
Оцифровка радиографических снимков. Что следует учесть при разработке и внедрении российских стандартов



**Багаев
Кирилл
Александрович**

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



**Козловский
Станислав
Станиславович**

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

Зачем нужна оцифровка радиографических снимков?

В последние годы некоторые крупные российские компании либо ввели в свои руководящие документы нормы об обязательной оцифровке радиографических снимков, либо заявили о том, что собираются сделать это в ближайшее время.

Что является основным движущим мотивом внедрения оцифровки снимков? По нашему мнению и в первую очередь — экономическая целесообразность.

Во-первых, хранение снимков является весьма затратным делом: необходимо задействовать большие площади, обеспечивать в них специальный микроклимат (температуру, влажность, освещенность), гарантировать сохранность. Во-вторых, может потребоваться достаточно много времени, чтобы найти конкретный необходимый снимок в хранилище. При этом такой снимок будет доступен для повторной расшифровки только там, где он хранится. Для того, чтобы проверить снимок в головном офисе компании, необходимо его физически отправить туда.

Очевидно, что если вместо физического хранения снимков перейти на хранение их оцифрованных копий, то перечисленные затраты и неудобства будут ликвидированы. Хранение информации на сервере стоит намного меньше, а извлечение ее из базы данных происходит практически мгновенно, при этом доступ к данным может быть осуществлен из головного офиса компании, который находится на расстоянии в тысячи километров от места оцифровки.

Оцифровка пленок только с целью создания цифровой копии, формирования общей базы данных кажется избыточной процедурой. Да, база данных снимков — это удобно, однако настолько ли она необходима, если параллельно хранится оригинал — радиографический снимок?

Отметим, что введение процедуры оцифровки снимков с целью хранения информации никоим образом не влияет на процесс их расшифровки. Они так же, как и ранее, оцениваются дефектоскопистами с помощью негатоскопов, по результатам контроля принимается решение о годности объекта контроля. Затем снимок отвозится на оцифровку в специальный центр. После этого, при введении требований о хранении только цифровой копии, снимок может быть переработан для выделения серебра, что также повысит экономический эффект.

Однако оцифровка снимков позволяет привлечь для оценки качества изделия возможности цифровой техники — компьютеров. Современное программное обеспечение позволяет улучшить качество изображений, помочь провести расшифровку снимков, автоматизированно создавать протоколы контроля. И в этом случае оцифровка снимков должна производиться там же, где и принятие решения о годности контролируемого изделия.

Применение пленочной технологии контроля совместно с последующей оцифровкой в месте проведения контроля вступают в конкурентное соревнование с системами компьютерной радиографии и цифровой радиографии — CR [1] и DR.

В настоящее время о намерении организовать цифровые архивы снимков заявили такие крупные компании как «Газпром» и «Транснефть». Подавляющее количество рентгеновских снимков этих компаний производится в полевых условиях на пленку. На данный момент системы DR в России применяются крайне редко, если и используется альтернативная пленочная технология, то это — CR. Системы компьютерной радиографии все чаще используются территориальными подразделениями «Газпрома» и «Транснефти».

По нашей оценке системы CR оказываются более выгодны с экономической точки зрения, т. к. затраты на оборудование будут примерно одинаковы, а затраты на расходные материалы и содержание лабораторной комнаты будут существенно меньше для систем CR¹, поскольку

¹ Более детальное сравнение различных технологий цифровой радиографии и радиографии с использованием рентгеновской пленки мы планируем привести в отдельной статье (прим. авторов).

для получения цифрового изображения с помощью пленки необходимо иметь:

- собственно пленку, которую можно использовать только 1 раз;
- химикаты для ее фотообработки;
- проявочную машину;
- оцифровщик радиографических снимков;
- компьютер с соответствующим ПО.

Для систем компьютерной радиографии требуется:

- запоминающая пластина, используемая многократно (до нескольких тысяч раз);
- сканер для считывания информации с запоминающих пластин;
- компьютер с соответствующим ПО.

Следует также отметить, что время, затрачиваемое на одну экспозицию, в системах CR обычно в несколько раз ниже, чем при экспонировании на пленку.

