

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
ISO 17636-2 –
20

**Контроль сварных швов неразрушающий.
Радиографический контроль. Часть 2.
Рентген и гаммография с цифровыми детекторами**

ISO 17636-2:2013

Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 2:

X- and gamma-ray techniques with digital detectors

(IDT)

Проект, первая редакция

Москва

Стандартинформ

20__

Предисловие

Цели и принципы, основной порядок работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 – 92 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 – 2009 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Техническим комитетом по стандартизации ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны», Негосударственным образовательным учреждением дополнительного профессионального образования «Научно-учебный центр «Контроль и диагностика» («НУЦ «Контроль и диагностика») и Открытым акционерным обществом «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 357 «Стальные и чугунные трубы и баллоны»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № _____ от «___» _____ 20__ г.)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004 – 97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004 – 97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Российская Федерация	RU	Росстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «___» _____ 20__ г. № _____ межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 17636-2 – 20__ введен в действие с «___» _____ 20__ г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 17636-2:2013 «Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors» (Контроль сварных швов неразрушающий. Ра-

диографический контроль. Часть 2. Методы рентгеновского и гамма-излучения с цифровыми детекторами).

Международный стандарт разработан Европейским комитетом по стандартизации техническим комитетом по стандартизации CEN в содействии с техническим комитетом по стандартизации ISO/TC 44 «Сварка и родственные процессы», подкомитет SC5 «Контроль и исследование сварных швов» Международной организации по стандартизации (ISO) в соответствии с Соглашением о техническом сотрудничестве между ISO и CEN (Венское Соглашение).

Перевод с английского языка (en).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта в связи с особенностями построения межгосударственной системы стандартизации.

Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам приведены в дополнительном приложении Д.А.

Степень соответствия – идентичная (IDT).

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

©Стандартинформ, 201_

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

Введение.....	
1 Область применения.....	
2 Нормативные ссылки	
3 Термины и определения.....	
4 Обозначения и сокращения.....	
5 Классификация способов радиографического контроля и принципы компенсации...	
5.1 Классификация.....	
5.2 Принципы компенсации СРІ, СРІІ и СРІІІ.....	
6. Основные подготовительные операции и требования.....	
6.1 Защита от ионизирующего излучения.....	
6.2 Подготовка поверхности и стадия производства	
6.3 Расположение шва на радиограмме.....	
6.4 Идентификация радиограмм.....	
6.5 Маркировка.....	
6.6 Перекрытие цифровых изображений.....	
6.7 Типы и положения индикаторов качества изображения.....	
6.8 Минимальные значения качества изображения.....	
6.9 Квалификация персонала.....	
7 Рекомендуемые способы получения радиограмм.....	
7.1 Схемы контроля.....	
7.2 Выбор рабочего напряжения и источника радиационного излучения.....	
7.3 Детекторные системы и металлические экраны	
7.4 Направление пучка излучения.....	
7.5 Уменьшение рассеянного излучения	
7.6 Расстояние от источника излучения до объекта контроля.....	
7.7 Способ геометрического увеличения.....	
7.7 Максимальная область при однократной экспозиции.....	
7.9 Технологический процесс.....	
7.10 Условия просмотра и хранения цифровых рентгенограмм.....	

8	Протокол контроля.....
	Приложение А (обязательное) Рекомендуемое число экспозиций, обеспечивающее приемлемое качество контроля кольцевых стыковых сварных швов.....
	Приложение В (обязательное) Минимальные значения качества изображения.....
	Приложение С (обязательное) Определение базового пространственного разрешения
	Приложение D (обязательное) Определение минимального значения серого для CR системы.....
	Приложение E (справочное) Значения серого. Основные примечания.....
	Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии межгосударственных стандартов ссылочным международным стандартам
	Библиография.....

Введение

Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 17636-2, который был подготовлен Европейским комитетом по стандартизации (CEN) в содействии с Техническим комитетом ISO/TC 44 «Сварка и родственные процессы», подкомитетом SC 5 «Контроль и исследование сварных швов», в соответствии с Соглашением о техническом сотрудничестве между ISO и CEN (Венское Соглашение).

Международный стандарт ISO 17636 состоит из следующих частей, объединенных общим названием «Неразрушающий контроль сварных швов – Радиографический контроль»:

- Часть 1: Методики рентгено- и гаммаграфирования с применением пленки;
- Часть 2: Методики рентгено- и гаммаграфирования с применением цифровых детекторов.

Основными изменениями стали следующие:

- были обновлены нормативные ссылки;
- документ был разделен на две части – международный стандарт ISO 17636-2 относится к радиографическому контролю с применением цифровых детекторов;
- были включены источники рентгеновского излучения с напряжением до 1000 КВ;
- включено обязательное приложение С об определении базового пространственного разрешения;
- включено обязательное приложение D об определении минимального значения по шкале серых тонов для практического применения компьютерной радиографии;
- включено справочное приложение E с общими замечаниями по шкале серых тонов;
- текст был подвергнут редакторскому пересмотру.

Контроль сварных швов неразрушающий.

Радиографический контроль. Часть 2.

Рентген и гаммография с цифровыми детекторами

Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 2.

X- and gamma-ray techniques with digital detectors

Дата введения –

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает основные способы радиографического контроля с целью создания условий для экономичного получения надежных и воспроизводимых результатов. Способы контроля основаны на общепризнанных практиках и фундаментальной теории.

Настоящий стандарт применяется для радиографического контроля сварных соединений металлических материалов, выполненных сваркой плавлением, а именно для контроля сварных соединений в листовом прокате и трубах. Под трубой в настоящем стандарте понимают любые цилиндрические полые тела, такие как корпуса котлов, сосуды под давлением, напорные трубопроводы и т.п.

Примечание – Настоящий стандарт соответствует [6].

Настоящий стандарт определяет требования к цифровому радиографическому контролю сварных соединений рулонного и листового проката и труб для обнаружения дефектов компьютерной радиографией (CR), либо радиографии с применением цифровых детекторных матриц (DDA) с использованием рентгеновского и гамма-излучения.

Цифровые детекторы обеспечивают цифровое изображение со значением серого (GV), которое можно расшифровать и оценить с помощью компьютера. Настоящий стандарт определяет рекомендуемый порядок выбора детектора и процедуру радиографического контроля. Выбор компьютера, программное обеспечение, монитор, принтер и условия просмотр важны, но не являются основным направлением

настоящего стандарта. В настоящем стандарте установлены минимальные требования к радиографическому контролю, позволяющие получать цифровое радиографическое изображение с чувствительностью к несовершенствам эквивалентной установленной в ISO 17636-1 для пленочной радиографии.

В настоящем стандарте не установлены уровни приемки для любых индикаций, обнаруженных на радиограмме.

Если по согласованию между изготовителем и заказчиком могут быть применены более низкие критерии контроля, то возможно, что полученное качество будет существенно ниже, чем в случае строгого применения требований настоящего стандарта.

2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные документы. Для датированных ссылок используют только указанное издание документа, для недатированных ссылок – последнее издание ссылочного документа, включая все его изменения:

ISO 5576 Неразрушающий контроль – Промышленная рентгенолучевая и гамма-лучевая радиология – Словарь (Non-destructive testing - Industrial X-ray and gamma-ray radiology – Vocabulary)

ISO 9712 Неразрушающий контроль. Квалификация и аттестация персонала (Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel)

ISO 16371-1:2011 Неразрушающий контроль. Промышленная компьютерная радиография с фосфорными пластинами для хранения изображения. Часть 1. Классификация систем (Non-destructive testing - Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates - Part 1: Classification of systems)

ISO 19232-1 Неразрушающий контроль – Качество изображения на рентгеновских снимках – Часть 1: Индикаторы качества изображения (проволочный тип) – Определение значения качества изображения (Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 1: Image quality indicators (wire type) – Determination of image quality value)

ISO 19232-2 Неразрушающий контроль – Качество изображения на рентгеновских снимках – Часть 2: Индикаторы качества изображения (ступенчатого/канального типа) – Определение значения качества изображения (Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 2: Image quality indicators (step/hole type) – Determination of image quality value)

ISO 19232-4 Неразрушающий контроль – Качество изображения на рентгеновских снимках – Часть 4: Экспериментальная оценка значений качества изображения и таблицы качества изображения (Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 4: Experimental evaluation of image quality values and image quality tables)

ISO 19232-5 Неразрушающий контроль – Качество изображения на рентгеновских снимках – Часть 5: Индикаторы качества изображения (типа двойной проволоки) - Определение значения нерезкости изображения (Non-destructive testing - Image quality of radiographs - Part 5: Image quality indicators (duplex wire type) - Determination of image unsharpness value)

EN 12543 (все части) Неразрушающий контроль – Характеристика фокусных пятен в промышленных рентгеновских установках для неразрушающего контроля (Non-destructive testing – Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing)

EN 12679 Неразрушающий контроль – Определение размеров промышленных радиографических источников – Радиографический метод (Non-destructive testing – Determination of the size of industrial radiographic sources – Radiographic method)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины и определения по ISO 5576, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 компьютерная радиография (computed radiography), CR, система с запоминающей фосфорной пластиной: Полноценная система, включающая в себя запоминающую фосфорную пластину (IP) и соответствующее устройство считывания (сканер или считыватель), которое преобразует информацию с IP в цифровое изображение.

3.2 запоминающая фосфорная пластина (imaging plate), IP: Фотостимулирующий люминесцентный материал, способный хранить скрытое радиографическое изображение объекта контроля и под воздействием источника света длиной волны соответствующей красному, генерирует люминесценцию (свечение) пропорциональному радиационному облучению.

Примечание – В случае компьютерной радиографии, IP используется вместо пленки. При определении способов, связанных с размером источника или геометрии фокуса, IP называется детектором, т.е. SDD - расстояние от источника до детектора.

3.3 система матрицы цифровых детекторов (digital detector array system), DDA-система: Электронное устройство, преобразующее ионизирующее или проникающее излучение в массив отдельных аналоговых сигналов, которые позднее оцифровываются и передаются на компьютер для отображения как цифрового изображения, соответствующего распределению радиационной энергии, переданной на приемную поверхность устройства.

3.4 структурный (собственный) шум запоминающей пластины, IP структурный шум: Структура, обусловленная неоднородностью в чувствительном слое (зернистостью) и поверхностью запоминающей пластины/

Примечание 1 – После сканирования экспонированной пластины неоднородности появляются как накладывающийся постоянный шум на цифровом изображении.

Примечание 2 – Этот шум ограничивает максимальное достижимое качество изображения цифровых изображений, полученных при CR радиографии, и его можно сравнить с зернистостью пленочных изображений.

3.5 структурный (собственный) шум матрицы цифровых детекторов, DDA – структурный шум: Структура, обусловленная различными свойствами элементов детектора (пикселей).

Примечание – После считывания экспонированной ненастроенной DDA, неоднородности проявляются как накладывающиеся постоянный шум на цифровом изображении. Поэтому, все DDA требуют программного обеспечения обработки считанного изображения, основанной на настройке (программное обеспечение и руководства поставляются изготовителем DDA). Соответствующая процедура настройки снижает структурный шум.

3.6 значение серого (grey value), GV: Числовое значение пикселя на цифровом изображении.

Примечание – Это, как правило, равнозначно терминам: значение пикселя, отклик детектора, отношение «аналоговый сигнал к цифре» и сигнал детектора.

3.7 линеаризованное значение серого, GV_{lin} : Численное значение пикселя, которое прямо пропорционально дозе экспозиции детектора, принимающее значение ноль, если детектор не экспонировался.

Примечание – Это, как правило, равнозначно терминам: линеаризованное значение пикселя и линеализованный сигнал детектора.

3.8 базовое пространственное разрешение цифрового детектора (basic spatial resolution), $SR_b^{detector}$: Соответствует половине измеренной на детекторе нерезкости цифрового изображения, и соответствует эффективному размеру пикселя и наименьшему размеру детали индикации, которая может быть распознана с использованием цифрового детектора при коэффициенте увеличения равном единице.

Примечание 1 – Для этого измерения двупроволочный IQI располагается непосредственно на цифровом детекторе или запоминающей пластине.

Примечание 2 – Процедура измерения нерезкости описана в ISO 19232-5, а так же в [13] и [8].

3.9 базовое пространственное разрешение цифрового изображения, SR_b^{image} : Соответствует половине измеренной нерезкости цифрового изображения, и соответствует эффективному размеру пикселя и наименьшему размеру детали индикации, которая может быть распознана на цифровом изображении.

Примечание 1 – Для этого измерения двупроволочный IQI располагается непосредственно на объекте контроля со стороны источника.

Примечание 2 – Процедура измерения нерезкости описана в ISO 19232-5, а так же в [13] и [8].

3.10 отношение сигнал-шум (signal-to-noise ratio), SNR: Отношение среднего значения линеаризованных значений серого к стандартному отклонению линеаризованных значений серого (шум) в интересующей области цифрового изображения.

3.11 нормализованное отношение сигнал-шум (normalized signal-to-noise ratio), SNR_N : Отношение сигнал-шум (SNR), нормализованное базовым

пространственным разрешением (SR_b), как измерено непосредственно на цифровом изображении и/или вычисленное с использованием измеренного SNR (SNR_{measured}) по формуле:

$$SNR_N = SNR_{\text{measured}} \frac{88,6 \text{ мкм}}{SR_b}$$

3.12 отношение контраст-шум (contrast-to-noise ratio), CNR: Отношение разницы средних уровней сигналов между двумя областями изображения к усредненному пространственному отклонению уровней сигналов.

Примечание – Отношение шум-контраст описывает компонент качества изображения и частично зависит от радиографического коэффициента ослабления и SNR. Для цифровой радиографии помимо соответствующего CNR также необходимо иметь соответствующую нерезкость или базовое пространственное разрешение, чтобы решить нужные функции, представляющие интерес.

3.13 нормализованное отношение контраст-шум (normalized contrast-to-noise ratio), CNR_N : Отношение сигнал-шум (CNR), нормализованное базовым пространственным разрешением (SR_b), как измерено непосредственно на цифровом изображении и/или вычисленное с использованием измеренного CNR по формуле:

$$CNR_N = CNR \frac{88,6 \text{ мкм}}{SR_b}$$

3.14 ступенчатость (aliasing): Артефакты, которые появляются на изображении, когда входная пространственная частота выше, чем способная воспроизводиться на выходе.

Примечание – Ступенчатость часто появляется как зубчатые или ступенчатые профили линий или как муаровые полосы.

3.15 скопление пикселей (cluster kernel pixel), СКР: Дефектный пиксель, не имеющий пять или более соседних корректно функционирующих пикселей.

Примечание – Подробнее о дефектных пикселях и СКР см. [11].

3.16 номинальная толщина (nominal thickness), t : Номинальная толщина основного металла без учета допусков на изготовление.

3.17 изменение просвечиваемой толщины (penetration thickness change), Δt : Изменение толщины, вызванное углом падения луча, по отношению к номинальной толщине.

3.18 просвечиваемая толщина (penetrated thickness), w : Толщина материала в направлении пучка радиационного излучения, вычисляемая на основе номинальной толщины всех просвечиваемых стенок и измеренная вдоль центральной оси пучка радиационного излучения.

3.19 расстояние от объекта контроля до детектора (object-to-detector distance), b : Наибольшее расстояние между поверхностью со стороны источника объекта контроля и чувствительной поверхностью детектора вдоль центральной оси пучка излучения.

3.20 размер источника (source size), d : Размер активной части источника радиационного излучения или размер фокусного пятна.

Примечание – См. EN 12679 или EN 12543.

3.21 расстояние от источника излучения до детектора (source-to-detector distance), FDA/ SDD: Расстояние между источником излучения и детектором, измеренное по направлению луча.

Примечание – $SDD = f + b$,

где f – расстояние от источника излучения до объекта контроля;

b – расстояние от объекта контроля до детектора.

3.22 расстояние от источника излучения до объекта контроля (source-to-object distance), f : Расстояние между источником излучения и стороной объекта контроля, обращенной к источнику (дальняя сторона от детектора), измеренное вдоль центральной оси пучка радиационного излучения.

3.23 наружный диаметр (external diameter), D_e : Номинальный наружный диаметр трубы.

3.24 геометрическое увеличение, v : Отношение расстояния от источника излучения до детектора (FDA) к расстоянию от источника излучения до объекта (f).

