



Computer Radiography as Alternative to Conventional Radiographic Film Technology

K. A. Bagaev,
A. B. Spirkov,
S. S. Kozlovsky

The main part of the article is devoted to experimental work comparing the quality of images taken with X-ray film usage and with CR systems. Authors provide some results obtained using these techniques. This work was done together with CRISM "PROMETEY" and "RESEARCH INSTITUTE OF RUBBER COATINGS AND PRODUCTS". The guidelines for the CR technique operation are provided in the third part of the article. The tests are described to be fulfilled periodically to check the CR system operability.

КОМПЬЮТЕРНАЯ РАДИОГРАФИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ

Введение

Компьютерная радиография (КР) с использованием запоминающих пластин — это альтернатива стандартной радиографии с использованием радиографической пленки.

Технологии проведения рентгеновского контроля изделий с использованием рентгеновской пленки и с использованием запоминающих пластин весьма

похожи. Процесс получения изображения на компьютере при использовании метода КР происходит существенно быстрее (1–2 мин). Анализ рентгеновского изображения на дисплее компьютера имеет ряд преимуществ по сравнению с анализом с использованием негатоскопа. Однако при оцифровке пленки на сканере эти различия стираются.

Существенное различие заключается в том, что толщина чувствительного слоя пленки (10–20 мкм) заметно меньше толщины чувствительного слоя запоминающей пластины (150–300 мкм). Кроме того, рентгеновская пленка может работать с усиливающими экранами — как металлическими (обычно свинцовыми), так и люминесцентными. В то же время люминесцентные экраны не оказывают никакого влияния на запоминающие пластины, а эффект от передних свинцовых экранов весьма мал. Различается также состав вещества, определяющего поглощение квантов в рентгеновской пленке и в запоминающих пластинах.

Мы выполнили расчеты относительного энергопоглощения для пленки Agfa NDT D7 и запоминающей пластины KODAK — отношение энергопоглощения в пластине к энергопоглощению в пленке. Было сделано 2 серии расчетов — для случая пластин и пленок без свинцовых экранов и со свинцовыми экранами. Эти расчеты были выполнены с помощью программы MCC 3D [1] для диапазона энергий квантов от 50 до 500 кэВ. Результаты расчета приведены на рис. 1. Кривая 1 получена для случая прямого воздействия излучения на пластину и пленку, а кривая 2 — когда перед пластиной ставился свинцо-

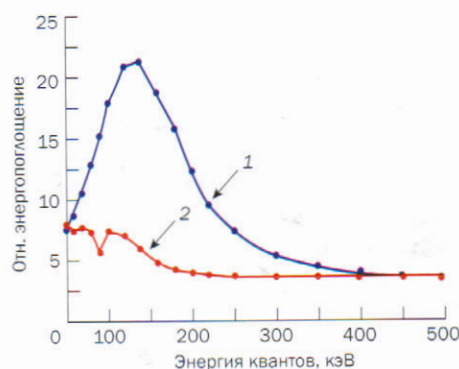


Рис. 1 Сравнительная эффективность рентгеновской пленки и запоминающей пластины

вый экран толщиной 100 мкм, а перед пленкой — толщиной 27 мкм.

Как следует из приведенных данных, запоминающая пластина без экрана обладает существенно большей эффективностью поглощения квантов в области энергий ≈ 100 кэВ. С ростом энергии различие в эффективности поглощения квантов уменьшается. Это различие также уменьшается при использовании свинцовых экранов. Эти свойства запоминающих пластин позволяют использовать существенно меньшие экспозиции, чем при работе с рентгеновской пленкой, при просвечивании относительно тонкостенных изделий (малые энергии излучения). Однако при просвечивании толстостенных изделий (большие энергии излучения) это преимущество становится менее выраженным: большая эффективность регистрации при малых энергиях приводит к уменьшению контраста (по сравнению с рентгеновской пленкой)



Багаев Кирилл Александрович

Технический директор ООО «Ньюком-НДТ», Санкт-Петербург, III уровень по радиационному виду НК, к. ф.-м. н.



Спирков Анатолий Борисович

Ведущий инженер ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург, III уровень по радиационному и акустическому видам НК.



Козловский Станислав Станиславович

Технический директор ЗАО «Юнитест-Рентген», доцент кафедры ядерной физики СПбГУ, к. ф.-м. н.

за счет большей эффективности регистрации рассеянного излучения. Таким образом, замена традиционного радиографического метода контроля с использованием рентгеновской пленки на метод КР с использованием запоминающих пластин должна проводиться осторожно, с обязательной экспериментальной проверкой результатов контроля.