Таким образом, использование систем оцифровки радиографических снимков видится разумным для создания цифровых копий снимков. При этом оцифровку снимков экономически целесообразно проводить в специальных центрах для оцифровки. Если же получение цифрового изображения требуется в месте проведения контроля немедленно, то для этих целей, по нашему мнению, рационально применение систем компьютерной радиографии, так как в этом случае скорость получения цифрового изображения заметно выше.

Положительный экономический эффект будет достигаться только в том случае, если после создания цифровой копии пленка-оригинал будет переработана. Тогда не придется тратить средств на ее хранение.

Российские и международные стандарты

В России на данный момент не существует государственного стандарта и соответствующих нормативных документов, которые позволяли бы хранить только цифровую копию радиографического снимка. Хранение и снимка, и его цифровой копии вряд ли имеет смысл. В связи с этим задача внедрения в России стандарта по оцифровке рентгеновских снимков является весьма актуальной.

Подобный стандарт должен учитывать как существующие российские стандарты по радиационному контролю, так и международный опыт.

Положения нового стандарта по оцифровке не должны быть избыточными и противоречить действующим российским ГОСТ.

За рубежом — в Европе и США — существует стандарт по оцифровке рентгеновских изображений, полученных на пленке — ISO 14096, вышедший в 2005 г. [3, 4]. В России же до сих пор основополагающим документом является ГОСТ 7512–82 [5]. Существующая практика применения радиационного контроля в промышленности опирается на этот стандарт, на его основе написаны руководящие документы большинства организаций.

ГОСТ 7512–82 был написан более 30 лет назад. Однако на данный момент этот ГОСТ действует на территории России и имеет силу закона. Именно поэтому в нашей статье мы будем руководствоваться положениями данного стандарта. И в ситуации, когда международные стандарты содержат требования, отличающиеся от требований ГОСТ 7512–82 (например, к яркости негатоскопа), будем следовать требованиям отечественного стандарта.

Диапазон оптических плотностей

Проанализируем требования российских документов, касающиеся величины оптической плотности снимков. Вот что записано в ГОСТ 7512–82 по поводу нижней границы диапазона оптических плотностей:

«5.1 ... уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по отношению к оптической плотности в месте установки проволочного эталона чувствительности или по отношению к оптической плотности изображения канавочного или пластинчатого эталона чувствительности не должно превышать 1,0...

6.2. Снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять требованиям: ...оптическая плотность изображений контролируемого участка шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5;

уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности не должно превышать 1.0.»

Таким образом, если проанализировать эти положения, то можно прийти к выводу, что нижний диапазон оптической плотности подлежа-

щего расшифровке (шов, околошовная зона) участка снимка и эталона не должен быть меньше 1,5.

К сожалению, требование к нижнему порогу оптических плотностей снимков сформулировано недостаточно четко. В связи с этим считаем разумным, чтобы в новой редакции стандарта по рентгеновскому контролю нижний порог оптических плотностей снимков был сформулирован в явном виде.

Верхний диапазон оптических плотностей неявно задается в разделе 6.1.

*«6.1...Следует использовать негатоскопы с регулируемой яркостью и размерами освещенного поля. Максимальная яркость освещенного поля должна составлять **не менее 10^{D+2} кд/м²**, где D — оптическая плотность снимка. Размеры освещенного поля должны регулироваться при помощи подвижных шторок или экранов-масок в таких пределах, чтобы освещенное поле полностью перекрывалось снимком.»*

Следовательно, в соответствии с ГОСТ 7512-82 минимальная яркость, обеспечиваемая негатоскопом после установки снимка для просмотра, должна быть не меньше 100 кд/м².

Это положение ГОСТ 7512-82 вызывает немало споров. В отраслевом стандарте ОСТ 108.004.110-87 [7], разработанном в соответствии с требованиями ПК 1514-72 [8], приводится график для рекомендуемого диапазона яркостей негатоскопов в зависимости от плотности почернения пленки (рис. 1), из которого следует, что для просмотра снимков яркость негатоскопов должна быть не менее 30 кд/м² для снимков с плотностью до 2,5 Б, и не менее 10 кд/м² для снимков с большей плотностью. Аналогичные требования содержатся и в более позднем документе — стандарте EN 25580. Тем не менее, в данном вопросе ГОСТ 7512-82 до сих пор остается основополагающим документом, именно он определяет требования к яркости негатоскопов.