4 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют обозначения и сокращения, приведенные в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Обозначения, сокращения и их значения

Обозначение или сокращение	Значение
b	расстояние от объекта контроля до детектора
b'	расстояние от объекта контроля до детектора, измеренное перпендикулярно объекту контроля
d	размер источника, фокусного пятна
D_e	наружный диаметр
f	расстояние от источника излучения до объекта контроля
f'	расстояние от источника излучения до объекта контроля, измеренное перпендикулярно объекту контроля
SNR	отношение сигнал - шум
SNR_N	нормализованное отношение сигнал - шум
t	номинальная толщина
Δt	изменение просвечиваемой толщины
u_G	геометрическая нерезкость
u_i	нерезкость, присущая детекторной системе, за исключением любой геометрической нерезкости, измеренная от цифрового изображения с IQI двухпроводочного типа, примыкающего к детектору
u_{im}	требуемая нерезкость изображения, измеренная на цифровом изображении плоскости объекта с IQI двухпроводочного типа
u_T	суммарная нерезкость изображения, включая геометрическую нерезкость, измеренная на цифровом изображении в плоскости детектора с IQI двухпроводочного типа на плоскости объекта.
v	геометрическое увеличение
w	радиационная толщина
СКР	скопление пикселей
CNR	отношение контраст - шум
CNR_N	нормализованное отношение контраст - шум
CR	компьютерная радиография
D	детектор
DDA	матрица цифровых детекторов
IP	запоминающая фосфорная пластина
IQI	индикатор качества изображения
S	источник излучения
SDD	расстояние от источника до детектора
SR_b	базовое пространственное разрешение, определенное с использованием IQI двухпроводочного типа, прилегающего к детектору
SR_b^{detector}	базовое пространственное разрешение цифрового детектора
SR_b^{image}	базовое пространственное разрешение, полученное с использованием IQI двухпроводочного типа, установленного на объекте контроля со стороны источника

5. Классификация способов радиографического контроля и принципы компенсации

5.1 Классификация

Способы радиографического контроля делят на два класса:

- класс А: основные способы;
- класс В: улучшенные способы.

Способы класса В используют, когда чувствительность радиографического контроля способами класса А недостаточна.

Улучшенные способы, по сравнению с классом В, возможны, и могут быть согласованы между изготовителем и заказчиком путем детализации всех соответствующих параметров контроля.

Выбор способа радиографического контроля должен быть согласован между изготовителем и заказчиком.

Тем не менее, при использовании способов класса А и класса В соответственно видимость дефектов с использованием пленочной радиографии или цифровой радиографии эквивалентна. Видимость должна быть доказана с помощью индикаторов качества изображения (IQI) в соответствии с ISO 19232-1 или ISO 19232-2 и ISO 19232-5.

Если по техническим или производственным причинам невозможно соблюсти одно из условий, указанных для класса В, например тип источника излучения или расстояние от источника излучения до объекта контроля f , то между изготовителем и заказчиком может быть согласовано, что выбранное условие может быть таким, как определено для класса А. Потеря чувствительности должна быть компенсирована увеличением минимального значения серого и SNR_N для CR или SNR_N для DDA-системы (рекомендуется увеличение SNR_N на коэффициент более 1,4). Если соответствующая чувствительность по IQI достигается из-за лучшей чувствительности по сравнению с классом А, испытуемый образец можно рассматривать как проконтролированный по классу В. Указанное условие не применимо, если было специально снижено SDD, как описано в 7.6 для методов испытаний по 7.1.4 и 7.1.5.

5.2 Принципы компенсации СРІ, СРІІ и СРІІІ

5.2.1 Общие положения

В настоящем стандарте применяются три принципа компенсации (5.2.2 – 5.2.4) для достижения требуемой контрастной чувствительности при радиографии с применением цифровых детекторов.

Применение этих принципов требует достижения минимального отношения сигнал – шум (CNR_N), нормализованного к базовому пространственному разрешению детектора, на обнаруживаемом изменении толщины материала Δw . Если требуемое нормализованное отношение контраст – шум (CNR_N на Δw) не может быть достигнуто из-за недостаточного значения одного из текущих параметров, это может быть компенсировано увеличением SNR.

5.2.2 СРІ. Компенсация снижения контраста (например за счет увеличения напряжения на трубке) путем увеличения SNR (например увеличением тока трубки или времени экспозиции).

5.2.3 СРІІ. Компенсация недостаточной четкости детектора (значение SR_b выше, чем специфицировано) путем увеличения SNR (увеличить на одну проволоку или ступень значение IQI на каждое ожидаемое значение пары двухпроводочного IQI).

5.2.4 СРІІІ. Компенсация увеличения местной интерполяционной нерезкости вследствие корректировки плохих пикселей DDA, путем увеличения SNR.

5.2.5 Для малых размеров дефектов (Δw значительно меньше w) эти принципы компенсации основаны на следующей аппроксимации

$$\frac{CNR_N}{\Delta w} = c \frac{\mu_{eff} SNR}{SR_b},$$

где c – константа;

μ_{eff} – эффективный коэффициент затухания, который эквивалентен коэффициенту контрастности конкретного материала;

CNR_N – нормализованное CNR, измеренное на цифровом изображении.

6 Основные подготовительные операции и требования

6.1 Защита от ионизирующего излучения

ВНИМАНИЕ – Облучение любой части тела человека рентгеновским или гамма-излучением может быть чрезвычайно опасным для здоровья. В случае использования рентгеновского оборудования или источников радиоактивного излучения необходимо соблюдать соответствующие требования законодательства.

При использовании ионизирующего излучения необходимо строго соблюдать местные, федеральные или международные правила безопасности.

6.2 Подготовка поверхности и стадия производства

Как правило, подготовка поверхности не требуется, но если неровности поверхности или покрытие могут создать помехи при выявлении дефектов, поверхность должна быть отшлифована или с нее должно быть удалено изоляционное покрытие.

Если в технических условиях не предусмотрено иное, цифровой радиографический контроль должен проводиться после конечной стадии изготовления, например после зачистки или термообработки.

6.3 Расположение шва на радиограмме

Если на цифровой радиограмме не отображается сварной шов, то с каждой стороны шва следует поместить маркеры высокой плотности.

6.4 Идентификация радиограмм

На каждый участок объекта, контролируемого при помощи цифровой радиографии, следует поместить символы. Изображения этих символов должны быть по возможности отображены на цифровой радиограмме за пределами зоны контроля, и должны обеспечивать однозначную идентификацию участка.

6.5 Маркировка

На объекте, подлежащем контролю, должна быть выполнена постоянная маркировка для точного определения положения каждой цифровой радиограммы (например, начало отсчета, направление, идентификация, мерный пояс).

Если свойства материала и (или) условия его эксплуатации не позволяют нанести постоянную маркировку, положение можно зарегистрировать с помощью точных эскизов или фотографий.

6.6 Перекрытие цифровых изображений

Если радиографический контроль участка производится двумя или более отдельными детекторами (запоминающими пластинами), они должны перекрывать друг друга для обеспечения полного охвата зоны контроля.

Это должно быть проверено по маркерам из материала высокой плотности, расположенных на поверхности объекта контроля, которые должны отобразиться на каждом цифровом изображении. Если радиограммы берутся последовательно, маркеры высокой плотности должны быть видны на каждой радиограмме.

6.7 Типы и положения индикаторов качества изображения

Качество изображения должно быть проверено по индикаторам качества изображения (IQI) в соответствии с ISO 19232-5 и ISO 19232-1 или ISO 19232-2.

В соответствии с процедурой, описанной в приложении С, для проверки основного пространственного разрешения в цифровой детекторной системе требуется эталонное изображение. Для проверки любого оборудования системы требованиям, указанным в зависимости от просвечиваемой толщины материала, в таблицах В.13 и В.14, должно быть определено базовое пространственное разрешение или значение IQI двухпроволочного типа. При этом IQI двухпроволочного типа должен быть размещен непосредственно на цифровом детекторе. Применение IQI двухпроволочного типа (по ISO 19232-5) для радиографического контроля изделия не обязательно. Требование о применении IQI двухпроволочного типа дополнительно к IQI проволочного типа для радиографии изделия может быть согласовано между изготовителем и заказчиком. При использовании IQI двухпроволочного типа для контроля изделий, он должен быть размещен на объекте контроля. Измеренное базовое пространственное разрешение цифрового изображения (SR_b^{image}) (см. приложение С) не должно превышать максимального значения, указанного для просвечиваемой толщины материала в таблицах В.13 или В.14. В качестве просвечиваемой толщины материала для одинарного изображения объекта контроля принимается толщина

одинарной стенки. Для определения необходимого базового пространственного разрешения (SR_b^{image}) по таблицам В.13, В.14 при контроле через две стенки с двойным изображением (рис. 11 или 12), с IQI двухпроволочного типа со стороны источника излучения просвечиваемая толщина материала принимается равной диаметру трубы. Базовое пространственное разрешение детектора ($SR_b^{detectot}$) для двойного изображения при контроле через две стенки должно соответствовать значениям таблицы В.13 и В.14, выбранных на основе удвоенной номинальной толщины стенки, как просвечиваемой толщины материала.

Если применяется способ геометрического увеличения (см 7.7) со значением $v > 1,2$, то IQI двухпроволочного типа (ISO 19232-5) должны быть использованы на всех производственных рентгенограммах.

IQI двухпроволочного типа должен быть расположен под наклоном в несколько градусов (2° до 5°) к цифровым строкам или столбцам цифрового изображения. Если IQI расположен на 45° к цифровым строкам или столбцам, полученный номер IQI должен быть уменьшен на единицу.

Контрастная чувствительность цифровых изображений должна быть проверены с использованием индикаторов качества изображения (IQI), в соответствии с конкретной областью применения, как указано в таблицах В.1 – В.12 (см. также ISO 19232-1 или ISO 19232-2).

Используемые IQI проволочного типа или ступенчатого с отверстиями типа должны быть помещены на исследуемом объекте предпочтительно со стороны источника излучения в центре зоны контроля на основной металл рядом со сварным швом. IQI должен иметь плотный контакт с поверхностью контроля. Ее расположение должно быть в сечении равномерной толщины, характеризующейся однородным значением серого (среднее значение) на цифровом изображении.

В соответствии с типом применяемого IQI должны быть рассмотрены случаи а) и б):

а) При использовании IQI проволочного типа, проволочки должны быть направлены перпендикулярно к сварному шву и его расположение должно обеспечивать, что не менее 10 мм от длины проволочки отображается на сечении с посто-

янным значением серого или SNR_N , которая, как правило, располагается в основном металле вблизи сварного шва. Для экспозиций, выполняемых в соответствии с 7.1.6 и 7.1.7, IQI могут быть помещены проволочками поперек оси трубы и не должны проецироваться на изображение сварного шва.

б) При использовании IQI ступенчатого с отверстиями типа, он должен располагаться таким образом, чтобы отверстие требуемого размера располагалось максимально близко ко шву.

Для экспозиций, выполняемых в соответствии с 7.1.6 и 7.1.7, IQI используемого типа может быть расположен как со стороны источника, так и со стороны детектора. Если IQI не может быть помещен в соответствии с вышеуказанными условиями, то их помещают со стороны детектора, и качество изображения следует определять как минимум однократно путем сравнения экспозиции с одним IQI, помещенным со стороны источника, и одним – со стороны детектора, при тех же условиях. Если перед детектором применяются фильтры (экраны), IQI должен быть расположен перед фильтром (экраном).

Для экспозиции через две стенки, когда IQI помещается со стороны детектора, вышеописанный контроль не требуется. В данном случае следует обращаться к таблицам соответствия (таблицы В.9 – В.12).

Если IQI помещается со стороны детектора, то следует помещать литеру F рядом с IQI, и это должно фиксироваться в протоколе контроля.

Идентификационный номер, и при применении, литера F не должны располагаться в зоне контроля, за исключением, когда геометрическая форма объекта контроля не позволяет это сделать.

Если были предприняты меры для гарантии того, что цифровые радиограммы аналогичных объектов контроля или их участков были произведены с идентичными экспозициями и методами обработки, и нет видимых различий в качестве изображения, то нет необходимости проверять качество изображения для каждой цифровой радиограммы. Объем проверки качества изображений должен быть согласован между изготовителем и заказчиком.

Для экспозиции труб с наружным диаметром 200 мм и выше и центральным расположением источника следует размещать как минимум три IQI с равными промежутками по длине окружности. Изображения IQI считаются характерными для всей окружности.

6.8 Минимальные значения качества изображения

В таблицах В.1 – В.14 приведены минимальные значения качества изображения для металлических материалов. Для других материалов эти требования или соответствующие требования могут быть согласованы между изготовителем и заказчиком. Требования должны быть определены в соответствии с ISO 19232-4.

В случае, когда используются источники Ir 192 или Se 75, по согласованию между изготовителем и заказчиком могут считаться приемлемыми худшие значения IQI, чем те, что перечислены в таблицах В.1 – В.12, как показано ниже:

1) Способ получения двойного изображения через две стенки, классы А и В ($w = 2t$):

- $10 \text{ мм} < w \leq 25 \text{ мм}$: меньше на 1 проволочку или ступеньку с отверстием для Ir 192;

- $5 \text{ мм} < w \leq 12 \text{ мм}$: меньше на 1 проволоку или ступеньку с отверстием для Se 75.

2) Способ получения одного изображения через одну стенку и одного изображения через две стенки, класс А:

- $10 \text{ мм} < w \leq 24 \text{ мм}$: меньше на 2 проволочки или ступеньки с отверстием для Ir 192;

- $24 \text{ мм} < w \leq 30 \text{ мм}$: меньше на 1 проволочку или ступеньку с отверстием для Ir 192;

- $5 \text{ мм} < w \leq 24 \text{ мм}$: меньше на 1 проволочку или ступеньку с отверстием для Se 75.

3) Способ получения одного изображения через одну стенку и одного изображения через две стенки, класс В:

- $10 \text{ мм} < w \leq 40 \text{ мм}$: меньше на 1 проволочку или ступеньку с отверстием для Ir 192;

- $5 \text{ мм} < w \leq 20 \text{ мм}$: меньше на 1 проволочку или ступеньку с отверстием для Se 75.

6.9 Квалификация персонала

Персонал, выполняющий неразрушающий контроль качества в соответствии с настоящим стандартом, должен быть квалифицирован в соответствии с ISO 9712 или эквивалентным стандартом на требуемый уровень по соответствующему промышленному сектору. Персонал должен быть в состоянии доказать, что прошел дополнительное обучение и повышение квалификации в цифровой промышленной радиографии.

7 Рекомендуемые способы получения радиограмм

Примечание – Если не указано иное, расшифровка символов, используемых на рисунках 1 – 21, приведена в разделе 4.

7.1 Схемы контроля

7.1.1 Общие положения

Радиографический контроль необходимо осуществлять в соответствии со схемами по 7.1.2 – 7.1.9.

Схему контроля на эллипс (просвечивание через две стенки с получением двойного изображения) в соответствии с рисунком 11 не следует применять для труб с наружным диаметром $D_e > 100 \text{ мм}$, толщиной стенки $t > 8 \text{ мм}$ или шириной шва более $D_e/4$. Если отношение $t/D_e < 0,12$, то достаточно двух изображений, смещенных друг относительно друга на 90° ; в противном случае необходимо три изображения. Расстояние между двумя спроецированными изображениями шва должно примерно равно ширине шва.

Когда затруднительно проведение контроля с использованием схемы на эллипс при $D_e \leq 100 \text{ мм}$, можно использовать схему перпендикулярной съемки в соответствии с 7.1.7 (см. рисунок 12). В таком случае требуется три экспозиции, отстоящих друг от друга на 120° или 60° .

Для схем контроля, соответствующих рисункам 11, 13 и 14, угол наклона луча должен быть как можно более малым, но в тоже время таким, чтобы не было нало-

жения двух изображений. Расстояние от источника излучения до контролируемого объекта, f , должно быть по возможности более малым для метода, показанного на рисунке 13, в соответствии с 7.6. IQI должен быть расположен со стороны пленки, со свинцовой буквой F.

При необходимости, например, из-за особенностей геометрии детали или различий в толщине материала, по согласованию между изготовителем и заказчиком могут быть использованы другие способы цифрового радиографического контроля. В 7.1.9 представлен пример такого случая. Кроме того, может применяться компенсация толщины тем же материалом.

П р и м е ч а н и е – В приложении А приведено минимальное число радиограмм, необходимое для получения полного покрытия всей окружности стыкового сварного шва в трубе.

Если используется способ геометрического увеличения, детектор должен быть расположен как можно ближе к объекту контроля.

Если невозможно применение гибкого детектора, применяют жесткие кассеты или плоские детекторные матрицы, как показано на рисунках 2 б, 8 б, 13 б и 14 б, и расстояние от источника до детектора SDD должно быть рассчитано из толщины стенки t , наибольшего расстояния от источника до поверхности объекта контроля со стороны источника b и размера фокусного пятна или размера источника d , как указано в 7.6 и формулах (3) и (4).

7.1.2 Источник излучения расположен напротив объекта контроля, а пленка с противоположной стороны – рисунок 1.

