3,5	0,10	10D	1,5–2,5	0,063	12D
3,5–5,0	0,125	9D	2,5–4,0	0,08	11D
5,0–7,0	0,16	8D	4,0–6,0	0,10	10D
7,0–10,0	0,20	7D	6,0–8,0	0,125	9D
10,0–15,0	0,25	7D	8,0–12,0	0,16	9D
15,0–25,0	0,32	7D	12,0–20,0	0,20	9D
25,0–32,0	0,40	7D	20,0–30,0	0,25	9D
32,0–40,0	0,50	7D	30,0–35,0	0,32	9D
40,0–55,0	0,63	7D	35,0–45,0	0,40	9D
55,0–85,0	0,8	6D	45,0–65,0	0,50	9D

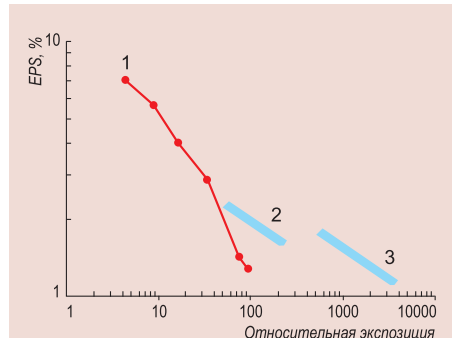


Рис. 2. Зависимость показателя EPS от относительной экспозиции: 1 – система с a-Se; 2 – система с люминесцентным фосфором; 3 – пленка

и тонкопленочными транзисторами. Размер окна 28×40 см, размер элемента изображения 127 мкм, цифровые уровни серого 14 бит, линейность по уровням серого от 40 до 400 кВ, динамический диапазон 3500:1 и более, время формирования кадра с его корректировкой 2,6 с, вес 9 кг.

Доклад [5] посвящен техническим характеристикам плоского матричного преобразователя на основе аморфного кремния (a-Si) фирмы General Electric. Вариант DXR-500 с размером элемента изображения 100 мкм при пространственной частоте 5 пар линий/мм имеет значения функции передачи модуляции свыше 20 %. Преобразователь обладает линейной характеристикой в широком диапазоне экспозиций: от менее чем 1 мР, до более чем 60 мР при напряжении на трубке 80 кВ. Шумовая характеристика преобразователя определяется статистикой падающих на него фотонов, что позволяет выполнять эффективное сглаживание по кадру выходного изображения.

Высокоэнергетическая радиоскопия

В докладе [6] сообщается о разработке и характеристиках преобразователя с площадью входного экрана из $Gd_2O_2S:Tb$ 0,48 м², размером элемента изображения 0,64 мм, который может использоваться в высокоэнергетической цифровой рентгенотехнике. Пространственное разрешение преобразователя, полученное на линейном ускорителе на энергию 8 МэВ, примерно равно 0,5 пар линий/мм, а чувствительность радиационного контроля составляет 2 % при просвечивании 30 см бетона, быстродействие – 9 кадров/с. Схема радиационно-телевизионной установки на основе этого преобразователя представлена на рис. 3. Установка предназначена для контроля ракетных двигателей на твердом топливе, контейнеров.

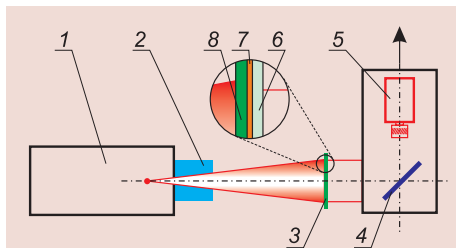


Рис. 3. Схема радиационно-телевизионной установки на основе входного экрана из $Gd_2O_2S:Tb$: 1 – ускоритель; 2 – коллиматор; 3 – экран; 4 – зеркало; 5 – ПЗС камера; 6 – $Gd_2O_2S:Tb$ конвертор; 7 – полистироловый слой; 8 – танталовый усиливающий экран

Стандарты

Стандарты на радиоскопию были разработаны совершенно независимо ASTM (E1000, E1411, E1416, E1734) и Европейским комитетом по стандартизации (CEN, EN 13068), они сильно отличаются друг от друга, особенно в том, что часть 3 EN 13068 основана на системе классов контроля стандарта EN 444, который гарантирует качество изображения в соответствии с «минимальными требованиями» к процедуре контроля.