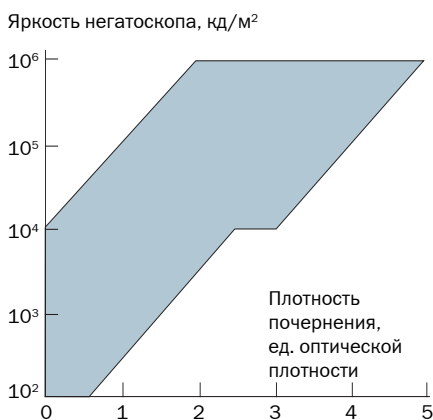


Рис. 1. Требования к яркости негатоскопов в ОСТ 108.004.110-87

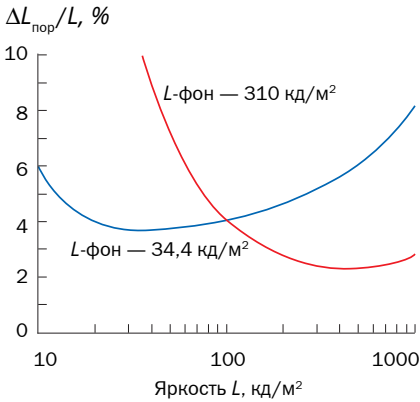


Рис. 2. Пороговый контраст при различной освещенности фона

Известно, что в соответствии с законом Вебера-Фехнера (рис. 2) пороговый контраст (минимальный контраст, воспринимаемый глазом) $\Delta L_{\text{пор}}/L$ зависит от яркости фона, причем наиболее высокая чувствительность (минимальный пороговый контраст) достигается при яркости искомого объекта, близкой к яркости фона. Из анализа графиков можно видеть, что при яркости фона, равной 310 кд/м² (красная кривая), минимальный пороговый контраст составляет

величину $\approx 2,2\%$, при 34 кд/м² (синяя кривая) — будет хуже: $\approx 3,8\%$. Скорее всего, именно этим объясняется требование ГОСТ 7512-82 иметь яркость за просвечиваемым снимком не менее 100 кд/м²: в этом случае при правильно выбранной яркости фона минимальный пороговый контраст будет $\approx 2\%$.

Таким образом, исходя из требования ГОСТ 7512-82 (пункт 6.1), верхнюю границу плотности снимка задают возможности негатоскопов, доступных в настоящее время. Дело в том, что говорить об изображениях дефектов можно только тогда, когда снимок допущен к расшифровке. Если же негатоскоп не способен обеспечить требуемую яркость, то пленку на нем формально нельзя анализировать и расшифровывать.

В табл. 1 приведены параметры негатоскопов, предлагаемых на российском рынке, и верхние границы плотностей снимков, которые с их помощью можно контролировать в соответствии с ГОСТ. В этой же таблице для сравнения приведены данные, соответствующие зарубежным стандартам. В них требования к яркости изображения просвечиваемого снимка менее жесткие, чем в ГОСТ 7512-82. Однако и в этом случае заметная часть негатоскопов не может быть использована для просвечивания снимков с плотностью 4,0 и выше.

Таким образом, в соответствии с российским стандартом, ни один из предлагаемых на рынке негатоскопов не может быть использован для просвечивания снимков с плотностью выше 3,7. Такие плотные снимки не могут быть допущены к расшифровке. Они признаются негодными,

Табл. 1. Современные негатоскопы, представленные на российском рынке

Марка негатоскопа	Максимальная яркость, 10^3 кд/м ²	Максимальная плотность просвечиваемого снимка согласно стандартам		
		ГОСТ 7512-82	EN 25580	ASTME 1390-90
X-LUM	17	2,2	3,2	3,2
НГС-1к	30	2,5	3,5	3,5
RB3	40	2,6	3,6	3,6
HC 85 × 400	40	2,6	3,6	3,6
RB2	43	2,6	3,6	3,6
RB0	55	2,7	3,7	3,7
H-300	70	2,8	3,8	3,8
H-300 LUX	100	3,0	4,0	4,0
НГС-1	120	3,1	4,1	4,1
KOWOLUX X3	155	3,2	4,2	4,2
БИЯ-5	200	3,3	4,3	4,3
RB11	260	3,4	4,4	4,4
Wilnosol HI "Super"	470	3,7	4,7	4,7

Примечание: таблица составлена по просьбе авторов заместителем технического директора ООО «Ньюком-НДТ» Г. А. Мелькановичем.