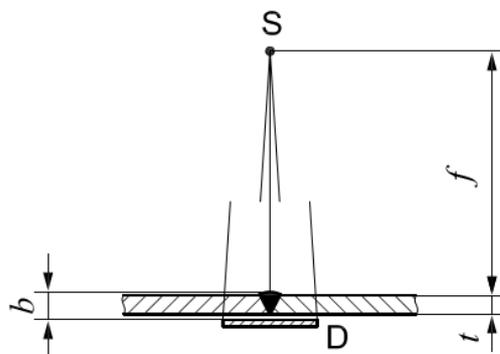
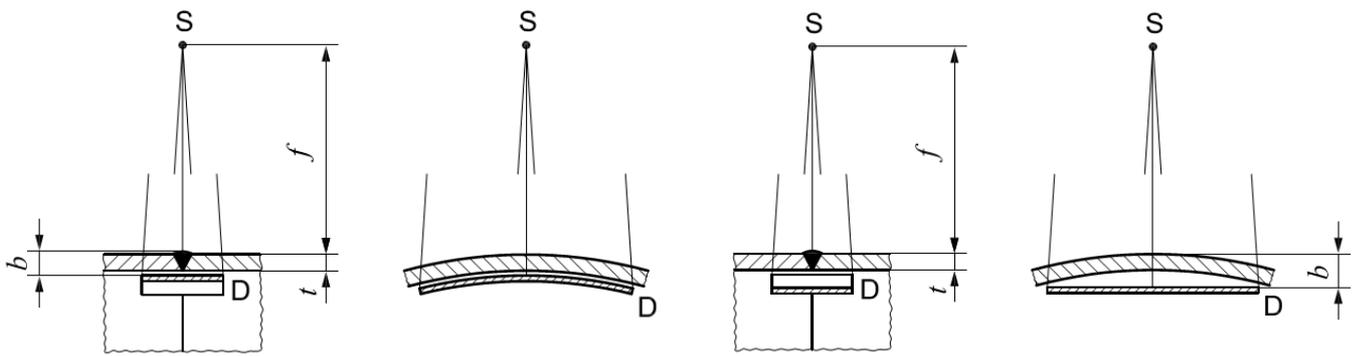


Рисунок 1 – Схема контроля для плоского сварного шва при просвечивании через одну стенку

7.1.3 Источник излучения снаружи, а пленка внутри – рисунки 2 – 4.



а – с изгибаемыми детекторами

б – с плоским детектором

Рисунок 2 – Схема контроля изогнутого объекта при просвечивании через одну стенку

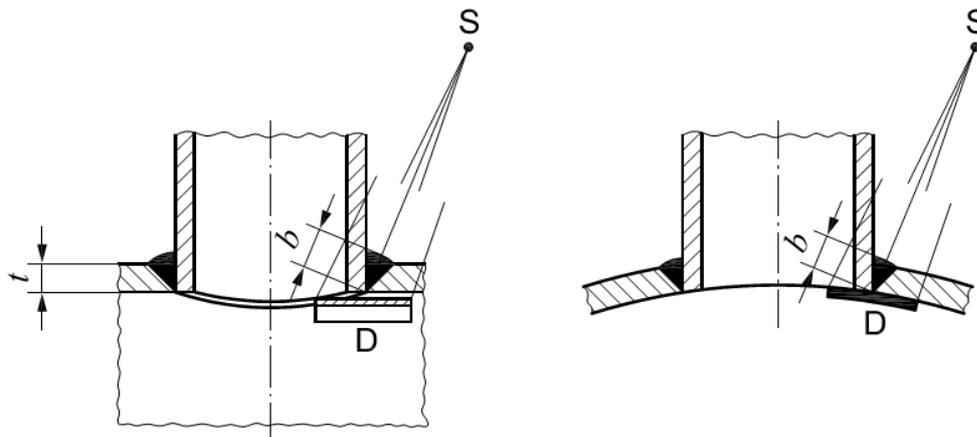


Рисунок 3 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов вставной детали)

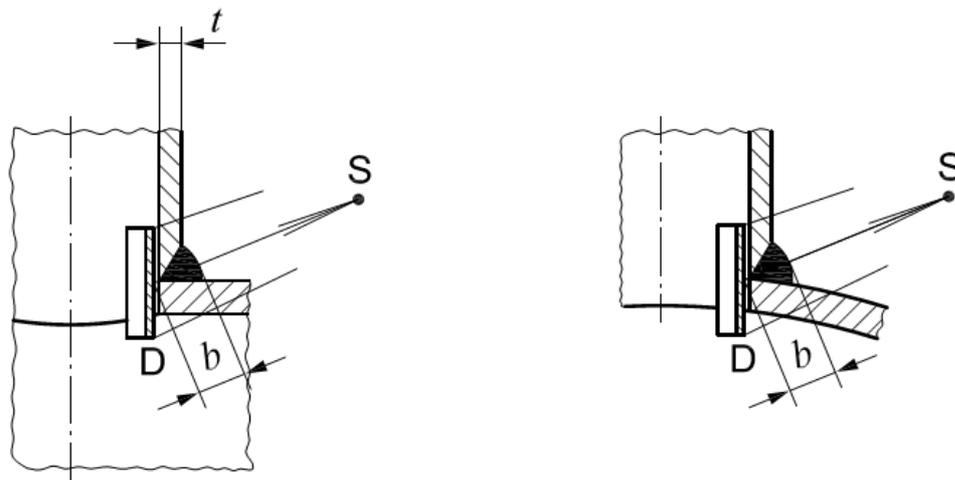


Рисунок 4 – Схема контроля для изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов наложенной детали)

7.1.4 Источник излучения расположен в центре объекта контроля, а пленка – снаружи – рисунки 5 – 7.

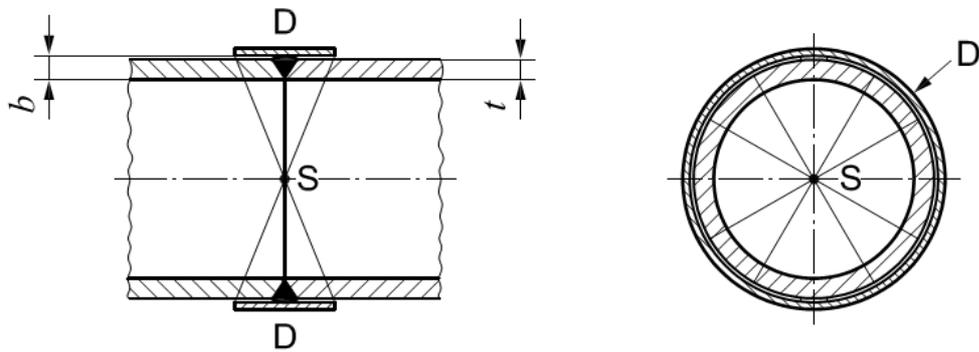


Рисунок 5 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку

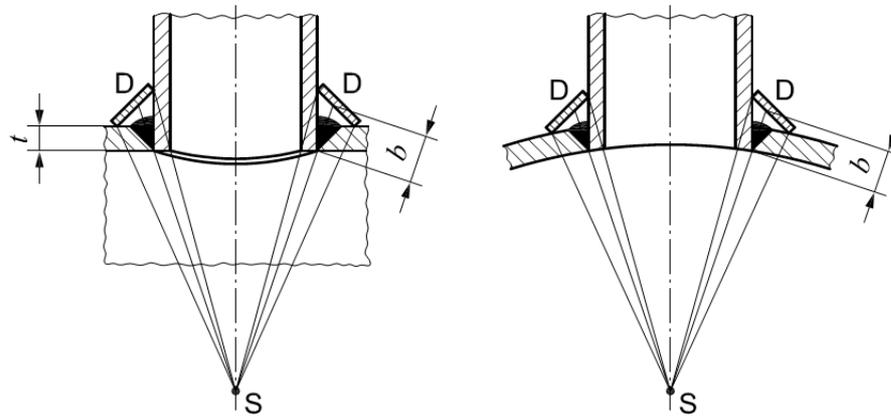


Рисунок 6 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов вставной детали)

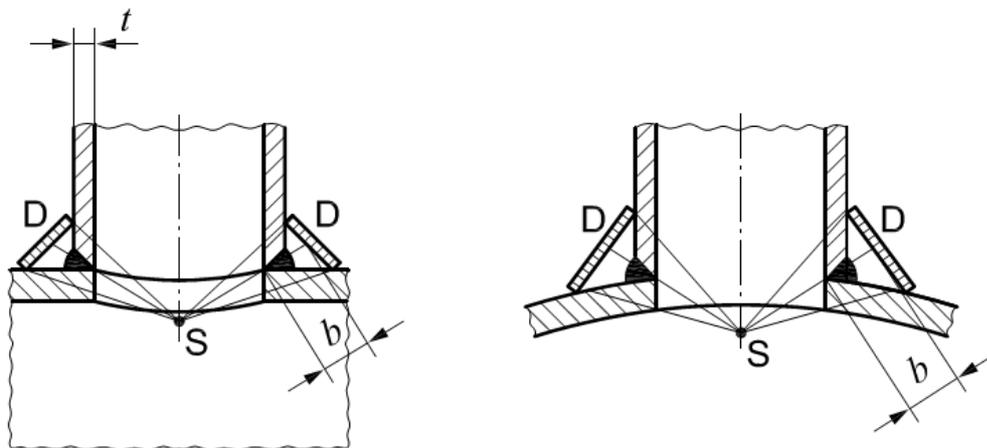
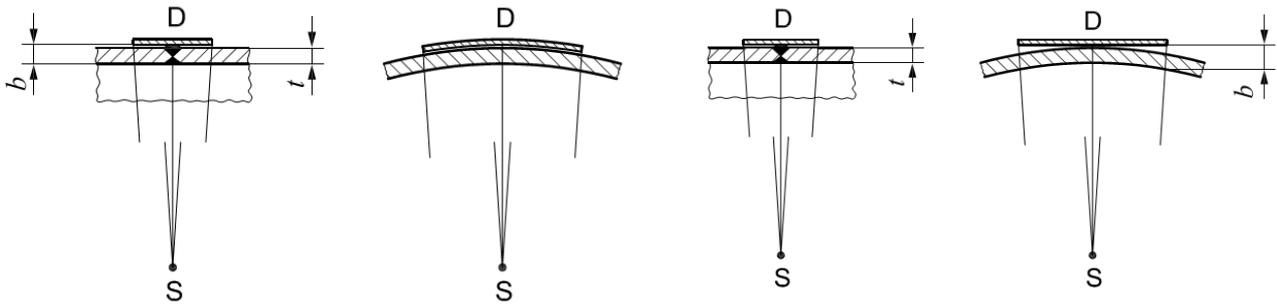


Рисунок 7 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов наложенной детали)

7.1.5 Источник излучения расположен внутри и вне центра объекта, а пленка снаружи – рисунки 8 – 10.



a – с изгибаемыми детекторами

б – с плоским детектором

Рисунок 8 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку

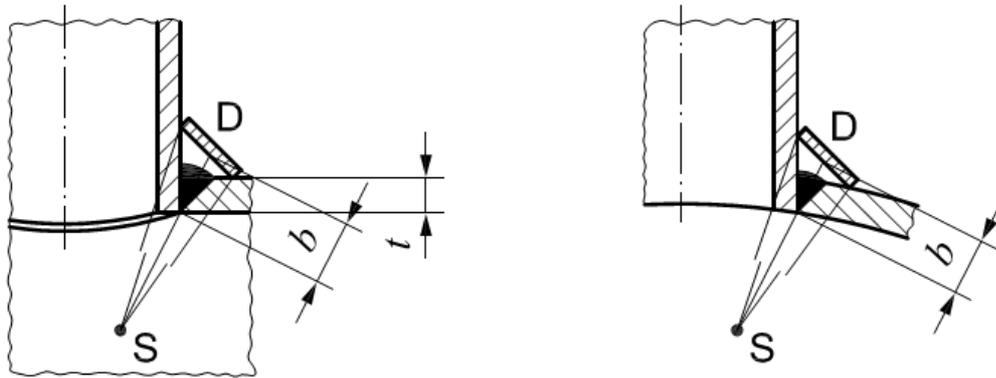


Рисунок 9 – Схема контроля изогнутых объектов (сварной шов вставной детали)

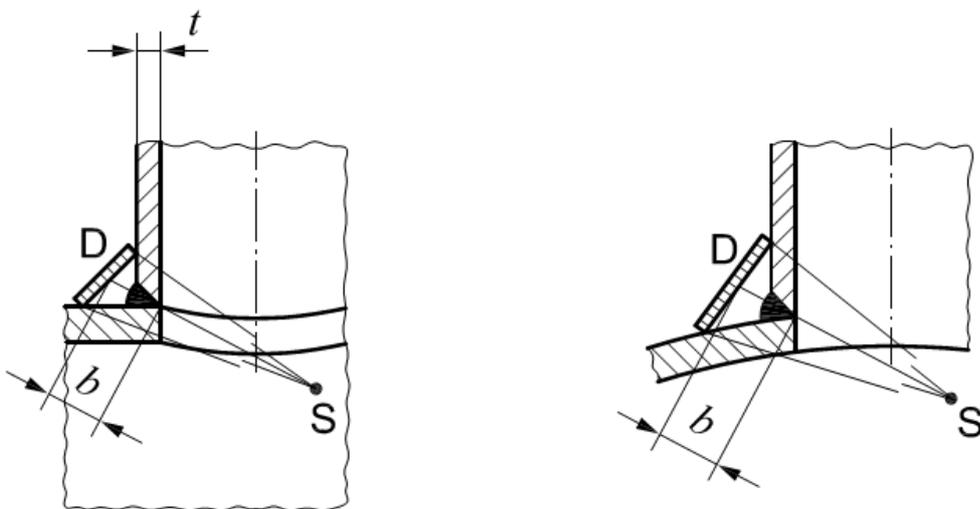
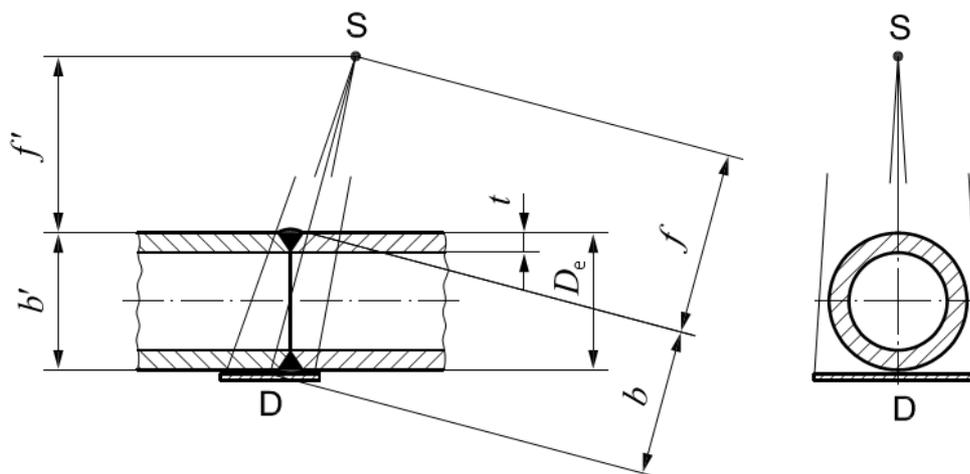


Рисунок 10 – Схема контроля изогнутого объекта при просвечивании через одну стенку (сварной шов наложенной детали)

7.1.6 Схема контроля на эллипс – рисунок 11.



Примечание – Расстояние от источника излучения до объекта контроля может быть вычислено через перпендикулярное расстояние f' , рассчитываемое из b' .

Рисунок 11 – Схема контроля изогнутого контролируемого объекта для контроля двух стенок при просвечивании через две стенки (двойное изображение, источник излучения и детектор – снаружи)

7.1.7 Схема перпендикулярной съемки – рисунок 12.

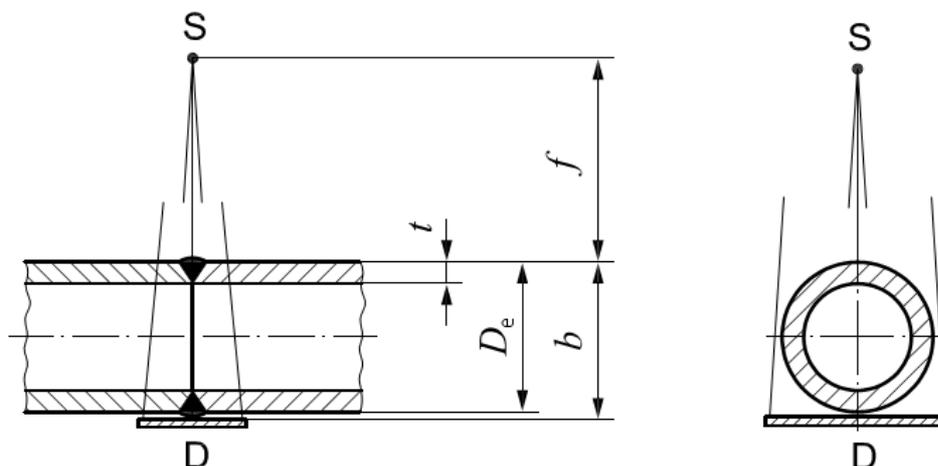


Рисунок 12 – Схема контроля изогнутого контролируемого объекта для контроля двух стенок при просвечивании через две стенки (двойное изображение, источник излучения и детектор – снаружи)

7.1.8 Источник излучения расположен вне объекта, а пленка – с другой стороны – рисунки 13 – 18.