За рубежом уже давно действуют стандарты по КР. Они постоянно обновляются и совершенствуются. Наиболее важными документами, регламентирующими применение КР, являются стандарты EN 14784-1,2 [2] и ISO 17636-2 [3]. Это новейшие документы, вышедшие в 2005 и 2013 гг. соответственно.

Стандарт ISO 11699-1:2008 [4] вводит шесть классов пленочных систем. Аналогично, стандарт EN 14784 вводит шесть классов систем КР. Принадлежность системы КР и пленочной системы к одному классу означает, что при определенных условиях экспонирования и сканирования запоминающих пластин может быть получена такая же выявляемость дефектов, как и при контроле с использованием соответствующей рентгеновской пленки. Таким образом, у потребителей систем КР есть четкий критерий, руководствуясь которым они могут выбрать систему КР взамен пленки определенного типа, получив то же качество снимков.

К сожалению, несмотря на широкое внедрение техники КР в России, в нашей стране отсутствует соответствующий стандарт. В связи с этим у многих пользователей систем КР возникают вопросы по методике работы с данной техникой, критериям качества получаемых снимков.

В рамках совместных работ ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» и ОАО «НИИРПИ» по внедрению систем КР на заводах судостроительной отрасли были проведены экспериментальные исследования по оценке возможности замены существующей технологии с использованием радиографической пленки на технологию КР. В этой статье мы хотим ознакомить читателя с некоторыми результатами проведенных исследований.

Система КР

Согласно EN 14784 система КР является совокупностью трех компонентов:

- запоминающая многоцветная пластина;
- устройство считывания и оцифровки — сканер пластин;
- программное обеспечение, которое конвертирует информацию, полученную с пластин, в цифровой снимок.

Мы использовали запоминающие пластины Duerr HD-IP Plus; сканер Duerr

HD-CR 35 NDT и программное обеспечение для цифровой радиографии X-Vizor (производитель ООО «Ньюком-НДТ»).

Выбор в пользу системы КР Duerr обусловлен тем, что эта система является одной из лучших, представленных на мировом рынке. Исследование немецкого института BAM* показали, что данная система соответствует I классу по стандарту EN 14784 при базовом пространственном разрешении 40 мкм и минимальной поглощенной дозе 5,3 мГр. Подробная информация о режиме сканирования, пластинах и программном обеспечении представлена в соответствующем сертификате. Разрешение в 40 мкм является минимальным для систем КР, представленных в настоящее время на рынке.

Сканер Duerr HD-CR35 позволяет регулировать три параметра при считывании пластин, которые существенно влияют на качество получаемых снимков. Это:

- размер пикселя;
- мощность сканирующего лазерного пучка;
- напряжение на фотоумножителе.

Размер пикселя определяется скоростью перемещения лазерного пучка по поверхности пластины и частотой оцифровки сигнала, поступающего с фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Чем меньше размер пикселя, тем меньший объект на снимке потенциально можно различить. Время сканирования запоминающей пластины тем больше, чем меньше размер пикселя.

Мощность сканирующего лазерного пучка может регулироваться в некоторых пределах. В процессе сканирования запоминающая пластина освещается лазерным лучом красного цвета, в результате пластина излучает вторичный голубой свет, интенсивность которого пропорциональна дозе, поглощенной в данном месте пластины. Мощность лазера влияет на число высвечиваемых вторичных фотонов: чем больше мощность, тем больше фотонов высвечивается.

Лазерный пучок имеет конечные размеры. Чем выше мощность лазера, тем больше диаметр лазерного пятна на поверхности пластины. Поэтому для получения лучшего разрешения рекомендуется использовать как можно меньшее значение мощности. Однако при малой мощности будет задействована лишь небольшая часть активного слоя экспонированной пластины, и получаемый с нее сигнал будет слишком мал.

Под воздействием лазера из пластины эмитируются фотоны. Они имеют отлич-

*BAM — Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Берлин, www.bam.de

ную от лазерного излучения спектральную характеристику. Это позволяет с помощью системы оптических фильтров отделять излучение лазера от света, испущенного пластиной. Свет от пластины собирается, затем фокусируется на фотокатод ФЭУ, который генерирует электроны. ФЭУ служит для усиления сигнала. Степень усиления зависит от величины напряжения на ФЭУ.

Размер пучка лазера обычно заметно меньше размера пикселя. Это связано с тем, что в любом сканере имеет место либо механическая протяжка пластины, либо перемещение лазера относительно пластины. Именно точность механического перемещения определяет наименьшее достижимое пространственное разрешение системы. Соответственно не имеет смысла выбирать размер пикселя меньше данной величины.

Зачастую у потребителей возникает путаница в понятиях «размер лазерного пятна», «размер пикселя», «пространственное разрешение». Недобросовестные продавцы могут указывать, например, только величину «размер лазерного пятна». Из практики известно, что данная величина меньше размера пикселя и пространственного разрешения.