и должен производиться повторный контроль, на основании которого и принимается решение о годности объекта.

Очевидно, что нет смысла оцифровывать первый — плотный — снимок и создавать его цифровую копию. Надо отметить, что оцифровщик при этом потенциально способен качественно отобразить все детали снимка.

Исходя из собственного практического опыта, можем утверждать, что в России редко оперируют со снимками, плотность которых превышает 3.

Тем не менее, в ряде руководящих документов, действующих в России в настоящее время, явно прослеживается тенденция к применению более плотных снимков. Приведем выдержки из двух РД «Газпрома». В СТО Газпром 2–2.4-083-2006 записано: «... *оптическая плотность самого светлого участка сварного шва должна быть не менее 1,5 е.о.п.*» (с. 75). В инструкции по сварке магистрального газопровода Бованенково-Ухта с рабочим давлением до 11,8 МПа регламентируется следующая нижняя граница оптических плотностей: «*Величина оптической плотности*

Табл. 2. Минимальные требования принадлежности оцифровщика к определенному классу согласно стандарту ISO 14096

Параметр	Класс DS	Класс DB	Класс DA
Диапазон плотностей (D_R), е.о.п.	0,5 ÷ 4,5	0,5 ÷ 4,0	0,5 ÷ 3,5
Разрядность оцифровки	> 12	> 10	> 10
Контрастная чувствительность по плотности ΔD_{CS} в пределах D_R	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$

самого светлого участка снимка должна быть не менее 2,3 и не более 6,0 е.о.п. для уровня качества «В» и не менее 2,0 и не более 6,0 е.о.п. для уровня качества «А» (п.п. 5.6.2.7, с. 54). Это означает, что в ближайшем будущем доля плотных снимков (выше 3) может возрасти.

Теперь обратимся к требованиям стандарта ISO 14096, касающимся диапазона оптических плотностей снимков, обрабатываемых оцифровщиками (эти требования приведены в табл. 2). Стандартом определены три класса оцифровщиков: DA, DB, DS, при этом сказано, что для сохранения цифровой копии с уничтожением оригинального снимка подходят только оцифровщики, соответствующие высшему классу DS, т. е. способные оцифровывать очень плотные снимки с плотностью 4,5.

Из проведенного анализа следует, что для оцифровки снимков, используемых в настоящее время в России, в большинстве случаев достаточно сканеров, удовлетворяющих классу DA, в редких случаях — классу DB. Класс DS может быть востребован, если только принять требования к интенсивности света за просвечиваемым снимком, рекомендуемые не ГОСТ 7512-82, а западными стандартами.

При разработке российских стандартов на оцифровку снимков для последующего хранения цифрового изображения с уничтожением оригинала считаем правильным пересмотреть ряд положений ISO 14096. Необходимо разрешить оцифровку снимков на оборудовании, соответствующем классам DA и DB по контрастной чувствительности по плотности и с разрядностью оцифровки не меньше 12 бит, если плотность снимков не превышает 3,5 или 4 соответственно. В этом случае оцифровщик физически не может ухудшить качество снимков.

Контрастная чувствительность по оптической плотности

Как видно из табл. 2, оцифровщики, соответствующие классам DA, DB и DS, должны иметь приведенную контрастную чувствительность ΔD_{CS}

не более 0,02. По определению, данному в стандарте ISO 14096 (п. 3.14), контрастная чувствительность по плотности есть наименьшее изменение плотности снимка, разрешаемое дигитайзером, которое определяется, главным образом, шумом дигитайзера.