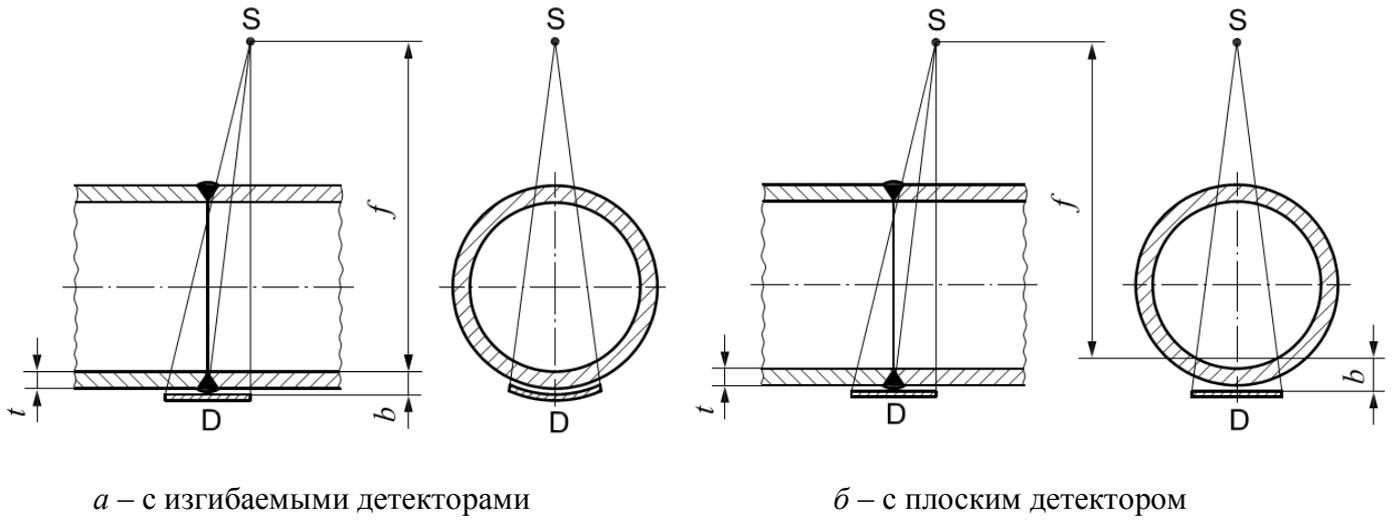


Рисунок 13 – Схема контроля изогнутых контролируемых объектов при просвечивании через две стенки (одно изображение) для контроля стенки, ближайшей к детектору; IQI должен располагаться на детекторе

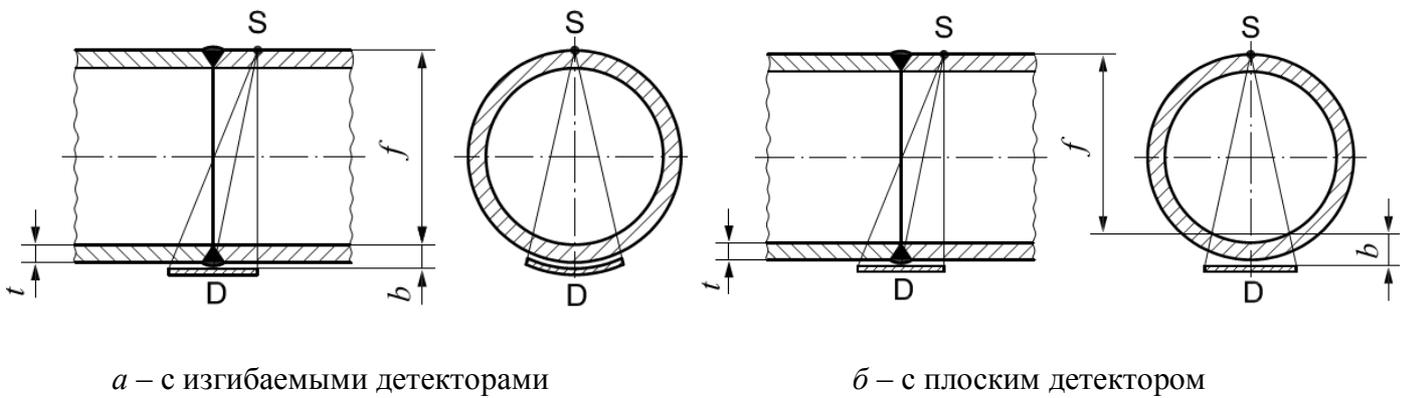


Рис. 14 – Схема контроля при просвечивании через две стенки (одно изображение)

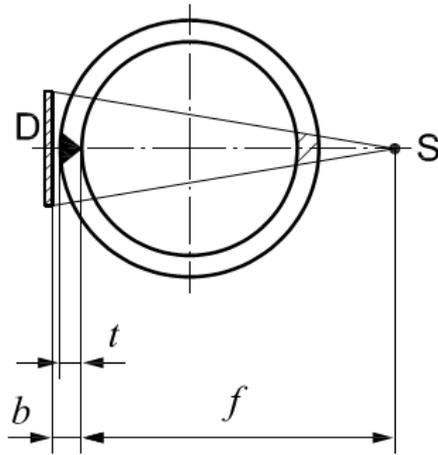


Рисунок 15 – Схема контроля прямолинейного сварного шва при просвечивании через две стенки (одно изображение)

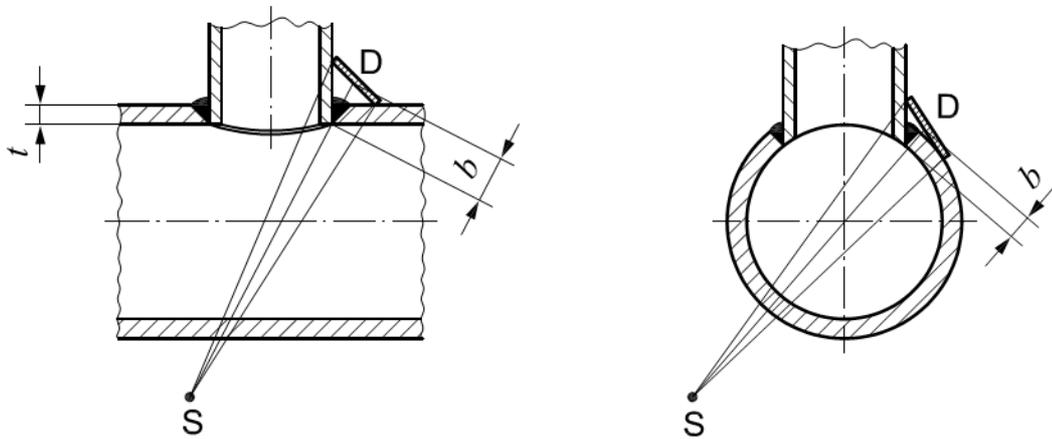
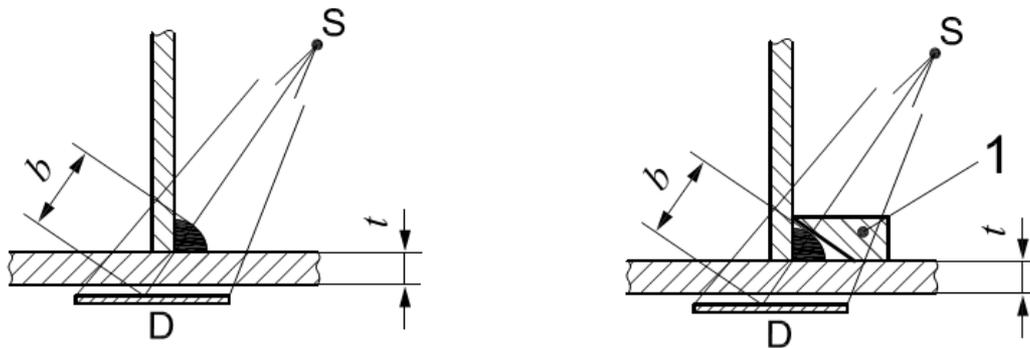


Рисунок 16 – Схема контроля изогнутых контролируемых объектов при просвечивании через две стенки (одно изображение) для оценивания стенки, ближайшей к детектору



1 – компенсирующая кромка

a – Схема контроля без компенсирующей кромки

б – Схема контроля с компенсирующей кромкой

Рисунок 17 – Схема контроля при просвечивании угловых сварных швов

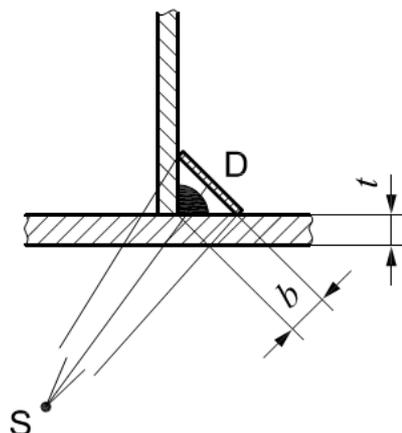


Рисунок 18 – Схема контроля при просвечивании угловых сварных швов
7.1.9 Схема контроля для материалов различной толщины – рисунок 19.

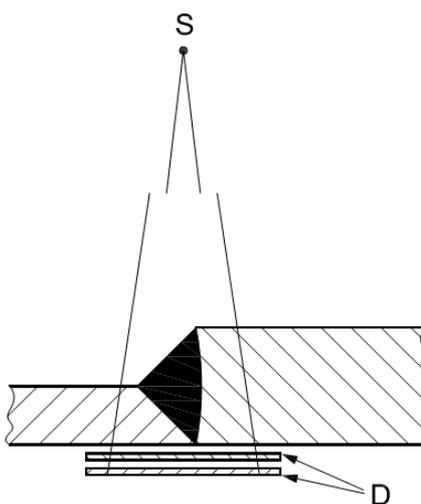
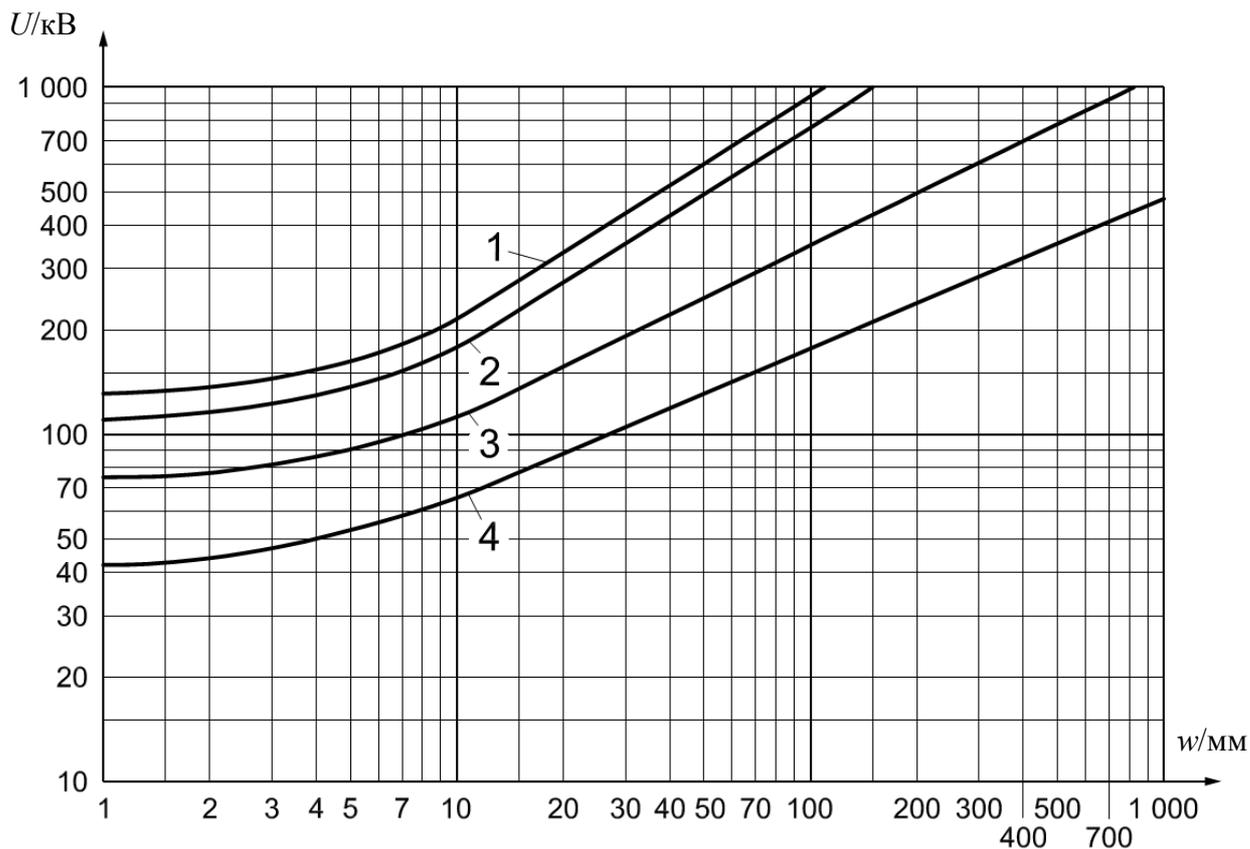


Рисунок 19 – Схема контроля с использованием нескольких детекторов

7.2 Выбор рабочего напряжения и источника радиационного излучения

7.2.1 Источники рентгеновского излучения с напряжением до 1000 кВ

Для соблюдения высокой чувствительности к дефектам напряжение рентгеновской трубки должно быть по возможности более низким и SNR_N на цифровом изображении должно быть как можно выше. Рекомендуемые максимальные значения напряжения трубки в зависимости от толщины приведены на рисунке 20. Приведенные максимальные значения являются наилучшими при пленочной радиографии.



U – напряжение на рентгеновской трубке; w - просвечиваемая толщина; 1 – медь/никель и сплавы на их основе; 2 – сталь; 3 – титан и сплавы на их основе; 4 – алюминий и сплавы на его основе

Рисунок 20 - Напряжение на рентгеновской трубке для источников с максимальным возможным напряжением до 1000 кВ как функция от просвечиваемой толщины и материала

После точной настройки (калибровки) DDA может обеспечить достаточное качество изображения при значительно более высоких напряжениях, чем приведенные на рисунке 20.

Для контроля по классу В запоминающие пластины с высоким структурным (собственным) шумом в IP слое (крупная зернистость) должны применяться при напряжении рентгенографического источника примерно на 20 % меньшем, чем показано на рисунке 20. Если SNR_N значительно больше, запоминающие пластины, которые экспонируются аналогично рентгенографической пленке и имеют низкий структурный (собственный) шум (мелкая зернистость), могут экспонироваться при

напряжениях на рентгеновской трубке в соответствии с рисунком 20 или более высоким.

Примечание: СРІ:

– улучшение контрастной чувствительности может быть достигнуто путем увеличения контраста при постоянном SNR_N [уменьшением напряжения на трубке и компенсацией более высокого коэффициента экспозиции (например, мА*мин)]; или

– улучшение контрастной чувствительности путем увеличения SRN_N [более высокий коэффициент экспозиции (например, мА*мин)] при постоянном контрасте (постоянное напряжение, кВ);

– увеличенное напряжение трубки [при постоянной экспозиции (например, мА*мин)] снижает контрастность и увеличивает SNR_N . Контрастная чувствительность улучшается, если увеличение SNR_N выше, чем уменьшение контраста вследствие высокой энергии.

В случаях, когда толщина объекта контроля меняется вдоль его сечения, может быть использован модифицированный способ с более высоким напряжением, однако чрезмерно высокое напряжение трубки приведет к потере чувствительности выявления дефектов.

7.2.2 Прочие источники излучения

В таблице 2 приведены допустимые диапазоны толщин для источников гамма- и рентгеновского излучения мощностью свыше 1 МэВ.

Т а б л и ц а 2 – Диапазон просвечиваемых толщин для источников гамма-излучения и рентгеновского оборудования с энергией выше 1 МэВ для сплавов на основе стали, меди и никеля

Источник радиационного излучения	Просвечиваемая толщина, w , мм	
	Класс А	Класс В
Tm 170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb 169 ^a	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se 75 ^b	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir 192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$
Рентгеновское оборудование с энергией от 1 до 4 МэВ включ.	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$
Рентгеновское оборудование с энергией св. 4 до 12 МэВ включ.	$w \geq 50$	$w \geq 80$
Рентгеновское оборудование с энергией св. 12 МэВ	$w \geq 80$	$w \geq 100$

<p>^a Для алюминия и титана просвечиваемая толщина $10 \text{ мм} \leq w \leq 70 \text{ мм}$ для класса А и $25 \text{ мм} \leq w \leq 55 \text{ мм}$ для класса В.</p> <p>^b Для алюминия и титана просвечиваемая толщина $35 \text{ мм} \leq w \leq 120 \text{ мм}$ для класса А.</p>
--

В тонких стальных образцах гамма-излучение от источников Se 75, Ir 192 и Co 60 не позволяет получить цифровые радиограммы с такой же хорошей чувствительностью к дефектам, как при рентгеновском излучении, использованном с надлежащими техническими параметрами. Однако, поскольку источники гамма-излучений имеют преимущества в обращении и в их доступности, в таблице 2 приведен диапазон толщин, для которых может быть использован каждый из этих источников гамма-излучения, в то время как применение рентгеновских трубок затруднено.