Поэтому именно пространственное разрешение используется при классификации систем КР. Эта величина определяется либо по двухпроводочному эталону, либо с помощью функции передачи модуляции — Modulation Transfer Function (MTF) [2].

Средний уровень серого определяет величину сигнала, полученного при считывании сканером запоминающей пластины. Низкий средний уровень серого цифрового изображения соответствует малому числу градаций серого в рабочем диапазоне (диапазоне градаций серого, содержащего полезную информацию о контролируемом объекте) и, следовательно, полученное теневое изображение объекта контроля будет не контрастным. Увеличение среднего уровня серого на радиографическом снимке (радиограмме) приводит к увеличению числа градаций серого в рабочем диапазоне и увеличению контрастности цифрового изображения (видимой разницы в яркости изображения дефектного и бездефектного участков). Уровень серого цифрового изображения можно сравнить с оптической плотностью радиографического снимка. Для увеличения среднего уровня серого на радиограмме и увеличения отношения сигнал/шум необходимо увеличить экспозицию.

Постановка эксперимента и результаты

Экспериментальные исследования проводились с целью определения возможных областей применения технологии КР и оценки возможности замены технологии с использованием радиографической пленки на технологию КР.

Основная задача — сопоставление полученных значений выявляемости малококонтрастных искусственных дефектов для мелкозернистых радиографических пленок (импортных Agfa NDT D4, D5 и отечественной РТ-К) и запоминающих пластин системы КР при просвечивании набора металлических пластин с толщиной в диапазоне* от 1 до 20 мм.

В этом диапазоне толщин при рентгеновском контроле металлоконструкций большинством методических документов в различных отраслях промышленности требуется применение мелкозернистых радиографических пленок. Замена технологии контроля с использованием процесса мокрой фотообработки радиографических пленок на технологию беспленочной радиографии возможна только при условии сохранения качества изображения на радиограммах. Наиболее важным критерием качества является выявляемость дефектов.

Выявляемость искусственных дефектов оценивалась по значениям статистической чувствительности, полученным при просвечивании металлических пластин различной толщины со статистическим эталоном и стандартными эталонами чувствительности. Такие металлические пластины в дальнейшем будем называть балластными. Эталоны и балластная пластина представлены на рис. 2.

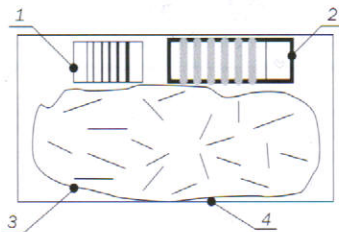


Рис. 2. Балластная пластина со статистическим эталоном и эталонами чувствительности:

1 — проволоочный эталон, 2 — канавочный эталон, 3 — статистический эталон, 4 — балластная пластина

Статистический эталон — набор хаотически распределенных по поверхности контролируемого участка искусственных неоднородностей, имитирующих дефекты. В качестве протяженных

*Ограничение по времени испытаний не позволило провести исследования в большем диапазоне толщин, но они будут продолжены при первой возможности (прим. авторов)

малококонтрастных неоднородностей использовали проволоочки половинной длины из эталонов чувствительности по ГОСТ 7512 [5]. Для каждой экспозиции использовалось 20 таких проволоочек одного диаметра.

Данный эталон не описан ни в одном из отечественных стандартов. Его применение в нашем эксперименте обусловлено тем, что статистический эталон обеспечивает большую объективность при определении чувствительности контроля. При использовании стандартного проволоочного эталона на снимках обычно четко видны несколько наиболее толстых проволоочек. Проволочки расположены параллельно, на определенных расстояниях друг от друга. В результате при анализе снимка человеческий мозг, обладая априорной информацией об эталоне, автоматически интегрирует интенсивность сигнала вдоль предполагаемой следующей проволоочки эталона и в результате «видит» ее. Статистический эталон, вследствие хаотического расположения проволоочек, не обладает таким недостатком.

Под термином «статистическая чувствительность» в данной статье понимается отношение правильно выявленных проволоочек к общему числу проволоочек в статистическом эталоне, выраженное в процентах. В случае если оператором обнаружены проволоочки, которые отсутствуют в данном месте на эталоне, число правильно выявленных проволоочек уменьшается на количество ошибочно выявленных проволоочек.

Расположение проволоочек в статистическом эталоне фиксировалось цифровым фотоаппаратом и изменялось на каждом этапе эксперимента (для получения каждой экспериментальной точки). На цифровом изображении с помощью программного обеспечения напротив каждой найденной проволоочки ставилась соответствующая метка, затем результаты сравнивались с фотографией.