В соответствии со стандартом ISO 14096 (п. 4.1.5):

«В основе оценки контрастной чувствительности по плотности ΔD_{CS} лежит вычисление стандартного отклонения σ_D соседних пикселей в области пленки с постоянной оптической плотностью. Такое вычисление должно производиться на оцифрованных значениях калиброванной оптической плотности пленки $D(gI)$. Для удобства во всех следующих случаях рассматривается окрестность из 225 пикселей. Стандартное отклонение σ_D калиброванной плотности $D(gI)$ рассчитывается для этих 225 значений на заданной ступени плотности по формуле

$$\sigma_D = \frac{1}{224} \sqrt{\sum_{n=1}^{225} \left[D(gI_n) - \frac{1}{225} \sum_{m=1}^{225} D(gI_m) \right]^2}$$

Значение σ_D представляет собственный шум дигитайзера при рассматриваемом значении оптической плотности. Следовательно, контрастную чувствительность по плотности (приведенную к размеру пикселя 88,6 мкм, P — фактический размер пикселя дигитайзера) можно вычислить по формуле: $\Delta D_{CS} = 2\sigma_D (P/88,6 \text{ мкм})$.

Для сравнения контрастной чувствительности по плотности у дигитайзеров с разным размером пикселя значение ΔD_{CS} относится к квадратному пикселю размером 88,6 мкм. Этому соответствует диаметр апертуры 100 мкм микроденситометра, используемого для измерения гранулярности пленки по стандарту EN 584-1».

Таким образом, предполагается, что для оцифровщиков, соответствующих классам DA, DB и DS, собственный шум дигитайзера по плотности σ_D , приведенный к апертуре 100 мкм, не должен превышать величины 0,01.

Однако качество полученного при оцифровке изображения определяется не только шумом дигитайзера, но и гранулярностью пленки или соответствующим каждому типу пленки шумом σ_{FILM} , который, как правило, определяется при плотности снимка $D = 2$.

В табл. 3 приведены параметры широко распространенных пленок Agfa NDT. Видно, что для пленок типов от D2 до D8 параметр σ_{FILM} меняется от 0,014 до 0,035.

Известно, что суммарная погрешность $\sigma_{D\Sigma}$ определяется как:

$$\sigma_{D\Sigma}^2 = \sigma_{\text{DIGITIZER}}^2 + \sigma_{\text{FILM}}^2$$

Флуктуацию оптической плотности пленки вызывают два основных фактора:

- разброс размеров проявленных зерен и равномерность их распределения в эмульсии (определяется свойствами пленки);
- флуктуации числа квантов, поглощенных в пленке.

Исходя из определения оптической плотности, закона Нуттинга и полагая, что каждый поглощенный квант дает, по крайней мере, одно активированное зерно, нами было получено соотношение² для флуктуации плотности σ_{FILM} :

$$\sigma_{\text{FILM}} = OD \cdot \sqrt{\frac{1}{N_\gamma} + \left(1 + \frac{1}{N_\gamma}\right) \cdot \delta_{Sg}^2}$$

где OD — величина оптической плотности; N_γ — число поглощенных квантов; δ_{Sg}^2 — стандартное отклонение относительной флуктуации размера зерна пленки.

Значение константы δ_{Sg}^2 неизвестно, однако его можно вычислить, если знать все остальные величины в данной формуле. Флуктуации плотности σ_{FILM} известны для пленок AGFA NDT при плотности потемнения 2, величина N_γ была вычислена нами с помощью компьютерного моделирования.

Для этих целей мы использовали компьютерную программу «МСС 3D» [6]. В этой программе была создана точная модель рентгеновской пленки и произведено моделирование взаимодействия гамма-квантов с зернами чувствительного слоя пленки. В результате были получены кривые собственного стандартного отклонения оптической плотности пленок в зависимости от величины оптической плотности.

На рис. 3 представлены зависимости σ_{FILM} для двух пленок типов D2 и D7 и σ_D дигитайзера Vidar NDT PRO в режиме 570 dpi. Эти величины приведены к апертуре 100 мкм.

Флуктуации плотности пленки σ_{FILM} как видно из этого рисунка, меняются с изменением ее оптической плотности.