По согласованию между изготовителем и заказчиком значение для Ir 192 может быть уменьшено до 10 мм, а для Se 75 до 5 мм.

В определенных случаях допускается более широкий диапазон толщин, если может быть достигнуто удовлетворительное качество изображения.

При получении радиограммы компьютерной радиографией с использованием гамма-излучения, время установки источника в положение контроля не должно превышать 10 % от общего времени экспозиции. При использовании DDA время просвечивания должно начинаться с момента установки источника в положение контроля и заканчиваться до момента возвращения источника в исходное положение.

7.3 Детекторные системы и металлические экраны

7.3.1 Минимальное значение нормализованного отношения сигнал-шум

Для контроля цифровой радиографией должны быть достигнуты минимальные значения SNR_N , приведенные в таблицах 3 и 4, или минимальные значения серого (только для CR). В приложении D описана процедура измерения SNR_N и приведены таблицы переводов для пользователей, предпочитающих использовать ненормализованные измеренные значения SNR вместо нормализованных значений SNR_N .

Вместо минимальных значений SNR_N для CR могут быть использованы эквивалентные минимальные значения серого, если они определены с помощью проце-

дуры, приведенной в приложении D для использованных IP, сканера, его настроек и требуемым по таблицам 3 и 4 значениям SNR_N .

Т а б л и ц а 3 – Минимальные значения SNR_N (для CR и DDA) и металлические усиливающие (передние) экраны (для CR) для цифрового радиографического контроля сталей и сплавов на основе меди и никеля

Источник излучения	Просвечиваемая толщина w , мм	Минимальное значение SNR_N ^c		Тип и толщина металлических усиливающих (передних) экранов, мм
		Класс А	Класс В	
Рентгенографическая трубка с напряжением до 50 кВ включ.		100	150	нет
Рентгенографическая трубка ^d с напряжением св. 50 до 150 кВ включ.		70	120	0 - 0,1 (Pb)
Рентгенографическая трубка ^d с напряжением св.150 до 250 кВ включ.		70	100	0 - 0,1 (Pb)
Рентгенографическая трубка ^d с напряжением св.250 до 350 кВ включ.	$w \leq 50$	70	100	0 - 0,3 (Pb)
Рентгенографическая трубка ^d с напряжением св. 350 до 1000 кВ включ.	$w > 50$	70	70	0 - 0,3 (Pb)
Yb 169 ^d	$w \leq 5$	70	120	0 - 0,1 (Pb)
	$w > 5$	70	100	0 - 0,1 (Pb)
Ir 192 ^d , Se 75 ^d	$w \leq 50$	70	100	0 - 0,3(Pb)
	$w > 50$	70	70	0,1 - 0,4 (Pb)
Co 60 ^{a,b} , Рентгенографическая трубка ^{a,b} с напряжением св. 1,0 до 5 МВ включ.	$w \leq 100$	70	100	0,3 – 0,8 (Fe или Cu)+0,6–2 (Pb)
	$w > 100$	70	70	0,3–0,8 (Fe или Cu)+0,6–2 (Pb)
Рентгенографическая трубка ^{a,b} с напряжением св. 5 МВ	$w \leq 100$	70	100	0,6 – 4 (Fe, Cu или Pb)
	$w > 100$	70	70	0,6 – 4 (Fe, Cu или Pb)
^a В случае применения многослойного экрана (Fe+Pb), стальной экран должен располагаться между запоминающей пластиной (IP) и свинцовым экраном. ^b Вместо Fe или Fe+Pb могут использоваться медь, танталовые, вольфрамовые экраны при условии, что качество изображения может быть доказано. ^c Если SNR_N измеряется в ЗТВ / основном металле, эти значения должны быть умножены на 1,4, за исключением, если усиление сварного шва и корень находятся на одном уровне с основным металлом. ^d Свинцовые экраны могут быть заменены полностью или частично на Fe или Cu экраны. Эквивалентная толщина для Fe или Cu – в три раза больше толщины Pb.				

Т а б л и ц а 4 – Минимальные значения SNR_N (для CR и DDA) и металлические усиливающие (передние) экраны (для CR) для цифрового радиографического контроля алюминия и титана

Источник излучения	Минимальное значение SNR_N ^b		Тип и толщина металлических усиливающих (передних) экранов, мм
	Класс А	Класс В	
Рентгенографическая трубка с напряжением до 150 кВ включ.	70	120	$\leq 0,03$ (Pb)
Рентгенографическая трубка с напряжением св. 150 кВ до 250 кВ включ.	70	100	$\leq 0,2$ (Pb) ^a
Рентгенографическая трубка с напряжением св. 250 кВ до 500 кВ включ.	70	100	$\leq 0,2$ (Pb) ^a
Yb 169	70	100	$\leq 0,2$ (Pb) ^a
Se 75	70	100	$\leq 0,2$ (Pb) ^a
^a Вместо свинцового экрана толщиной 0,2 мм может применяться экран 0,1 мм с дополнительным фильтром 0,1 мм снаружи кассеты. ^b Если SNR_N измеряется в ЗТВ / основном металле, эти значения должны быть умножены на 1,4, за исключением, если усиление сварного шва и корень находятся на одном уровне с основным металлом.			

Значение SNR_N должно быть измерено около сварного шва рядом с IQI проволочного типа или ступенчатого с отверстиями типа в наиболее толстой части основного металла в зоне с постоянной толщиной стенки и с постоянным значением серого. Значения серого при компьютерной радиографии (CR) должны быть измерены в зоне контроля сварного соединения рядом с IQI проволочного типа или ступенчатого с отверстиями типа. Так как шероховатость материала оказывает влияние на шум в изображении и SNR_N , значения, приведенные в таблице 3, являются рекомендуемыми. Если измерение SNR_N осуществляется рядом со сварным швом в зоне термического влияния, за исключением случаев, когда усиление и корень шва находятся на одном уровне с основным металлом, минимальные значения SNR_N должны быть увеличены на коэффициент 1,4 по сравнению с таблицами 3 и 4.

П р и м е ч а н и е 1 – При радиографии с использованием пленки значение оптической плотности, измеренной в зоне термического влияния / основного металла, составляет 3,5 – 4 единицы. Это соответствует значению SNR_N , примерно в 1,4 раза большему, по сравнению с центром сварного шва, который должен иметь оптическую плотность 2 или выше. Рекомендуется про-

дить измерения SNR_N в зоне термического влияния, потому что это, как правило, зона с постоянным уровнем серого и позволяет точно измерить SNR_N .

Метод определения эквивалентных минимальных значений серого (только для CR) вместо требуемого SNR_N приведен в приложении D.

В приложении D также приведены таблицы переводов для пользователей, которые предпочитают использовать ненормализованные измеренные значения SNR вместо нормализованных значений SNR_N . Минимальное ненормализованное значение SNR определяется из SR_b детектора и требуемых значений SNR_N , определенных по таблицам 3 и 4.

Для приемки изображений пользователь CR должен определить минимальные значения серого или значения SNR_N или SNR (см. приложение D). По аналогии с минимальной оптической плотностью при радиографии с использованием пленки, для определения приемлемости изображения пользователь DDA должен определить минимальные значения SNR_N или SNR (см. приложение D). Если не указано иное, полученные значения должны соответствовать таблицам 3 и 4. Минимальные значения SNR_N для различных источников излучения и толщин приведены в таблицах 3 и 4.

П р и м е ч а н и е 2 – Подробности измерения SNR_N приведены в ISO 16371-1, [10] (для CR) или [11] и приложении D.

7.3.2 Принцип компенсации II

Если обе чувствительности по IQI, указанные в таблицах B.1 – B.14 (контрастная чувствительность по IQI проволочного типа или ступенчатого с отверстиями типа с одной стороны и пространственное разрешение по IQI двухпроволочного типа с другой стороны) не могут быть достигнуты применяемой детекторной системой и условиями экспозиции, то увеличение видимости на одну проволоку или отверстие ступени IQI должно быть компенсировано повышенным значением нерезкости (или повышенным значением SR_b).

Например, если требуемое значение D12 и W16 (для толщины 5 мм, класса B по таблицам B.3 и B.14) одновременно не достигаются для указанной детекторной системы, то значения D11 и W17 обеспечивают эквивалентную чувствительность детектора. Компенсация должна быть ограничена максимальным увеличением двух отдельных проволок для двух не обнаруживаемых пар проволок. По согласованию между изготовителем и заказчиком, компенсация может быть расширена до трех

одиночных проволок для трех не обнаруживаемых пар проволок, если требуемая чувствительности к дефекту может быть продемонстрирована в конкретном случае.

Так как контрастная чувствительность для цифровых детекторов (DDA) определяется сочетанием времени экспозиции и тока в трубке (мА), для получения радиографического изображения при принятом расстоянии и напряжении на трубке видимость проволоочки или ступени с отверстием IQI может быть увеличена увеличением времени экспозиции и/или установленным током трубки. Это относится также к CR, но с ограничением вследствие максимально достижимого значения SNR_N из-за собственного (структурного) шума чувствительного шума запоминающей пластины (PSL). Максимально достижимое значение SNR_N при радиографии с использованием DDA определяется качеством процедуры калибровки (настройки).

Значение SR_b детектора устанавливается конструктивными и аппаратными параметрами.

В случае применения методики с увеличением, значение SR_b принимается по увеличенному изображению (SR_b изображения) и измерениями IQI двухпроводочного типа, расположенного на объекте (см. 7.7).

7.3.3 Металлические экраны запоминающих пластин (IP) и защитные экраны

При использовании переднего (усиливающего) экрана, требуется хороший контакт между чувствительным слоем детектора и экраном. Это может быть достигнуто применением запоминающих пластин (IP) в вакуумной упаковке или путем приложения давления. Свинцовые экраны, неплотно прилегающие к запоминающей пластине (IP), могут вызвать нерезкость изображения. Усиление, полученное при использовании свинцовых экранов в контакте с запоминающими пластинами, значительно меньше, чем при пленочной радиографии.

Многие запоминающие пластины (IP) очень чувствительны к низкоэнергетическому обратно-рассеянному излучению и рентгеновской флюоресценции свинцового защитного экрана. Этот эффект, в значительной степени способствующий образованию краевой нерезкости и снижению CNR, должен быть сведен к минимуму. Рекомендуется использовать стальные или медные защитные экраны непосред-

ственно за запоминающими пластинами (IP). Также стальные или медные экраны, установленные между свинцовым защитным экраном и запоминающей пластиной (IP), могут улучшать качество изображения. Современные конструкции кассет и детекторов учитывают этот эффект и могут быть сконструированы таким образом, что дополнительный стальной или медный защитный экран вне кассеты не требуется.

Примечание – Из-за защитного слоя между свинцовой пластиной и чувствительным слоем запоминающей пластины (IP) эффект усиления электронами значительно снижается, и проявляется при более высоких энергиях. В зависимости от энергии излучения и конструкции защитного слоя, эффект усиления составляет от 20 % до 100 % (100 % соответствует отсутствию экрана) при обычных энергиях рентгеновского излучения.

Малый эффект усиления, создаваемый свинцовым экраном, контактирующим с запоминающей пластиной (IP), компенсируется увеличением времени экспозиции или, если не применяется свинцовый экран, коэффициентом экспозиции (мА*мин). Так как свинцовые экраны в контакте с запоминающей пластиной (IP) могут приводить к появлению царапин на запоминающих пластинах, если они не были тщательно разделены в процессе сканирования, свинцовые экраны рекомендуется использовать для промежуточной фильтрации рассеянного излучения вне кассеты. Для контроля стального образца толщиной менее 12 мм промежуточная фильтрация не рекомендуется.

В таблицах 3 и 4 приведены рекомендуемые материалы и толщины экранов для различных источников излучения. Другие толщины экрана могут быть согласованы между изготовителем и заказчиком при условии обеспечения требуемого качества изображения. Перед запоминающими пластинами (IP) рекомендуется использование металлических экранов, также они могут уменьшить влияние рассеянного излучения при использовании DDA.

7.4 Направление пучка излучения

Пучок излучения должен быть направлен в центр контролируемого участка и должен быть перпендикулярен поверхности объекта контроля в этой точке, за исключением тех случаев, когда определенные неполадки лучше выявляются лучами другого направления. В таком случае допускается другая центровка

излучения. Другие способы радиографического контроля могут быть использованы по согласованию между изготовителем и заказчиком.

П р и м е р – Для лучшего выявления несплавления по боковой стенке, направление излучения рекомендуется сонаправить с углами подготовки кромок под сварку.

7.5 Уменьшение рассеянного излучения

7.5.1 Металлические фильтры и коллиматоры

С целью уменьшения эффекта обратного рассеянного излучения, прямое излучение должно быть в максимальной степени коллимировано в контролируемом участке объекта.

При использовании источников излучения Se 75, Ir 192 и Co 60, или рентгеновских источников более 1 МВ, или в случае бокового (кромочного) рассеяния, в качестве фильтра рассеянного излучения с малыми энергиями может быть использован свинцовый лист между объектом контроля и кассетой или DDA. Толщина такого листа должна быть от 0,5 до 2 мм в зависимости от просвечиваемой толщины. В качестве фильтра могут быть использованы другие материалы кроме свинца, например олово, медь или сталь. Тонкий стальной или медный экран рекомендуется располагать между свинцовым листом и детектором.

7.5.2 Защита от обратного рассеянного излучения

Наличие обратного рассеянного излучения должно быть проверено при каждой новой испытательной CR с помощью свинцовой буквы «В» (высотой не менее 10 мм и толщиной не менее 1,5 мм), размещенной непосредственно позади каждой кассеты. Если изображение данного символа отображается как светлое изображение на радиограмме (негативное представление, т.е. сниженное линейаризованное значение серого), то радиограмма должна быть отклонена. Если символ темнее (увеличенное линейаризованное значение серого) или невидим, то радиограмма принимается, и продемонстрирована хорошая защита от обратного рассеянного излучения.

При необходимости, детектор должен быть защищен от обратного рассеянного излучения свинцовым листом толщиной не менее 1 мм или оловянным листом толщиной не менее 1,5 мм, расположенным за детектором. Для снижения

воздействия флюорисцентного рентеновского излучения свинца должна применяться дополнительная защита стальными или медными пластинами (толщиной около 0,5 мм) между свинцовым экраном и детектором. Для энергии излучения выше 80 кЭВ должны использоваться несвинцовые экраны, контактирующей с детектором с обратной стороны.

7.6 Расстояние от источника излучения до объекта контроля

Минимальное расстояние от источника излучения до объекта контроля f_{\min} зависит от размера источника или размера фокусного пятна d и от расстояния от объекта контроля до детектора b . Размер источника или размер фокусного пятна d должен соответствовать EN 12543 или EN 12679.

Если размер источника или размер фокусного пятна определяются двумя размерами, следует использовать наибольший.

Для схем контроля, кроме изображенных на рисунках 2 b , 8 b , 13 b и 14 b , расстояние f следует выбирать таким образом, чтобы отношение этого расстояния к размеру источника или к размеру фокусного пятна d , т.е. f/d , было не меньше значений, определяемых по формулам (1) и (2):

- для класса А

$$\frac{f}{d} \geq 7,5b^{2/3} \quad (1)$$

- для класса В

$$\frac{f}{d} \geq 15b^{2/3} \quad (2)$$

где b – в миллиметрах.

Если расстояние b меньше, чем $1,2t$, то расстояние b в формулах (1) и (2) и на рисунке 21 следует заменить номинальной толщиной t .

Для определения расстояния от источника излучения до объекта контроля f_{\min} можно использовать номограмму на рисунке 21. Эта номограмма основывается на формулах (1) и (2).

Для схем контроля в соответствии с рисунками 2 b , 8 b , 13 b и 14 b расстояние f должно быть принято таким образом, чтобы отношение расстояния f к размеру источника d , т.е. f/d , было не меньше значений, определяемых по формулам (3) и (4):

- для класса А

$$\frac{f}{d} \geq 7,5 \frac{b}{\sqrt[3]{t}} \quad (3)$$

$$\frac{f}{d} \geq 15 \frac{b}{\sqrt[3]{t}} \quad (4)$$

где t – номинальная толщина объекта контроля, мм;

b – расстояние от объекта контроля до детектора, мм.

Для класса А при выявлении плоскостного дефекта минимальное расстояние от источника до объекта f_{min} должно быть такое же, что и для класса В, с целью уменьшения геометрической нерезкости из-за фактора 2.

В случае применения особых технических материалов, подверженных растрескиванию, должны применяться более чувствительные радиографические методы, чем класс В.