Стандарты ASTM чаще описывают метод и качество, в них нет минимальных требований. EN 13068-3 требует выполнения оценок качества изображения двумя индикаторами качества изображения (ИКИ): проволочным (EN 462-1) – для оценок контраста и индикатором с двойными проволочками (EN 462-5, рис. 4 и табл. 3) – для измерения пространственного разрешения.

Табл. 4 определяет минимальные значения размеров проволочек в зависимости от класса контроля (SA или SB) и толщины стенки металлических материалов. Оборудование для проведения радиоскопического контроля согласно EN 13068-3 подразделено на три класса SC11 – SC13, которые зависят от задач контроля. Более низкие требования по пространственному разрешению в сравнении с пленочной радиографией (EN 444, ISO 3579) компенсируются ужесточенными требованиями к оценкам контраста элементов.

Люминесцентные платы

Компьютерная рентгенография с использованием слоя активированного европием галогенида бария (CR) начала применяться в практике контроля около 15 лет назад. Такой фотостимулированный фосфор способен запоминать (накапливать) часть поглощенной в нем энергии рентгеновского излучения, а также под действием света He-Ne лазера испускать люминесцентное излучение, интенсивность которого пропорциональна поглощенной энергии. Фотоны люминесцентного излучения преобразуются в электрический сигнал, кодирующийся для получения цифрового изображения.

Итак, сканирующее устройство RADView CR Tower фирмы Agfa позволяет получать цифровое изображение с пластин размером $20 \div 25$ и $35 \div 43$ см. Пластина в кассете, размещенная во входном устройстве сканера, внутренним механизмом изымается из кассеты и транспортируется в блок сканирования для получения цифрового изображения. Остаточное скрытое изображение на пластине стирается, она перемещается обратно в кассету, готовая к новой экспозиции.

В докладе [7] представлена информация о разработке новой пластины, содержащей игольчатые кристаллы галогенида цезия, активированного излучением. Этот фосфор высвечивается с максимумом излучения на длине волны 440 нм, а стимулируют высвечивание фосфора фотоны инфракрасного излучения с минимумом интенсивности на длине волны 685 нм. Пластины с игольчатой структурой люминофора дают лучшее качество изображения, чем пластины с порошковым слоем, по двум причинам. Первая – кристаллические иглы действуют как световод, вторая – высокая плотность люминофора в пластине увеличивает поглощение рентгеновского излучения.

Немецкое общество по НК внесло предложение по стандартизации общих принципов контроля металлических материалов с помощью люминесцентных пластин. Суть предложения состоит в определении минимальных требований к достижению определенного контраста и пространственного разрешения. По аналогии с радиоскопией, для измерений необходимы два

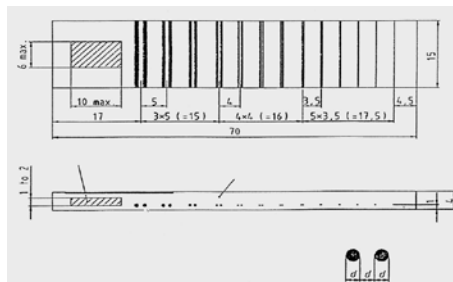


Рис. 4. Схематическое изображение мира согласно EN 462-5: 1 – свинцовая пластина с символом; 2 – пластик

индикатора качества изображений – проволочный и индикатор с двойными проволочками. Требования к пространственному разрешению выше, чем в радиоскопии, и подобны требованиям к изображениям, полученным переводом изображений с пленки в цифровую форму (табл. 5–7).