При просмотре полученных системой КР цифровых радиографических снимков на экране компьютера наблюдается существенное уменьшение контрастности, связанное с аппаратным ограничением монитора в отображении числа градаций яркости. Полученное со сканера теневое изображение передается программой обработки в 16 битном формате, что соответствует отображаемому диапазону градаций от 0 до 65535 ($2^{16}-1$). Используемый монитор (8 бит) способен отобразить диапазон градаций от 0 до 255, таким образом, большая часть градаций отображается одним оттенком. Эффекта уменьшения контрастности радиограммы можно избежать, разбив

рабочий диапазон градаций яркости на части и отображая на экране монитора весь диапазон градаций частями, используя инструмент «Гистограмма».

Пример просмотра снимка по частям приведен на рис. 3. Видно, что изменение диапазона яркости позволяет четко просмотреть все детали снимка и увидеть эталоны чувствительности.

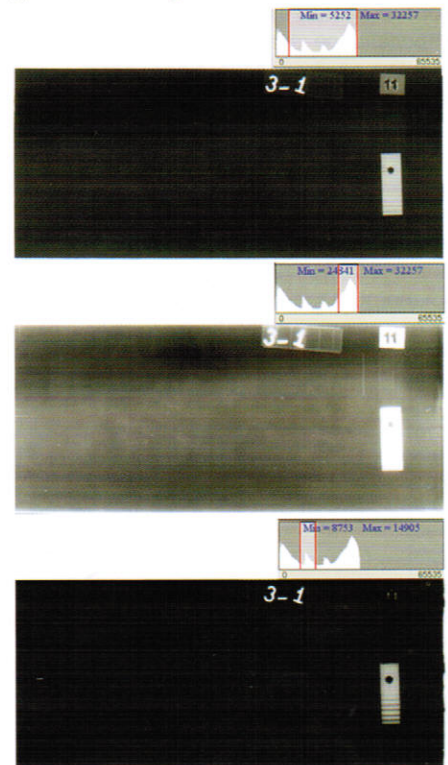


Рис. 3. Цифровое изображение при выборе различного просматриваемого диапазона градаций серого

Под термином «относительная чувствительность» (k) в данной статье понимается отношение чувствительности контроля (K , мм) к радиационной толщине (S , м), выраженное в процентах.

Помимо системы КР для проведения исследований использовалось следующее дополнительное оборудование:

- набор металлических пластин, изготовленных из листовых сталей различной номинальной толщины, позволяющий получить любую радиационную толщину в диапазоне от 1 до 20 мм с шагом 1 мм;
- проволоочные и канавочные эталоны чувствительности по ГОСТ 7512;
- статистические эталоны.

Исследования проводились в 2 этапа:

- 1) определение оптимальных параметров экспонирования и сканирования запоминающих пластин;
- 2) сопоставление значений статистической чувствительности на радиограммах, полученных при оптимальном режиме экранирования и сканирования запоминающих пластин и полученных

на широко применяемых в промышленности мелкозернистых пленках D4, D5 и РТ-К.

На первом этапе исследований проведен анализ и определены оптимальные значения следующих параметров:

- напряжение на ФЭУ;
- разрешение сканирования и мощность лазера;
- оптимальный диапазон экспозиций;
- предельное значение напряжения на трубке рентгеновского аппарата;
- рекомендуемая толщина переднего свинцового экрана.

Эксперименты проводились при постоянном расстоянии 700 мм от источника излучения до поверхности контролируемого участка длиной 200 мм и шириной 100 мм. Во всех экспериментах мощность лазера была выбрана 6 мВт, исходя из рекомендаций производителя.

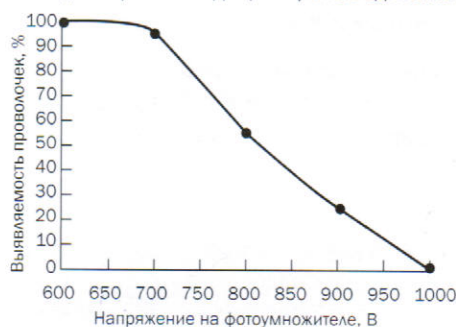


Рис. 4. Зависимость выявляемости проволоочек статистического эталона от напряжения на ФЭУ: радиационная толщина 6 мм, диаметр проволоочек статистического эталона 0,1 мм

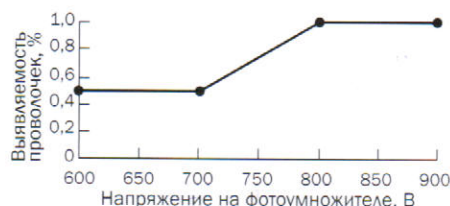


Рис. 5. Зависимость относительной чувствительности от напряжения на ФЭУ. Радиационная толщина 20 мм