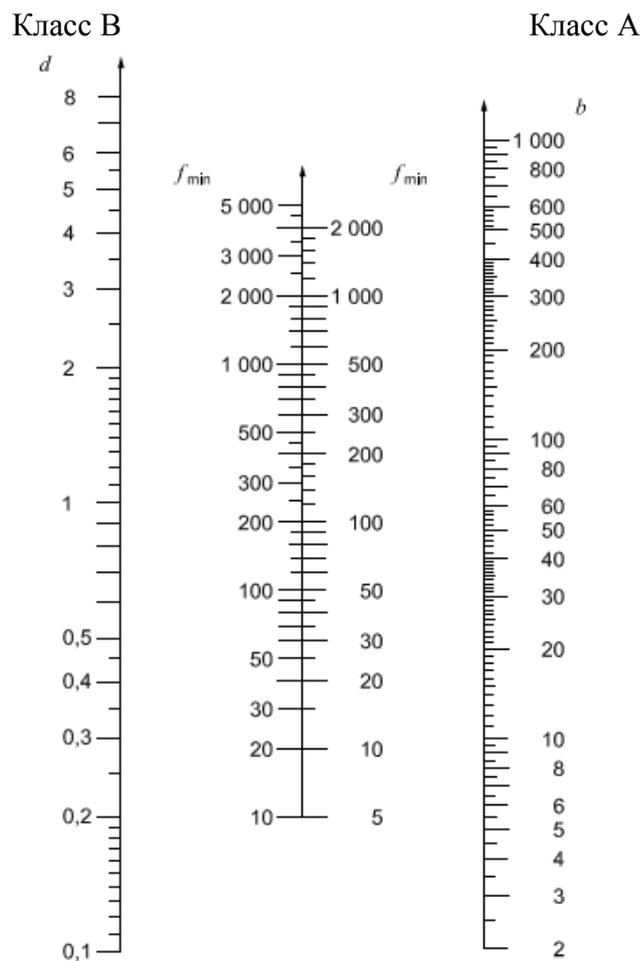


Рисунок 21 – Номограмма для определения минимального расстояния от источника излучения до контролируемого объекта f_{min} , в зависимости от расстояния от объекта контроля до детектора b и размера источника d

Собственная нерезкость ($u_i = 2SR_b^{\text{detector}}$) цифровой системы детектора и геометрическая нерезкость (u_G) вносят вклад в общую нерезкость (u_T) изображения, если не будут исправлены с помощью геометрического увеличения:

$$u_T = \sqrt{u_i^2 + u_G^2} \quad (5)$$

Поэтому рекомендуется увеличение расстояние f_{\min} для компенсации дополнительной нерезкости детекторной системы.

Если при применении цифровых детекторов, имеющих большую собственную нерезкость, чем рентгеновские пленки, должны быть достигнуты низкие значения общей нерезкости изображения, аналогичные определенным по ISO 17636-1 (пленочная радиография), рекомендуются условия а) и б):

а) при условии, что объект находится в контакте с детектором (не распространяется на способ геометрического увеличения), следует выбирать цифровые детекторы так, чтобы пространственное разрешение детектора SR_b было меньше значений, приведенных в формулах (6) и (7) в зависимости от расстояния от объекта до детектора b :

- для класса А:

$$SR_b < \frac{\sqrt[3]{b}}{15} \quad (6)$$

- для класса В:

$$SR_b < \frac{\sqrt[3]{b}}{30} \quad (7)$$

б) если должна быть достигнута нерезкость, сравнимая с получаемой при пленочной радиографии (ISO 17636-1), то расстояние f_{\min} может быть увеличено по сравнению со значениями, полученным по формулам (1) или (2) (и на рисунке 21), с помощью следующих формул (8) и (9), если условие формулы (6) или (7) выполнено:

- для класса А:

$$f_{\min} = d \sqrt{\frac{b^2}{(b^{2/3}/7.5^2) - 4SR_b^2}} \quad (8)$$

- для класса В:

$$f_{min} = d \sqrt{\frac{b^2}{(b^{2/3}/15^2) - 4SR_b^2}} \quad (9)$$

Можно определять f_{min} по формуле (1) или (2) или рисунку 21, если собственное пространственное разрешение детектора SR_b намного меньше, чем требуется по формуле (6) или (7), или достигается видимость IQI в соответствии с таблицами В.1 – В.12 путем увеличения SNR (СР II).

Для достаточного качества изображения по классам А и В значения, приведенные в таблицах В.13 и В.14 соответственно, обеспечивают максимальные значения общей нерезкости изображения и требуемое SR_b .

При использовании схемы контроля на эллипс, указанной в 7.1.6, или схемы перпендикулярной съемки, указанной в 7.1.7, в формулах (1), (2) и на рисунке 21 b должно быть заменено на наружный диаметр трубы D_e .

Когда источник находится вне объекта контроля и детектор находится на другой стороне (способ получения одного изображения через две стенки по 7.1.8), минимальное расстояние от источника излучения до объекта контроля определяется толщиной стенки (то есть не зависит от диаметра трубы).

Предпочтительно избегать использования способа просвечивания через две стенки (см. 7.1.6 – 7.1.8) посредством помещения источника излучения внутрь объекта контроля, чтобы достичь более подходящего направления излучения (см. 7.1.4 и 7.1.5). В этом случае уменьшение минимального расстояния от источника излучения до объекта контроля должно быть не больше 20 %.

Если источник находится в центре (внутри) объекта контроля, а детектор – снаружи (см. 7.1.4), и при условии соблюдения требований к IQI, этот процент может быть увеличен. Однако уменьшение минимального расстояния от источника до объекта не должно быть не более 50 %. Дальнейшее уменьшение может быть согласовано между изготовителем и заказчиком при условии выполнения требований к IQI.

7.7 Способ геометрического увеличения

Препятствием для применения систем CR и DDA для радиографического контроля сварных соединений является большой (более 50 мкм) размер пикселя в

большинстве матриц цифровых детекторов и систем «запоминающая пластина (IP)-сканер» по сравнению с малым размером зерна пленки (как в пленке, имеющей очень высокое пространственное разрешение). Это можно обойти, воспользовавшись уникальным свойством DDA увеличивать SNR_N (СР II) изображения и/или, при необходимости, геометрическим увеличением.

П р и м е ч а н и е – Геометрическое увеличение отличается от цифрового увеличения выделенного изображения (зума). Уменьшение нерезкости изображения обеспечивается только геометрическим увеличением.

Увеличение сигнала изображения по отношению к шуму (см. 7.3.2, СР II) является одним вариантом, если требуемые IQI-чувствительность (подтвержденная IQI проволочного типа или ступенчатого с отверстиями типа) и SR_b (подтвержденное IQI двухпроволочного типа, см. приложение С) не соответствуют требованиям, приведенным в соответствующих таблицах В.1 – В.14.

Другим вариантом является применение методики геометрического увеличения с увеличением расстояния между детектором (IP или DDA) и объектом в сочетании с использованием рентгеновской трубки с малым фокусным пятном или источника гамма-излучения с малым размером источника.

Если после использования обоих методов требуемые значения IQI еще не достигнуты, система CR или DDA не может быть использована для контроля.

Правильность выбора увеличения должна быть доказана путем использования IQI двухпроволочного типа на объекте контроля для всех радиограммах изделия. IQI двухпроволочного типа должен быть расположен на объекте со стороны ближней к детектору, если $2 SR_b > d$ (d – размер источника или фокусного пятна). В противном случае, IQI двухпроволочного типа должен быть расположен на объекте со стороны источника. Для выбора коэффициента увеличения рекомендуется располагать IQI двухпроволочного типа на обеих сторонах объекта, при этом после выбора правильного коэффициента увеличения и размера источника или размера фокусного пятна на окончательной рентгенограмме объекта должен быть виден только один IQI.

Если применяется автоматизированное распознавание дефектов, IQI могут нарушить цифровые изображения. Если IQI не используются для серийного произ-

водства рентгенограмм, качество изображения должно быть доказано периодическими эталонными изображениями IQI проволочного типа или ступенчатого с отверстиями типа и двухпроволочного типа.

Нерезкость изображения u_{Im} может быть оценена по увеличению v , геометрической нерезкости u_G и SR_b по формуле (10):

$$u_{Im} = \frac{1}{v} \sqrt{(u_G)^2 + (2SR_b)^2} \quad (10)$$

$$\text{где } u_G = \left(\frac{SDD}{f} - 1 \right) d = (v - 1)d, \quad (11)$$

SR_b – базовое пространственное разрешение при увеличении, равном 1;

SDD – расстояние от источника до детектора;

f – расстояние от источника до объекта;

u_G – геометрическая нерезкость;

d – размер фокусного пятна или размер источника в соответствии с EN 12543 или EN 12679;

v – геометрическое увеличение, полученное отношение SDD/f ;

u_{Im} – требуемая максимальная нерезкость изображения в соответствии с таблицами В.13 или В.14 для классов контроля А или В.

Для уменьшения нерезкости изображения до меньшего или равного соответствующему значению, указанному в таблицах В.13 или В.14, увеличение должно быть увеличено и (или) размер фокусного пятна должен быть уменьшен. Это должно быть доказано с помощью IQI двухпроволочного типа, расположенного на объекте, как описано выше.

Коэффициент увеличения обычно отличается для поверхностей объекта со стороны источника и детектора. Таким образом, увеличение v должно быть выбрано для центра объекта. Изменение между величинами увеличения со стороны источника и со стороны детектора должно быть в пределах ± 25 %. Меньшие значения увеличения могут быть выбраны, если применяется СРП, как описано в 7.3.2.

7.8 Максимальная область при однократной экспозиции

Число радиограмм для полного контроля прямолинейных? плоских швов (см. рисунки 1, 15, 17 и 18) и изогнутых швов при расположении источника контроля вне

их центра (см. рисунки 2 – 4 и 8 – 16) должно указываться в спецификации в соответствии с техническими требованиями.

Для контролируемого участка с постоянной толщиной отношение просвечиваемой толщины у внешней границы к просвечиваемой толщине в месте падения центрального луча должно быть не более чем 1,1 для класса В и 1,2 для класса А.

Значения SNR_N , обусловленные любой просвечиваемой толщиной, не должны быть ниже указанных в таблице 3 или 4. В качестве альтернативы, для CR, как показано в приложении D могут быть использованы значения GV.

Размер области, подлежащей контролю, включает в себя шов и зону термического влияния. Как правило, должны быть проконтролированы около 10 мм основного металла с каждой стороны шва.

Рекомендации по числу радиограмм, которое обеспечивает приемлемое качество контроля кольцевого сварного шва, приведены в приложении А.

7.9 Технологический процесс

7.9.1 Сканирование и чтение изображения

Для получения выбранного качества изображения детекторы или сканеры должны использоваться в соответствии с условиями, рекомендованными изготовителем детектора или сканера. Цифровые радиограммы должны быть без артефактов, обусловленных обработкой, транспортировкой или другими причинами, которые могли бы помешать расшифровке.

7.9.2 Настройка (калибровка) DDA

При использовании DDA должна быть применена процедура настройки (калибровки) детектора в соответствии с рекомендациями изготовителя. Детектор должен быть настроен (откалиброван) с фоновым изображением (без излучения) и, по крайней мере, с одним полученным изображением (рентгеновская однородная экспозиция). Многократная настройка увеличивает достигаемое SNR_N и линейность, но занимает больше времени. Чтобы свести к минимуму шум вследствие настройки, все настроечные изображения должны быть приняты с экспозиционной дозой (мА*мин или ГБк*мин), по крайней мере, в два раза большей по сравнению с дозой для получения радиограмм. Если предусмотрено процедурой, настроечные изобра-

жения должны рассматриваться в качестве оригинальных изображений для подтверждения качества контроля. Настройка (калибровка) должна осуществляться периодически либо при изменениях условий экспозиции.

7.9.3 Интерполяция плохих пикселей

Плохие пиксели – неэффективные элементы детекторов DDA. Они описаны в [11].

При использовании DDA, в соответствии с руководством изготовителя, детектор должен быть размечен для определения положения плохих пикселей. Эта карта плохих пикселей должна быть документирована. Интерполяция плохого пикселя является приемлемой и необходимой процедурой рентгенографии с DDA. Рекомендуется применять только DDA, не имеющие ядро скоплений пикселей (СКР) в области контроля (ROI).

Для контроля должны применяться DDA без СКР и CR, которые имеют базовое пространственное разрешение (SR_b) детектора не выше, чем предусмотрено в таблице В.13 или В.14. Если применяется способ увеличения, SR_b^{image} должно быть определено путем измерения на изображении, описанного в приложении С, с IQI двухпроволочного типа, расположенном непосредственно на объекте контроля (см. 7.7). Это значение SR_b должно не более значений, приведенных в таблице В.13 или В.14. Если SR_b детектора или изображения больше значений, приведенных в таблице В.13 или В.14, может быть применен принцип компенсации СРІІ по 7.2.3.

Если DDA или запоминающие пластины применяются для контроля размеров трещин с пространственным разрешением равным примерно SR_b^{image} изображения, требуемое SNR_N должно быть значительно увеличено. Контроль должен быть проведен на основе согласования между изготовителем и заказчиком. Из-за интерполяции плохих пикселей указанное увеличение SNR_N может вводить поправку на местное увеличение нерезкости.

Оценка плохих пикселей должна осуществляться периодически.

Примечание – Также, по аналогии с СРІІ, увеличенное SNR_N вводит поправку на местную нерезкость, вызванную плохой интерполяцией пикселей. Это тоже самое, что и СРІІІ.

7.9.4 Процесс получения изображения

7.9.4.1 Для определения SNR, SR_b и SNR_N цифровые данные радиографического детектора должны быть оценены по отображению линейризованного значения серого, которое прямо пропорционально дозе излучения. Для оптимального отображения изображения, контрастность и яркость могут регулироваться в интерактивном режиме. Дополнительные функции фильтра, графики и инструмент регулировки SNR, SNR_N могут быть интегрированы в программное обеспечение для отображения и анализа изображения. Для критического анализа изображения оператор должен интерпретировать изображение с коэффициентом масштабирования от 1:1 (означает, что один пиксель цифровой радиограммы представлен одним пикселем монитора) до 1:2 (означает, что один пиксель цифровой радиограммы представлен четырьмя пикселями монитора).

7.9.4.2 Дополнительные средства обработки изображений, примененные для обработки сохраненных исходных данных (например, высокочастотная фильтрация для отображения изображения) должны быть документированы, воспроизводимы и быть согласованы между изготовителем и заказчиком.

7.9.4.3 Если для оценки IQI проволочного типа или ступенчатого с отверстиями типа используется дополнительная обработка изображений (например, высокочастотная фильтрация), то те же самые параметры фильтра должны быть использованы как для оценки сварного шва, так и для определения значения IQI.

7.10 Условия просмотра и хранения цифровых рентгенограмм

Цифровые радиограммы должны оцениваться в темном помещении. Настойка монитора должна быть подтверждена соответствующим тестовым изображением.

Дисплей для оценки изображения должен удовлетворять минимальным требованиям а) – d):

- a) минимальная яркость – 250 кд/м²;
- b) отображение не менее 256 оттенков серого;
- c) минимальный коэффициент интенсивности яркости – 1:250;
- d) отображение по крайней мере 1 миллион пикселей размером менее 0,3 мм.

Оригинальные изображения (места контроля) должны храниться с полным разрешением, передаваемым детекторной системой. Чтобы обеспечить отсутствие

артефактов изображения при его обработке с детектора, должны применяться только настроенные до начала хранения данных детекторы (например, после коррекции смещения, настройки (калибровки) для балансировки детектора и коррекции плохих пикселей, см. [11]).

Чтобы обеспечить долговременное хранение, используя сжатие без потери данных, хранение данных должно быть дублирующим и поддерживаться соответствующими алгоритмами резервных копий.

8 Протокол контроля

Для каждой экспозиции или ряда экспозиций должен быть подготовлен протокол контроля, содержащий информацию об использованном радиографическом методе и/или о других особых условиях, что позволит лучше интерпретировать полученные результаты.

Протокол контроля должен включать в себя как минимум следующую информацию:

- a) название контролирующей организации;
- b) контролируемый объект;
- c) материал;
- d) термическая обработка;
- e) геометрия шва;
- f) толщина материала;
- g) процесс сварки;
- h) процедура контроля, включая требования к приемке;
- i) радиографический метод и класс, требуемая чувствительность по IQI в соответствии с настоящим стандартом;
- j) схема контроля в соответствии с 7.1;
- k) увеличение;
- l) используемая система маркировки;
- m) схема расположения детектора;

- n) источник излучения, тип и размер фокусного пятна и идентификация использованного оборудования;
- o) детектор, экраны и фильтры, базовое пространственное разрешение детектора;
- p) сохраняемое и требуемое SNR_N для DDA или сохраняемые и требуемые значения серого и/или SNR_N для CR;
- q) для CR: тип сканера и размер пикселя, скорость сканирования, коэффициент усиления, интенсивность лазера, размер лазерного пятна;
- r) для DDA: тип и коэффициент усиления, длительность цикла, число циклов, размер пикселя, процедура настройки;
- s) использованное напряжение трубки и ток или активность и тип источника излучения;
- t) время экспозиции и расстояние от источника излучения до детектора;
- u) тип и положение индикаторов качества изображения (IQI);
- v) результаты контроля, включающие данные применяемого программного обеспечения, различимости IQI;
- w) использованные параметры обработки изображения, например, цифровые фильтры;
- x) любые отклонения от настоящего стандарта, по согласованию между изготовителем и заказчиком;
- y) фамилия, ссылка на сертификат и подпись ответственного лица (лиц);
- z) дата экспозиции и составления протокола контроля.