Также видно, что возможность использования дигитайзера Vidar NDT PRO для оцифровки снимков с минимальным искажением зависит от

² Вывод данного соотношения достаточно громоздкий, мы не будем утомлять им читателя (прим. авторов).

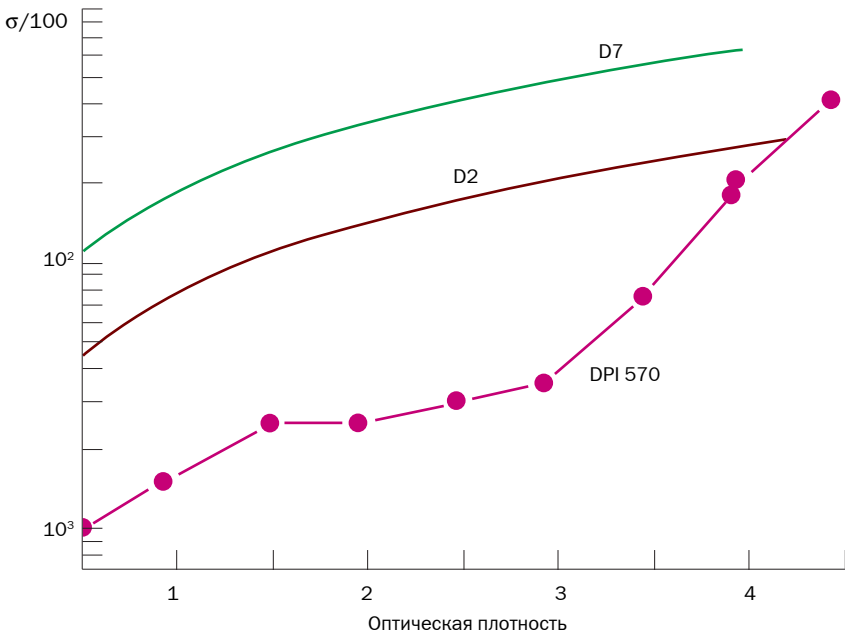


Рис. 3. Зависимость флуктуации плотности, приведенной к апертуре 100 мкм, для пленок Agfa NDT D2, Agfa NDT D7 и дигитайзера Vidar NDT Pro от плотности пленки

типа пленки и плотности снимка. Так для пленки AGFA NDT D7 этот дигитайзер может быть использован до плотности снимков $\approx 4,5$, а для пленки AGFA NDT D2 — только до плотности $\approx 4,1$.

При адаптации зарубежных стандартов к российским условиям будет логично расширить диапазон возможных значений величин приведенной контрастной чувствительности ΔD_{cs} в зависимости от типа используемой пленки и плотности снимков.

Пространственное разрешение

Вторым важнейшим параметром оцифровщика является его пространственное разрешение. Пространственное разрешение соответствует наименьшему геометрическому размеру объекта, который может быть различим после оцифровки дигитайзером.

Рентгеновская пленка превосходит все цифровые детекторы по пространственному разрешению. При размере зерна менее 1 мкм плёнка может без проблем гарантировать разрешение порядка 10 мкм.

Табл. 4. Чувствительность контроля для различных толщин образцов и классов чувствительности

Радиационная толщина (в месте установки эталона чувствительности), мм	Класс чувствительности, мм		
	1	2	3
До 5	0,10	0,10	0,20
Свыше 5 до 9 включительно	0,20	0,20	0,30
9 ÷ 12	0,20	0,30	0,40
12 ÷ 20	0,30	0,40	0,50
20 ÷ 30	0,40	0,50	0,60
30 ÷ 40	0,50	0,60	0,75
40 ÷ 50	0,60	0,75	1,00
50 ÷ 70	0,75	1,00	1,25
70 ÷ 100	1,00	1,25	1,50
100 ÷ 140	1,25	1,50	2,00
140 ÷ 200	1,50	2,00	2,50
200 ÷ 300	2,00	2,50	–
300 ÷ 400	2,50	–	–

Оценим величину пространственного разрешения, которое необходимо для оцифровки снимков, полученных в соответствии с ГОСТ 7512. В разделе 6.3 задаются значения чувствительности контроля для различных толщин образцов. Чувствительность контроля не должна превышать значений, приведенных в табл. 4.