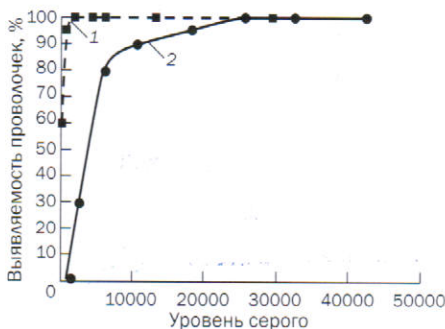


Рис. 6. Зависимость выявляемости проволоочек статистического эталона от среднего значения уровня серого: 1 — радиационная толщина 6 мм, диаметр проволоочек статистического эталона 0,1 мм; 2 — радиационная толщина 20 мм, диаметр проволоочек статистического эталона 0,4 мм

Везде, где не указано явно, свинцовые экраны не применялись.

При определении оптимального значения исследуемого параметра изменялось его значение при неизменных остальных параметрах и постоянной радиационной толщине, строились зависимости статистической и относительной чувствительности от изменения этого параметра. За оптимальные принимали такие значения исследуемого параметра, при которых обеспечивается максимальная статистическая чувствительность при максимальной производительности системы КР.

Экспериментальные зависимости, обновляющие выбор оптимальных значений (диапазона значений) основных параметров, приведены на рис. 4–12.

Для определения оптимального напряжения на ФЭУ (усиление ФЭУ) проводилось экспонирование металлических пластин с набором толщин 6 и 20 мм при постоянных фокусном расстоянии, напряжении на трубке рентгеновского аппарата, при обеспечении постоянного среднего уровня серого полученных радиограмм ($30000 \pm 10\%$) и при изменении в диапазоне от 0,5 до 1 кВ напряжении на ФЭУ.

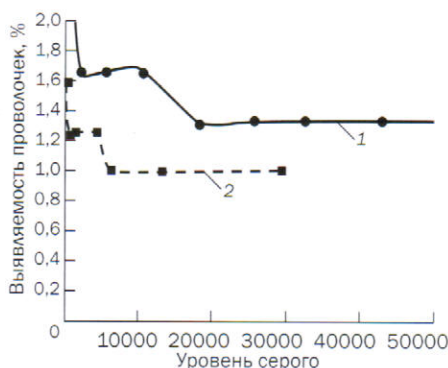


Рис. 7. Зависимость относительной чувствительности от экспозиции: 1 — радиационная толщина 6 мм; 2 — радиационная толщина 20 мм

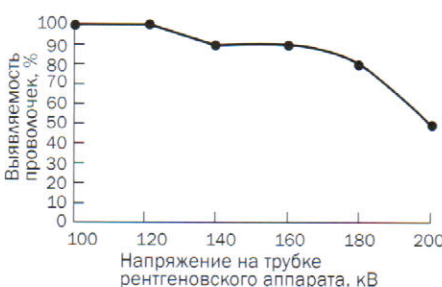


Рис. 8. Зависимость выявляемости проволоочек от напряжения на трубке рентгеновского аппарата. Радиационная толщина 10 мм, диаметр проволоочек статистического эталона 0,1 мм

Уровень серого — числовое значение сигнала, получаемого после считывания скрытого изображения с запоминающей пластины, отображаемого на мониторе компьютера в оттенках серого цвета. Среднее значение уровня серого полученных изображений определялось автоматически программным обеспечением X-Vizor как средняя интенсивность точек рабочей области изображения.

Зависимость выявляемости проволоочек статистического эталона от напряжения на ФЭУ приведена на рис. 4, а зависимость относительной чувствительности от напряжения на ФЭУ — на рис. 5.

Дискретность значений относительной чувствительности на представленных зависимостях определяется дискретностью диаметров проволоочек (глубин канавок) в используемых эталонах чувствительности.

Наилучшая выявляемость обеспечивается при установке напряжения на ФЭУ в диапазоне от 500 до 700 В.

Для определения оптимального диапазона экспозиций (требуемого уровня серого) проводилось экспонирование металлических пластин с набором толщин 6 и 20 мм при постоянных фокусном расстоянии, напряжении на трубке рентгеновского аппарата, выбранном

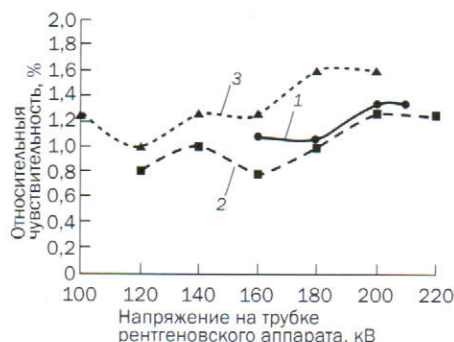


Рис. 9. Зависимость относительной чувствительности от напряжения на трубке рентгеновского аппарата для разных радиационных толщин: 1—30 мм; 2—20 мм; 3—10 мм