Приложение А

(обязательное)

Рекомендуемое число экспозиций, обеспечивающее приемлемое качество контроля кольцевых стыковых сварных швов

Минимальное требуемое число экспозиций для труб наружным диаметром более 100 мм представлено на рисунках А.1 – А.4.

Если отклонение значения толщины стенки контролируемого соединения $\Delta t/t$ при использовании единственной экспозиции не превышает 20 %, то применяют рисунки А.3 и А.4. Такой метод рекомендуется при малой вероятности наличия поперечных трещин или при контроле шва на наличие таких дефектов другими методами неразрушающего контроля.

Если $\Delta t/t$ меньше или равно 10 %, то применяют рисунки А.1 и А.2. В таком случае поперечные трещины должны также выявиться.

Если объект контролируется на наличие единичных поперечных трещин, тогда требуемое число радиограмм возрастает по сравнению со значениями на рисунках А.1 – А.4.

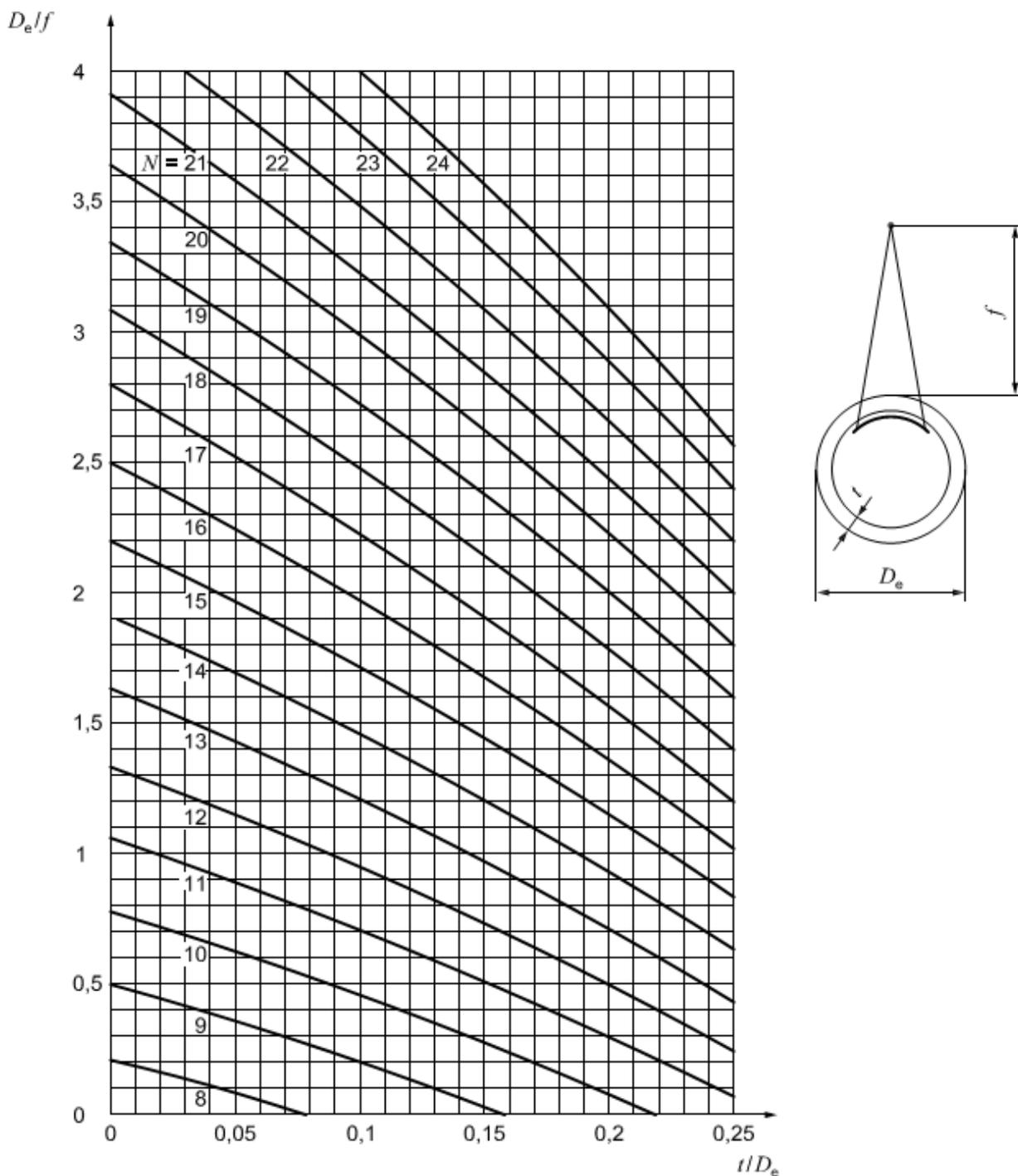
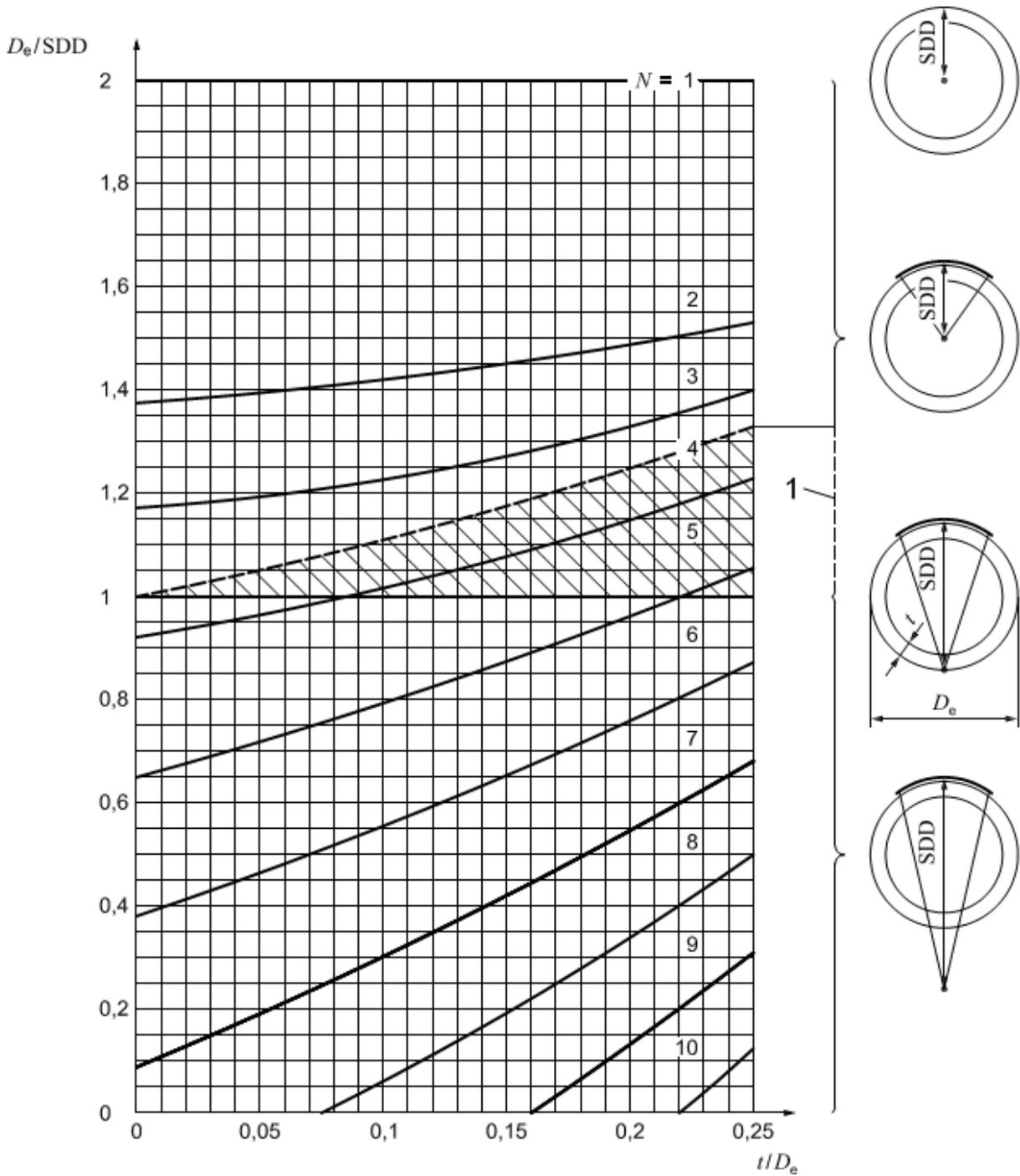


Рисунок А.1 – Минимальное число экспозиций N для просвечивания через одну стенку с источником снаружи, с максимальным допустимым увеличением просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за косо направления излучения в проверяемой области равным 10% (класс В), в зависимости от отношений t/D_e и D_e/f .



l – внутренняя стенка трубы

Рисунок А.2 – Минимальное число экспозиций N при эксцентрическом просвечивании с источником внутри, а также просвечивание через две стенки с максимальным допустимым увеличением просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за косо направленного излучения равным 10% (класс В), в зависимости от отношений t/D_e и D_e/SDD

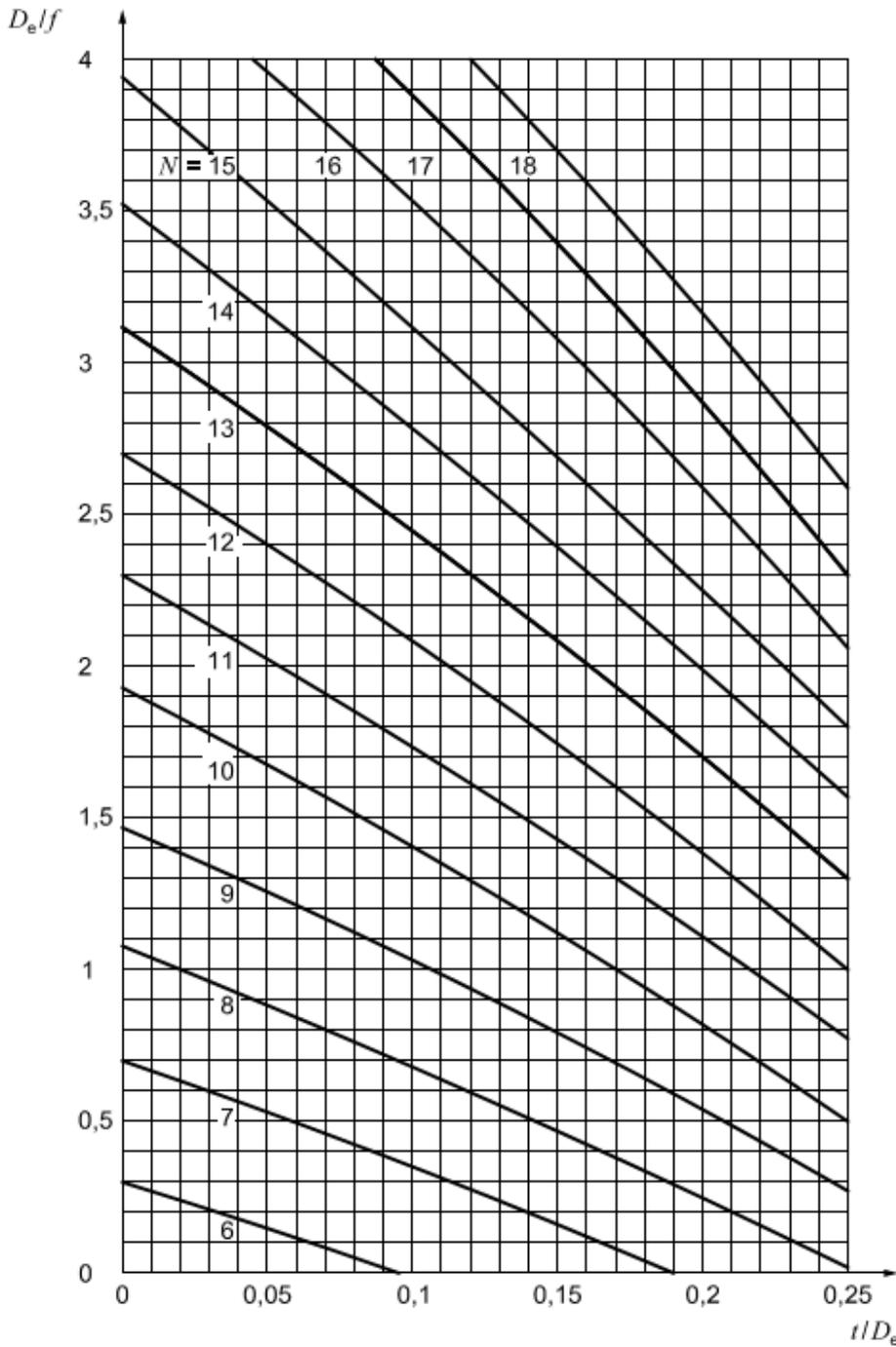
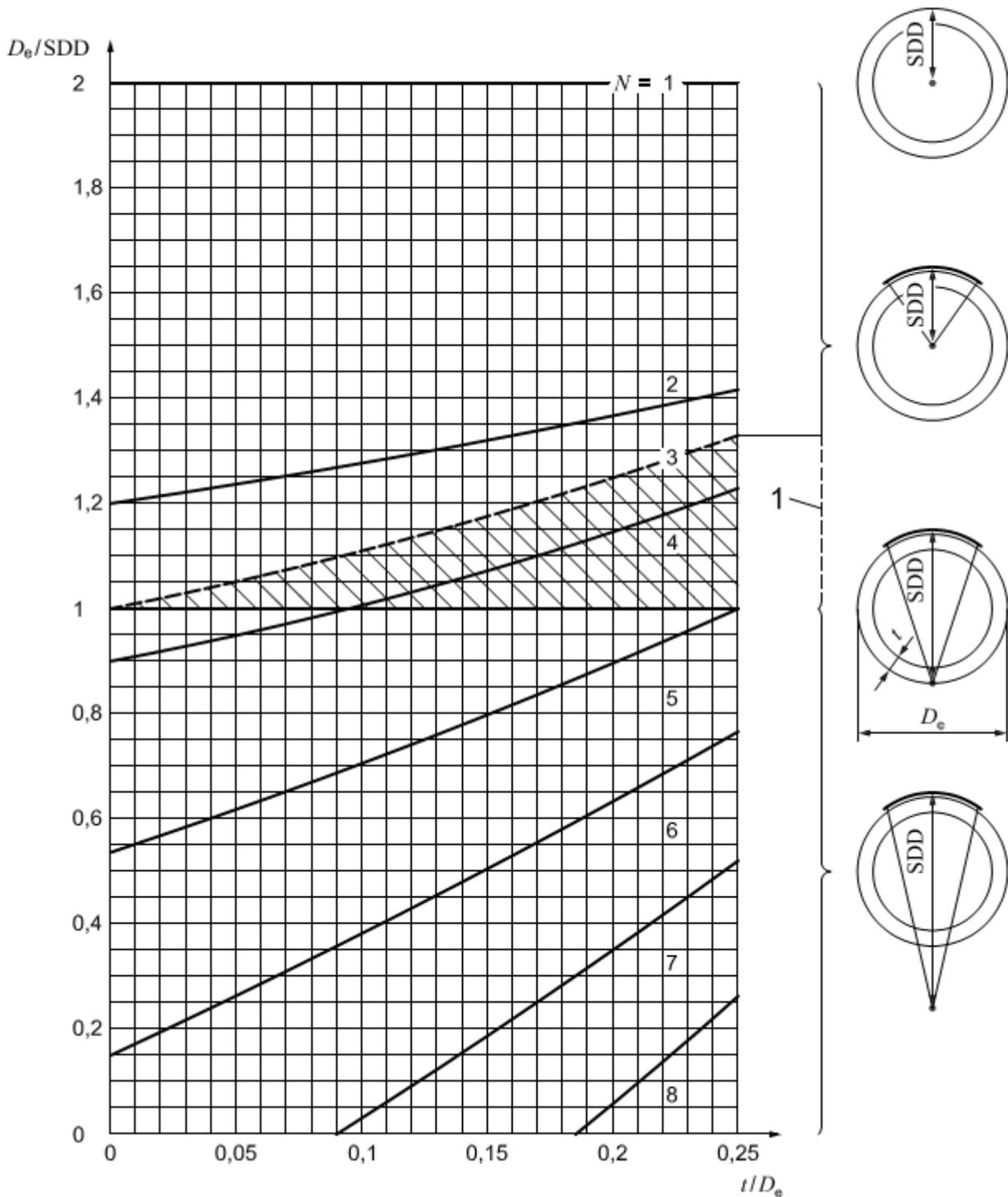