Компьютерная томография

Компьютерная томография в настоящее время достаточно активно используется в НК. ASTM разработало ряд стандартов для этого метода контроля:

- E 1570-95а. Контроль с помощью компьютерной томографии;
- E 1814-96. Контроль отливок с помощью компьютерной томографии;
- E 1695-95. Измерение характеристик компьютерно-томографической системы;
- E 1441-97. Получение компьютерно-томографического изображения;
- E 1672-95. Выбор компьютерно-томографической системы;

Табл. 5. Требуемое пространственное разрешение системы в зависимости от энергии и толщины стенки

Источник излучения	Толщина стенки	Класс IPA		Класс IPB	
		Размер элемента изображения, мкм	Номер элемента ИКИ	Размер элемента изображения, мкм	Номер элемента ИКИ
Рентг. излучение $U_p \leq 50$ кВ	$W < 4$	40	13	30	13
	$W \geq 4$	60	13	40	13
Рентг. излучение $50 < U_p \leq 150$ кВ	$W < 4$	60	13	30	13
	$4 \leq W < 12$	70	12	40	13
	$W \geq 12$	85	11	60	13
Рентг. излучение $150 < U_p \leq 250$ кВ	$W < 4$	60	13	30	13
	$4 \leq W < 12$	70	12	40	13
	$W \geq 12$	85	11	60	13
Рентг. излучение $250 < U_p \leq 350$ кВ	$12 \leq W < 50$	110	10	70	12
	$W \geq 50$	125	9	110	10
Рентг. излучение $350 < U_p \leq 450$ кВ	$W < 50$	125	9	85	11
	$W \geq 50$	160	8	110	10
$^{169}Yb, ^{170}Tm$		85	11	60	13
$^{75}Se, ^{192}Ir$	$W < 40$	160	8	110	10
	$W \geq 40$	200	7	125	9
^{60}Co		250	6	200	7
Рентг. излучение $U_p > 1$ МэВ		250	6	200	7

Табл. 6. Эквивалентная толщина экрана для пластин с люминофором

Анодное напряжение, кэВ или радионуклид	100	200	300	400	¹⁹² Ir	⁶⁰ Co
Экран для пленки	27 мкм, свинец	27 мкм, свинец	100 мкм, свинец	100 мкм, свинец	100 мкм, свинец	500 мкм, железо
Экран для пластины с люминофором	100 мкм, свинец	100 мкм, свинец	200 мкм, свинец	300 мкм, свинец	350 мкм, свинец	1 мм, свинец; 0,5 мм, железо

- Е 1935-97. Калибровка и измерение плотности компьютерно-томографического изображения;
- Е 1931-97. Томография с использованием рентгеновского комптоновского рассеянного излучения.

Методы анализа изображений

В докладе [8] представлен обзор современных систем и методов автоматического анализа теневых изображений при просвечивании алюминиевых отливок для классификации их дефектов с целью разбраковки отливок.

Почти во всех известных системах автоматического распознавания дефектов в алюминиевых отливках придерживаются общей начальной стратегии:

- сегментируют возможные дефектные области теневых изображений;
- создают бездефектное эталонное изображение этих областей;
- строят разностное изображение, вычитая полученное эталонное изображение из исходного.

Хотя известные методы имеют очевидные сходства, они имеют существенные отличия в деталях. Один из вопросов состоит в том, какую предварительную обработку изображения следует выполнить, например, если разностное изображение при неизменном эталонном изображении будет иметь нежелательные артефакты, обусловленные допусками на позиционирование краями отливок или конкретными особенностями различных литейных форм.

Ниже перечислены наиболее важные проблемы, стоящие перед системами автоматического обнаружения дефектов в серийно изготавливаемых отливках:

- обнаружение очень малых дефектов, обладающих незначительным контрастом на рентгеновских снимках;

Табл. 7. Классы систем «пластина с люминофором – сканирующее устройство» в зависимости от минимального отношения сигнал/шум

Класс системы	Минимальное отношение «сигнал/шум»
IP2	110
IP3	90
IP4	70
IP5	60
IP6	50

- обнаружение больших дефектов, имеющих низкую плотность почернения на радиограммах, замаскированных изображением элементов отливок.