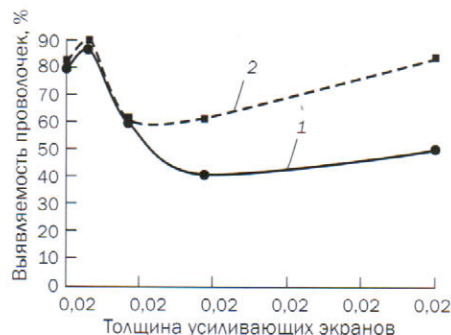


Рис. 10. Зависимость выявляемости проволоочек статистического эталона от толщины свинцового экрана: 1 — радиационная толщина 12 мм, диаметр проволоочек 0,2 мм; 2 — радиационная толщина 6 мм, диаметр проволоочек 0,1 мм

ранее оптимальном напряжении на ФЭУ (600 В) и при изменении экспозиции.

На рис. 6 показана зависимость выявляемости проволоочек статистического эталона от среднего значения уровня серого, а на рис. 7 — зависимость относительной чувствительности от экспозиции. Можно сделать вывод, что для разрядности системы КР 16 бит экспозиция должна обеспечивать получение среднего уровня серого на радиограмме 30000 ± 5000 .

Для определения предельного напряжения на рентгеновской трубке проводилось экспонирование металлических пластин с набором толщин 30, 20 и 10 мм при постоянном фокусном расстоянии и оптимальном напряжении на ФЭУ (600 В). При этом для обеспечения постоянного среднего уровня серого полученных радиограмм ($30000 \pm 10\%$) в диапазоне напряжений от 100 до 220 кВ изменялась экспозиция.

На рис. 8 и 9 приведены зависимости соответственно выявляемости проволоочек статистического эталона и относительной чувствительности от напряжения на трубке рентгеновского аппарата. Видно, что качество радиограмм ухудшается после превышения определенного для заданной радиационной толщины значения напряжения.

При рассмотрении представленных на рис. 4–12 зависимостей необходимо учитывать, что некоторые колебания кривых, не принятые во внимание при рассмотрении результатов, связаны с погрешностью оценки и задания различных параметров при получении экспериментальных точек и не несут физического смысла.

Относительная чувствительность изменяется немонотонно при изменении толщины балластной пластины в связи с тем, что диаметр проволоочек (глубина канавок) используемых эталонов чувствительности принимает фиксированные значения.

Для определения оптимальной толщины передних свинцовых экранов проводилось экспонирование металлических пластин с набором толщин 6 и 12 мм при выбранных ранее оптимальных параметрах экспонирования и сканирования запоминающих пластин и при поочередной установке передних свинцовых экранов разной толщины: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5 мм. Зависимость выявляемости проволоочек статистического эталона от толщины переднего свинцового экрана представлена на рис. 10.

Проведенные исследования показали, что выявляемость дефектов не возрастает при использовании усиливающих экранов различной толщины,

а лишь приводит к увеличению экспозиции.

Первый этап экспериментов позволил определить оптимальные параметры экспонирования и сканирования запоминающих пластин исследуемой системы КР. Для пластин высокого разрешения IP-HD Plus, использование которых обеспечивает наилучшее качество радиограмм при разрешении сканирования 25 мкм, оптимальными являются следующие параметры:

- напряжение на ФЭУ — 600 В;
- мощность лазера — 6 мВт;
- экспозиция должна обеспечивать получение среднего уровня серого на радиограмме 30000 ± 5000 для диапазона 16 бит;
- напряжение на трубке рентгеновского аппарата должно быть меньше на 20–30% предельно допустимых значений по ГОСТ 20426;
- без свинцового экрана в диапазоне толщин до 20 мм.

На втором этапе исследований было проведено сопоставление статистической чувствительности на снимках для радиографических пленок Agfa NDT D4, D5 и PT-K и запоминающих пластин системы КР. Были использованы выбранные оптимальные параметры экспонирования и сканирования запоминающих пластин.