Также в ГОСТ 7512 вводятся ограничения на величину геометрической нерезкости. Эта величина связывается с чувствительностью контроля: «...геометрическая нерезкость изображений дефектов на снимках при расположении пленки вплотную к контролируемому сварному соединению не должна превышать половины требуемой чувствительности контроля при чувствительности до 2 мм и 1 мм — при чувствительности более 2 мм».

По сути именно здесь заложен критерий для определения минимального пространственного разрешения. Оцифровщик должен иметь пространственное разрешение выше, чем допустимая по стандарту нерезкость изображения объекта на снимке. В этом случае значимая информация о деталях снимка не теряется.

Отсюда следует вывод, что требование к пространственному разрешению оцифровщика должно определяться допустимой нерезкостью или радиационной толщиной контролируемого объекта и требуемым классом чувствительности контроля.

В частности, для пленки, на которую был снят образец с радиационной толщиной меньше 5 мм, контролируемый по первому классу, необходим оцифровщик с разрешением меньше 50 мкм. В то же время для образца с толщиной от 20 до 30 мм подойдет оцифровщик с разрешением меньше 200 мкм.

Отметим также, что, исходя из ГОСТ 7512–82, энергия квантов, которыми была экспонирована пленка, лишь косвенно является критерием для ограничения по нерезкости (изделия с большей радиационной толщиной просвечиваются при большем анодном напряжении).

Требования ГОСТ 7512 к чувствительности подразумевают, что нужно различать конкретную металлическую проволочку на основном материале металла с аналогичными параметрами. В настоящее время рентгеновский контроль применяется во многих новых областях, в частности, при контроле печатных плат. Там необходимо видеть тончайшие полоски металла на фоне неметаллической подложки с заметно меньшей поглощающей способностью к излучению. В этом случае требования к пространственному разрешению и чувствительности контроля становятся заметно строже. Такие же строгие требования в этом случае нужно применять и к оцифровщикам снимков.

Сравним теперь изложенные положения с требованиями стандарта ISO 14096, касающимися пространственного разрешения оцифровщика. Требования к значениям пространственного разрешения при различных энергиях квантов ионизирующего излучения, используемых при контроле образцов, представлены в табл. 5 [4, с. 8].

Как видим, данный стандарт ставит зависимость пространственного разрешения от энергии излучения, но не от радиационной толщины

Табл. 5. Минимальные требования принадлежности оцифровщика к определенному классу согласно стандарту ISO 14096 — пространственное разрешение систем оцифровки снимков

	Класс DS		Класс DB		Класс DA	
	Размер пикселя, мкм	MTF 20%, пар линий/мм	Размер пикселя, мкм	MTF 20%, пар линий/мм	Размер пикселя, мкм	MTF 20%, пар линий/мм
< 100	15	16,7	50	5	70	3,6
> 100 ÷ 200	30	8,3	70	3,6	85	3
> 200 ÷ 450, ⁷⁵ Se, ¹⁶⁹ Yb	60	4,2	85	3	100	2,5
¹⁹² Ir	100	2,5	125	2	150	1,7
⁶⁰ Co, > 1 МэВ	200	1,25	250	1	250	1

контролируемого объекта. Величина пространственного разрешения не зависит от требуемого качества контроля, а значит, всегда подразумевается его наивысшее качество.

Отметим, что в таблице указан как размер пикселя оцифровщика, так и пространственное разрешение, задаваемое числом пар линий на миллиметр. Максимально достижимое разрешение цифрового изображения определяется размером пикселя. Однако реальное пространственное разрешение может быть хуже. Именно поэтому в таблице приведено значение пространственного разрешения в единицах пар линий/мм.

При контроле стального изделия с толщиной от 9 до 12 мм рабочее напряжение на трубке должно быть ≈ 140 кВ. Если руководствоваться ISO 14096, оцифровщик класса DS должен иметь размер пикселя не больше 30 мкм и пространственное разрешение не хуже 8,3 пар линий/мм. Это означает, что размер минимально различимого объекта составляет около 60 мкм. Для обеспечения 1-го класса чувствительности по ГОСТ 7512 при такой толщине необходимо видеть проволочку диаметром 200 мкм, а значит, геометрическая нерезкость в соответствии с ГОСТ должна быть меньше 100 мкм. Налицо избыточность требований стандарта ISO 14096.