Первая проблема связана с размером элемента цифрового изображения, вторая – с размером ядра обрабатываемого изображения фильтра и качеством данных, полученных системой при ее управляемом обучении. Разработанный авторами «обучаемый медианный фильтр (TMF)» устраняет все слабые стороны существующих методов автоматического распознавания дефектов литых по радиационным изображениям. Даже плоские дефекты в областях с насыщенной структурой надежно обнаруживаются. TMF выполняется на персональном компьютере общего назначения в среде Microsoft Windows 2000.

Типичные интервалы времени для современной системы контроля серийной продукции:

- перемещение от одной позиции просвечивания к другой – 0,8 с;
- интегрирование системой одного изображения – 0,5 с;
- цифровая обработка одного изображения – 1,3 с;
- контроль всей отливки, включая тринадцать позиций – 20 с.

В сообщении [9] дана информация о составе системы для автоматического рентгеновского контроля дисков автомобильных колес, процессе контроля и обзор экономических преимуществ таких систем. Упрощенные экономические сравнения системы MU 281 с визуальным контролем дисков по таким параметрам, как:

- стоимость системы автоматического распознавания дефектов с программным обеспечением – 130 тыс. евро;
- амортизация – 8 %;
- обслуживание – 300 евро в месяц;
- стоимость работ по визуальному контролю – 20 евро в час;
- 3 смены в день, 7 дней в неделю показывают, что затраты окупаются в течение одного года.

В [10] сообщается о разработке новой механической системы позиционирования объектов контроля при цифровом рентгеновском контроле – карданном манипуляторе, который, в сравнении с традиционными С-манипуляторами и роботизированными системами, повышает точность позиционирования на 20 % и уменьшает вибрации при просвечивании, улучшая тем самым качество изображения.

Выводы

1. 15th WCNDT и 8th ECNDT продемонстрировали интеграцию современных технических направлений в рентгеновской технике: использование высокостабильных источников излучений, современных радиационных преобразователей и манипуляторов ОК, компьютерных методов управления ими, и наконец, применение новейших методов цифровой обработки изображений и их анализа.

2. Идет интенсивный переход систем контроля с использованием радиационных РЭОП на системы с использованием многоэлементных преобразователей, выпускаемых по технологиям микроэлектроники: с аморфным селеном и аморфным кремнием. Усложняется структура пластин с фотостимулированным фосфором: переход от пластин с порошковым слоем фосфора на пластины с игольчатой структурой люминофора.

3. Современные автоматические системы анализа радиационных изображений литых изделий достигли высоких показателей по надежности обнаружения дефектов (около 95 %) и производительности (более 100 изделий в час).

4. Эталонные радиографические снимки являются ценным пособием по расшифровке световых изображений цифровых систем. Рекомендуется иметь собственную библиотеку цифровых изображений.

5. В США и Европе идет активное пополнение фонда стандартов по НК новыми стандартами по цифровой рентгенотехнике с использованием стандартизированной терминологии.

Литература

1. Ewert U., Zscherpel U. Radiographic testing – A comparison of standards for classical and digital industrial radiology. – In: 15th World Conference of Non-Destructive Testing. – Rome: 2000.
 2. Deprins E. Digital radiography NDT application.
 3. Ewert U., Zscherpel U., Horky M., Kennedy J. A new computer based concept for digital radiographic reference images.
 4. Munier B., Casagrande J.-M., Koch A. High resolution digital flat panel detector for NDT.
 5. Mohr G. A., Gomez J. M., Bueno C. GE a-Si flat panel detector performance in industrial digital radiography.
 6. Antonakios M., Sanchez G., Sauvage F., Moulin V. Large field CCD-based detector devoted to high energy X-ray digital radiography.
 7. Leblans P. J. R., Willems P., Alacets L. B. A new needle-crystalline detector for X-ray computer radiography.
 8. Herold F., Bavendiek K., Grigat R. R. A new analysis and classification method for automatic defect recognition in X-ray images of castings.
 9. Theis G. Fully automatic X-ray inspection of aluminum wheels.
 10. Steiner D., Barendiek K. New design a cost effective ADR X-ray solution.
- [2–10]: 8th European Conference on Non-Destructive Testing – Barcelona, 2002.

Статья получена 9 сентября 2002 г.