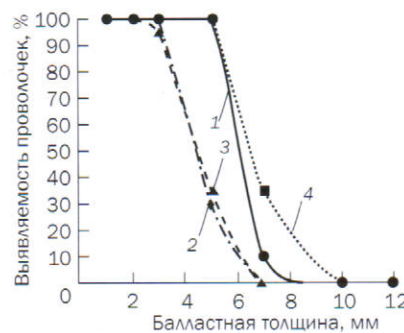


Рис. 11. Зависимость выявляемости проволоочек (диаметр 0,1 мм) статистического эталона от радиационной толщины: 1 — D4; 2 — D5; 3 — PT-K; 4 — ЗП

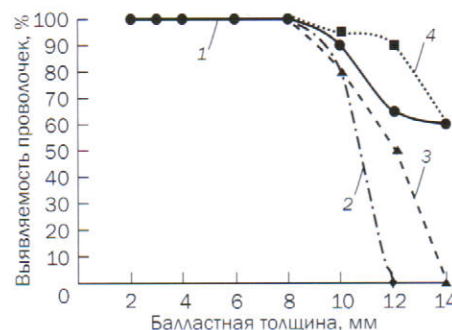


Рис. 12. Зависимость выявляемости проволоочек (диаметр 0,2 мм) статистического эталона от радиационной толщины: 1 — D4; 2 — D5; 3 — PT-K; 4 — ЗП

На рис. 11 и 12 показаны зависимости выявляемости проволоочек статистического эталона от толщины металлических (балластных) пластин. Диаметр проволоочек статистического эталона на рис. 11 — 0,1 мм, на рис. 12 — 0,2 мм. Из этих зависимостей видно, что выявляемость при использовании запоминающих пластин системы КР не хуже, чем выявляемость при использовании пленки D4 в диапазоне радиационных толщин до 20 мм. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что информативность получаемых данной системой КР снимков (радиограмм) не уступает получаемым по штатной технологии на радиографическую пленку.

Отметим, что экспозиция при использовании запоминающих пластин в 1,5–3 раза меньше, чем при использовании пленок при сопоставимом качестве радиограмм.

Периодический мониторинг рабочих характеристик систем КР

Зарубежные стандарты предполагают два варианта проверки характеристик систем КР: тест у производителя и периодическая проверка у потребителя. Эти тесты и их периодичность описаны в [1]. Этот подход заслуживает внимания, возможно, его стоит использовать в России.

Наиболее комплексный тест оборудования проводится при производстве. Помимо этого производители систем КР (и другого оборудования для НК) стремятся получить сертификат из независимого экспертного органа, доверие к которому выше, чем к любому из производителей. В области НК в Европе таким органом является институт BAM. **Отсутствие у производителя сертификата независимого экспертного органа может свидетельствовать о том, что предлагаемое оборудование не отвечает характеристикам, заявленным производителем.**

После того, как оборудование поступило к заказчику, необходимо с некоторой периодичностью осуществлять проверку его характеристик. Для систем КР необходимо проверять как характеристики пластин, так и сканера.

Со временем многоразовые пластины приходят в негодность. Пластины могут подвергаться механическим повреждениям в виде царапин, на них могут образовываться артефактные изображения, может иметь место выгорание отдельных участков пластин. Царапины являются критическими повреждениями, так как они могут маскировать дефекты типа трещин. Пользователь систем КР должен регулярно проверять пригодность пластин как визуально, так и с помощью анализа цифрового снимка.

Для увеличения срока службы запоминающих пластин необходимо использовать специальные защитные чехлы, в которые укладывают пластины во время экспонирования. Важно, чтобы пластины не соприкасались с абразивными веществами, песком, тальком. Для защиты пластин оптимально использовать одноразовые полиэтиленовые чехлы. Обычно они предлагаются производителями для пластин всех стандартных типов-размеров.

Для сохранности пластин важно также регулярно прочищать рабочую поверхность сканера, по которой движется пластина при сканировании. Для чистки сканера зачастую удобно использовать баллончики со сжатым воздухом. Эта процедура проста, не требует большого количества времени. Весьма полезно периодически заменять детали сканера, вступающие в контакт с пластиной. В частности, щетки, защищающие оптику сканера от внешнего света.

Если на пластине все же образовались царапины, то ее надо либо вывести из эксплуатации, либо разрезать на части, убрав области, где есть царапины.

Пластины должны регулярно проверяться на наличие артефактов, выгорания отдельных областей, особенно если при использовании пластины не применялись защитные экраны.

Для такой проверки пластины ее надо облучать рентгеновским излучением с минимальной используемой при контроле энергией. При этом нужно добиться равномерной засветки пластины. Для отсекающего низкоэнергетического части спектра и фона рекомендуется использовать защитные свинцовые экраны. Их толщина может варьироваться в зависимости от энергии излучения. Если значение интенсивности в разных областях изображения не совпадает, это означает, что пластина в ряде мест выгорела. Перепад значений интенсивности в пределах пластины не должен превышать $\pm 15\%$. Если это условие не выполняется, запоминающую пластину далее нельзя использовать.