При контроле стального изделия с толщиной от 40 до 50 мм рабочее напряжение на трубке должно быть $\approx 240 \div 280$ кВ. И тогда в соответствии со стандартом ISO 14096 оцифровщик класса DS должен обеспечить размер пикселя не больше 60 мкм и разрешение не хуже 4,2 пар линий/мм. Соответственно, минимально различимый объект должен иметь размер 119 мкм. При этом для обеспечения 1-го класса чувствительности по ГОСТ 7512 при такой толщине необходимо видеть проволочку диаметром 600 мкм, а значит, геометрическая нерезкость в соответствии с ГОСТ должна быть меньше 300 мкм.

Выводы

1. Несмотря на то, что ГОСТ 7512–82 предъявляет более жесткую норму по яркости негатоскопа по сравнению с западными стандартами, его требования являются обязательными для рентгеновского метода контроля в России.

2. В России отсутствует стандарт по оцифровке рентгеновских снимков. Его создание и внедрение видится весьма актуальной задачей. При этом необходимо учитывать как отечественные стандарты, так и международный опыт.

3. Международный стандарт ISO 14096 является воплощением многолетнего опыта работы группы разработчиков, однако ряд его требований выглядят нелогичными и завышенными. В частности, как показано в статье, возможность применения дигитайзера для оцифровки снимков с минимальным искажением зависит от типа пленки и плотности снимка. В связи с этим, величина допустимой контрастной чувствительности по оптической плотности не должна быть константой для всех типов пленок и плотностей снимков, а должна задаваться набором кривых, зависящих от плотности снимка, для каждого типа пленки.

Требования стандарта ISO 14096 по пространственному разрешению представляются несколько завышенными по отношению к российским требованиям к нерезкости, следующим из ГОСТ 7512–82. Более того, в данный момент на рынке вообще нет ни одного оцифровщика, который удовлетворял бы требованиям класса DS по разрешению для энергий квантов меньше 200 кэВ и при этом мог бы оцифровывать пленку за разумное время. В связи с этим требования к пространственному разрешению не должны быть столь жесткими, а должны определяться радиационной толщиной и классом чувствительности контроля.

4. Таким образом, считаем правильным не переносить дословно требования ISO 14096 в российские нормативные акты. Российские стандарты на оцифровку рентгеновских пленок должны быть адаптированы к существующим в нашей стране реалиям и учитывать сложившуюся у нас практику рентгеновского контроля изделий.

Литература

1. Багаев К. А., Варламов А. Н. Применение компьютерной радиологии на основе запоминающих пластин для контроля сварных соединений нефте- и газопроводов. — Экспозиция. Нефть. Газ. 2012. № 2 (20). С. 69–71.
2. Багаев К. А., Улудинцева А. И. Системы оцифровки рентгеновских пленок при радиографическом контроле промышленных объектов. — Экспозиция. Нефть. Газ. 2013. № 1 (26). С. 54–56.
3. ISO-14096-1. Non-destructive testing — Qualification of radiographic film digitization systems — Part1: Definitions, quantitative measure — reference film and qualitative control. 2005-06-15.
4. ISO-14096-2. Non-destructive testing — Qualification of radiographic film digitization systems — Part2: Minimum requirements. 2005-06-15.
5. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. — М.: Изд-во стандартов, 1982.
6. Багаев К. А., Козловский С. С., Новиков И. Э. Программа для имитационного трехмерного моделирования систем детектирования и регистрации ионизирующего излу-

чения на базе развитого графического интерфейса. — Аппаратура и новости радиационных измерений. 2007. № 4. С. 35–40.

7. ОСТ 108.004.110–87. Соединения сварные оборудования атомных электростанций. Радиографический контроль.

8. ПК 1514–72. Правила контроля сварных соединений и наплавов узлов и конструкций атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок. — М.: Металлургия, 1975.