Помимо пластин необходимо с некоторой периодичностью осуществлять проверку работоспособности сканера. Система протяжки пластин через сканер не должна допускать скручивания и наклона пластин, проскальзывания. Проскальзывание может привести к геометрической дисторсии снимков. Для проверки системы протяжки необходимо использовать меры длины, которые должны располагаться при экспонировании пластины как вдоль, так и поперек. Логично применять шаблоны, используемые в CR-фантоме, согласно [2].

Это — две линейки длиной 43 и 35 см, изготовленные из материала с высоким коэффициентом поглощения рентгеновского излучения. Цена деления линеек равна 1 мм.

Вторым важным параметром, который необходимо контролировать, является четкость изображения, отсутствие нерезкости в областях, где имеет место большой перепад плотности контролируемого объекта. Из-за подобных перепадов на снимке могут появляться фантомные изображения — блики, полосы. Для мониторинга работы системы КР в подобных условиях стандарт EN 14784 рекомендует изготовить шаблон в форме буквы «Т». Его делают из латуни толщиной 5 мм и длиной 114 мм по каждой координате. Также подобный шаблон используется для проверки отсутствия дрожания луча лазера.

Третий параметр, который необходимо контролировать в процессе эксплуатации, — это равномерность яркости лазера вдоль линии сканирования. Для этих целей необходимо равномерно проэкспонировать пластину, отнеся источник излучения как можно дальше от нее. Для теста производителя рекомендуется выбирать это расстояние больше 5 м, для теста потребителя — больше 1 м. После этого пластина сканируется, а равномерность интенсивности снимка проверяется с помощью программного обеспечения. При расстоянии источник — пластина около 1 м уменьшение интенсивности сигнала на краях пластины может достигать 8% по естественным причинам (из-за конечного размера источника и непараллельности пучка рентгеновского излучения). В связи с этим при тесте потребителя допускается перепад интенсивностей в пределах пластины $\pm 15\%$.

Помимо этого необходимо периодически проверять качество работы устройства стирания пластин. В большинстве случаев фантомные изображения не стираются полностью с пластины. Однако, если их интенсивность меньше 1% от максимального значения интенсивности, ими можно пренебречь. Данный тест также несложно осуществить с помощью программного обеспечения.

Выводы

1. Качество цифровых радиографических изображений, получаемых системой КР Duerr, не уступает качеству снимков, получаемых по штатной технологии контроля на радиографическую пленку AGFA NDT D4.
2. Выявляемость проволочек статистического эталона при использовании запоминающих пластин системы КР не хуже, чем при использовании плен-

ки D4 в диапазоне радиационных толщин до 20 мм.

3. Применение систем КР в различных отраслях промышленности взамен систем, использующих рентгеновскую пленку, возможно только при выполнении следующих условий:

- четкое регламентирование параметров экспонирования и сканирования запоминающих пластин, при которых обеспечивается требуемое качество радиограмм;
- при работе с системами КР необходимо периодически осуществлять проверку состояния запоминающих пластин и сканирующего устройства;
- параметры экспонирования и сканирования запоминающих пластин и процедура проверки состояния оборудования должны быть отражены в методической документации или производственно-технологической документации на контроль.

Литература

1. Багаев К.А., Козловский С.С., Новиков И.Э. Программа для имитационного трехмерного моделирования систем детектирования и регистрации ионизирующего излучения на базе развитого графического интерфейса. — Аппаратура и новости радиационных измерений. 2007. № 4. С. 35–40.
2. EN 14784-1:2005. Non-destructive testing — Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates — Part 1: Classification of systems — Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays. GEN, 2005.
3. ISO 17636-2:2013. Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors. ISO, 2013.
4. ISO 11699-1:2008. Non-destructive testing — Industrial radiographic film — Part 1: Classification of film systems for industrial radiography. ISO, 2008.
5. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий, соединения сварные, радиографический метод. — М.: Изд-во стандартов, 1982.

References

1. Bagaev K.A., Kozlovsky S.S., Novikov I.E. *Apparatura i novosti radiatsionnykh izmereniy* [Instrumentation & News of Radiation Measurements]. 2007, no. 4, pp. 35–40 (in Russ.).
2. EN 14784-1:2005. Non-destructive testing — Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates — Part 1: Classification of systems — Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays. GEN, 2005.
3. ISO 17636-2:2013. Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors. ISO, 2013.
4. ISO 11699-1:2008. Non-destructive testing — Industrial radiographic film — Part 1: Classification of film systems for industrial radiography. ISO, 2008.
5. GOST 7512-82. *Kontrol nerazrushayushchiy, soedineniya svarynye, radiograficheskiy metod* [Nondestructive testing. Welded joints. Radiography method]. IPK Izdatelstvo Standartov, Moscow, 1982 (in Russ.).

Статья получена 13 августа 2013 г.,
в окончательной редакции — 18 ноября