Рисунок А.3 – Минимальное число экспозиций N при просвечивании через одну стенку с источником снаружи, с максимальным допустимым увеличением просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за косо го направления излучения в проверяемой области равным 20% (класс А), как функция отношений t/D_e и D_e/f



l – внутренняя стенка трубы

Рисунок А.4 – Минимальное число экспозиций N при эксцентрическом просвечивании с источником внутри, а также просвечивание через две стенки, с максимальным допустимым увеличением просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за косо го направления излучения в проверяемой области равным 20 % (класс А), как функция отношений t/D_e и D_e/SDD

Приложение В

(обязательное)

Минимальные значения качества изображения

В.1 Способ контроля через одну стенку; IQI со стороны источника

Т а б л и ц а В.1 – IQI проволочного типа

Изображение класса качества А	
Номинальная толщина t , мм	Номер IQI
до 1,2 включ.	W 18
св. 1,2 до 2,0 включ.	W 17
св. 2,0 до 3,5 включ.	W 16
св. 3,5 до 5,0 включ.	W 15
св. 5,0 до 7,0 включ.	W 14
св. 7,0 до 10,0 включ.	W 13
св. 10,0 до 15,0 включ.	W 12
св. 15,0 до 25,0 включ.	W 11
св. 25,0 до 32,0 включ.	W 10
св. 32,0 до 40,0 включ.	W 9
св. 40,0 до 55,0 включ.	W 8
св. 55,0 до 85,0 включ.	W 7
св. 85,0 до 150,0 включ.	W 6
св. 150,0 до 250,0 включ.	W 5
св. 250,0	W 4

Т а б л и ц а В.2 – IQI ступенчатого с отверстиями типа

Изображение класса качества А	
Номинальная толщина t , мм	Номер IQI
до 2,0 включ.	H 3
св. 2,0 до 3,5 включ.	H 4
св. 3,5 до 6,0 включ.	H 5
св. 6,0 до 10,0 включ.	H 6
св. 10,0 до 15,0 включ.	H 7
св. 15,0 до 24,0 включ.	H 8
св. 24,0 до 30,0 включ.	H 9
св. 30,0 до 40,0 включ.	H 10
св. 40,0 до 60,0 включ.	H 11
св. 60,0 до 100,0 включ.	H 12
св. 100,0 до 150,0 включ.	H 13
св. 150,0 до 200,0 включ.	H 14
св. 200,0 до 250,0 включ.	H 15
св. 250,0 до 320,0 включ.	H 16
св. 320,0 до 400,0 включ.	H 17
св. 400,0	H 18

Т а б л и ц а В.3 – IQI проволочного типа

Изображение класса качества В	
Номинальная толщина t , мм	Номер IQI
до 1,5 включ.	W 19
св. 1,5 до 2,5 включ.	W 18
св. 2,5 до 4,0 включ.	W 17
св. 4,0 до 6,0 включ.	W 16
св. 6,0 до 8,0 включ.	W 15
св. 8,0 до 12,0 включ.	W 14
св. 12,0 до 20,0 включ.	W 13
св. 20,0 до 30,0 включ.	W 12
св. 30,0 до 35,0 включ.	W 11
св. 35,0 до 45,0 включ.	W 10
св. 45,0 до 65,0 включ.	W 9
св. 65,0 до 120,0 включ.	W 8
св. 120,0 до 200,0 включ.	W 7
св. 200,0 до 350,0 включ.	W 6
св. 350	W 5

Т а б л и ц а В.4 – IQI ступенчатого с отверстиями типа

Изображение класса качества В	
Номинальная толщина t , мм	Номер IQI
до 2,5	H 2
св. 2,5 до 4,0 включ.	H 3
св. 4,0 до 8,0 включ.	H 4
св. 8,0 до 12,0 включ.	H 5
св. 12,0 до 20,0 включ.	H 6
св. 20,0 до 30,0 включ.	H 7
св. 30,0 до 40,0 включ.	H 8
св. 40,0 до 60,0 включ.	H 9
св. 60,0 до 80,0 включ.	H 10
св. 80,0 до 100,0 включ.	H 11
св. 100,0 до 150,0 включ.	H 12
св. 150,0 до 200,0 включ.	H 13
св. 200,0 до 250,0 включ.	H 14

В.2 Способ контроля через две стенки; два изображения; IQI со стороны источника

Т а б л и ц а В.5 – IQI проволочного типа

Изображение класса качества А	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 1,2 включ.	W 18
св. 1,2 до 2,0 включ.	W 17
св. 2,0 до 3,5 включ.	W 16
св. 3,5 до 5,0 включ.	W 15
св. 5,0 до 7,0 включ.	W 14
св. 7,0 до 12,0 включ.	W 13
св. 12,0 до 18,0 включ.	W 12
св. 18,0 до 30,0 включ.	W 11
св. 30,0 до 40,0 включ.	W 10
св. 40,0 до 50,0 включ.	W 9
св. 50,0 до 60,0 включ.	W 8
св. 60,0 до 85,0 включ.	W 7
св. 85,0 до 120,0 включ.	W 6
св. 120,0 до 220,0 включ.	W 5
св. 220,0 до 380,0 включ.	W 4
св. 380,0	W 3

Т а б л и ц а В.6 – IQI ступенчатого с отверстиями типа

Изображение класса качества А	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 1,0 включ.	H 3
св. 1,0 до 2,0 включ.	H 4
св. 2,0 до 3,5 включ.	H 5
св. 3,5 до 5,5 включ.	H 6
св. 5,5 до 10,0 включ.	H 7
св. 10,0 до 19,0 включ.	H 8
св. 19,0 до 35,0 включ.	H 9

Т а б л и ц а В.7 – IQI проволочного типа

Изображение класса качества В	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 1,5 включ.	W 19
св. 1,5 до 2,5 включ.	W 18
св. 2,5 до 4,0 включ.	W 17
св. 4,0 до 6,0 включ.	W 16
св. 6,0 до 8,0 включ.	W 15
св. 8,0 до 15,0 включ.	W 14
св. 15,0 до 25,0 включ.	W 13
св. 25,0 до 38,0 включ.	W 12
св. 38,0 до 45,0 включ.	W 11
св. 45,0 до 55,0 включ.	W 10
св. 55,0 до 70,0 включ.	W 9
св. 70,0 до 100,0 включ.	W 8
св. 100,0 до 170,0 включ.	W 7
св. 170,0 до 250,0 включ.	W 6
св. 250	W 5

Т а б л и ц а В.8 – IQI ступенчатого с отверстиями типа

Изображение класса качества В	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 1,0 включ.	H 2
св. 1,0 до 2,5 включ.	H 3
св. 2,5 до 4,0 включ.	H 4
св. 4,0 до 6,0 включ.	H 5
св. 6,0 до 11,0 включ.	H 6
св. 11,0 до 20,0 включ.	H 7
св. 20,0 до 35,0 включ.	H 8

В.3 Способ контроля через две стенки; одно или два изображения; IQI со стороны детектора

Т а б л и ц а В.9 – IQI проволочного типа

Изображение класса качества А	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 1,2 включ.	W 18
св. 1,2 до 2,0 включ.	W 17
св. 2,0 до 3,5 включ.	W 16
св. 3,5 до 5,0 включ.	W 15
св. 5,0 до 10,0 включ.	W 14
св. 10,0 до 15,0 включ.	W 13
св. 15,0 до 22,0 включ.	W 12
св. 22,0 до 38,0 включ.	W 11
св. 38,0 до 48,0 включ.	W 10
св. 48,0 до 60,0 включ.	W 9
св. 60,0 до 85,0 включ.	W 8
св. 85,0 до 125,0 включ.	W 7
св. 125,0 до 225,0 включ.	W 6
св. 225,0 до 375,0 включ.	W 5
св. 375,0	W 4

Т а б л и ц а В.10 – IQI ступенчатого с отверстиями типа

Изображение класса качества А	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 2,0 включ.	H 3
св. 2,0 до 5,0 включ.	H 4
св. 5,0 до 9,0 включ.	H 5
св. 9,0 до 14,0 включ.	H 6
св. 14,0 до 22,0 включ.	H 7
св. 22,0 до 36,0 включ.	H 8
св. 36,0 до 50,0 включ.	H 9
св. 50,0 до 80,0 включ.	H 10

Т а б л и ц а В.11– IQI проволочного типа

Изображение класса качества В	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 1,5 включ.	W 19
св. 1,5 до 2,5 включ.	W 18
св. 2,5 до 4,0 включ.	W 17
св. 4,0 до 6,0 включ.	W 16
св. 6,0 до 12,0 включ.	W 15
св. 12,0 до 18,0 включ.	W 14
св. 18,0 до 30,0 включ.	W 13
св. 30,0 до 45,0 включ.	W 12
св. 45,0 до 55,0 включ.	W 11
св. 55,0 до 70,0 включ.	W 10
св. 70,0 до 100,0 включ.	W 9
св. 100,0 до 180,0 включ.	W 8
св. 180,0 до 300,0 включ.	W 7
св. 300	W 6

Т а б л и ц а В.12 – IQI ступенчатого с отверстиями типа

Изображение класса качества В	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер IQI
до 2,5 включ.	H 2
св. 2,5 до 5,5 включ.	H 3
св. 5,5 до 9,5 включ.	H 4
св. 9,5 до 15,0 включ.	H 5
св. 15,0 до 24,0 включ.	H 6
св. 24,0 до 40,0 включ.	H 7
св. 40,0 до 60,0 включ.	H 8
св. 60,0 до 80,0 включ.	H 9

В.4 Нерезкость

Т а б л и ц а В.13 – Максимальная нерезкость изображения класса качества А для всех способов

Изображение класса качества А: IQI двухпроволочного типа по ISO 19232-5		
Просвечиваемая толщина w^a , мм	Минимальное значение IQI и максимальная нерезкость (ISO 19232-5) ^b , мм	Максимальное базовое пространственное разрешение (приравненное к толщине проволоки и зазору) ^b , SR_b^{image} , мм
$w \leq 1,0$	D13	0,05
	0,10	
$1,0 < w \leq 1,5$	D12	0,063
	0,125	
$1,5 < w \leq 2,0$	D11	0,08
	0,16	
$2,0 < w \leq 5,0$	D10	0,10
	0,20	
$5,0 < w \leq 10,0$	D9	0,13
	0,26	
$10,0 < w \leq 25,0$	D8	0,16
	0,32	
$25,0 < w \leq 55,0$	D7	0,20
	0,40	
$55,0 < w \leq 150,0$	D6	0,25
	0,50	
$150,0 < w \leq 250,0$	D5	0,32
	0,64	
$w > 250,0$	D4	0,40
	0,80	

^a Для схемы контроля через две стенки с одним изображением вместо просвечиваемой толщины w должна применяться номинальная толщина t .

^b Оценка IQI при выборе системы (см. приложение С) применяется для контактной радиографии. Если используется методика геометрического увеличения (см. 7.7), оценка IQI должна быть выполнена на соответствующих эталонных радиограммах.

Т а б л и ц а В.14 – Максимальная нерезкость изображения класса качества В для всех способов

Изображение класса качества В: IQI двухпроволочного типа по ISO 19232-5		
Просвечиваемая толщина w^a , мм	Минимальное значение IQI и максимальная нерезкость (ISO 19232-5) ^b , мм	Максимальное базовое пространственное разрешение (приравненное к толщине проволоки и зазору) ^b , SR_b^{image} , мм
$w \leq 1,5$	D13+	0,04
	0,06	
$1,5 < w \leq 4,0$	D13	0,05
	0,10	
$4,0 < w \leq 8,0$	D12	0,063
	0,125	
$8,0 < w \leq 12,0$	D11	0,08
	0,16	
$12,0 < w \leq 40,0$	D10	0,10
	0,20	
$40,0 < w \leq 120,0$	D9	0,13
	0,26	
$120,0 < w \leq 200,0$	D8	0,16
	0,32	
$w > 200,0$	D7	0,20
	0,40	

^a Для схемы контроля через две стенки с одним изображением вместо просвечиваемой толщины w должна применяться номинальная толщина t .

^b Оценка IQI при выборе системы (см. приложение С) применяется для контактной радиографии. Если используется методика геометрического увеличения (см. 7.7), оценка IQI должна быть выполнена на соответствующих эталонных радиограммах.

П р и м е ч а н и е - «D13+» достигается, если разрешение по парным проволокам D13 получено при снижении показания между глубиной впадины к пикам на гистограмме больше, чем 20 %.

Приложение С

(обязательное)

Определение базового пространственного разрешения

Исходными данными для измерения значений базового пространственного разрешения являются линейаризованные уровни серого. Это означает, что значения серого должны быть пропорциональны облучению в данном месте изображения. Это, как правило, поддерживается программным обеспечением изготовителя.

Для определения базового пространственного разрешения детектора SR_b IQI двухпроволочного типа должен располагаться непосредственно на поверхности детектора или кассеты и распознаваться в соответствии с ISO 19232-5.

Примечание – Если IQI двухпроволочного типа располагается на объекте контроля, а не на детекторе, имеет место измерение базового пространственного разрешения изображения SR_b^{image} , базовое пространственное разрешение SR_b детектора ($SR_b^{detector}$) не получается.

Если нерезкость первой пары проволок не может быть явно распознана (по ISO 19232-5), применяется метод 20 % отношения глубины впадины к пикам на гистограмме (dip), как указано далее.

В результате теста IQI на цифровой радиограмме должны быть зарегистрирована первая пара проволок, дающая отношение глубины впадины на гистограмме менее чем на 20 % по отношению к размеру двойного пика (dip) (см. рисунок С.1) [например D8, как показано на рисунке С.1, *d*]. Для распознавания первой пары проволок с отношением глубины менее 20 % [при усреднении обоих минимумов – рисунок С.1, *d*] должна быть использована функция профиля программного обеспечения для обработки изображений. Также для улучшения SNR профиля участка, профиль должен быть усреднен, по крайней мере, по 21-ой отдельной профильной линии [рисунок С.1, *b* и *c*].

По использованному IQI двухпроволочного типа, соответствующего стандарту ISO19232-5, должна быть определена нерезкость изображения u_i и рассчитано базовое пространственное разрешение детектора SR_b по следующей формуле

$$SR_b = \frac{1}{2} u_i \quad (C.1)$$

Для того, чтобы избежать эффектов наложения, IQI двухпроводочного типа должен быть расположен под углом примерно от 2° до 5° к рядам или колонкам пикселей, как показано на рисунке С.1.

Определение базового пространственного разрешения SR_b для системы цифрового детектора должно выполняться без объекта контроля в соответствии с одним из следующих условий экспозиции:

а) контроль легких сплавов:

- напряжение трубки – 80 кВ,
- предустановленный фильтр из алюминия толщиной 1 мм;

б) контроль стали и медных сплавов с толщиной просвечивания до 20 мм

включ.:

- напряжение трубки – 160 кВ,
- предустановленный фильтр из меди толщиной 1 мм;

в) контроль стали и медных сплавов с толщиной просвечивания более 20мм:

- напряжение трубки – 220 кВ,
- предустановленный фильтр из меди толщиной 2 мм;

г) радиография с использованием гамма-источников и источников высокой

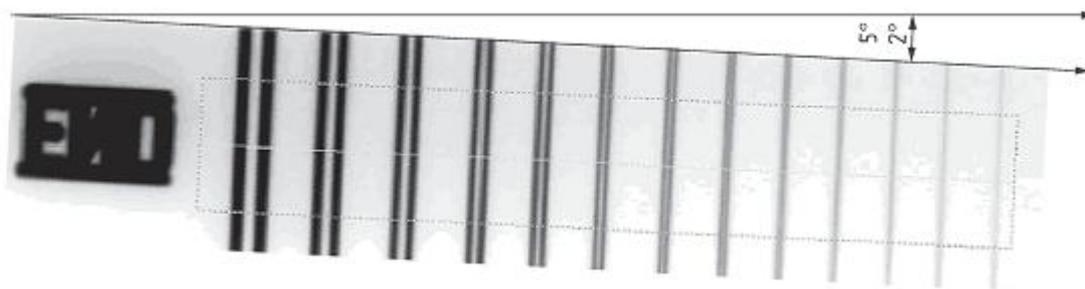
энергии:

- использование в соответствии с процедурой гамма-источника или источника рентгеновского излучения более 1 МВ,
- предустановленный фильтр из меди толщиной 2 мм или для Se^{75} , Ir^{192} – из меди толщиной 4 мм, или для Co^{60} или рентгенографического излучения трубки с напряжением более 1 МВ – из стали толщиной 8 мм.

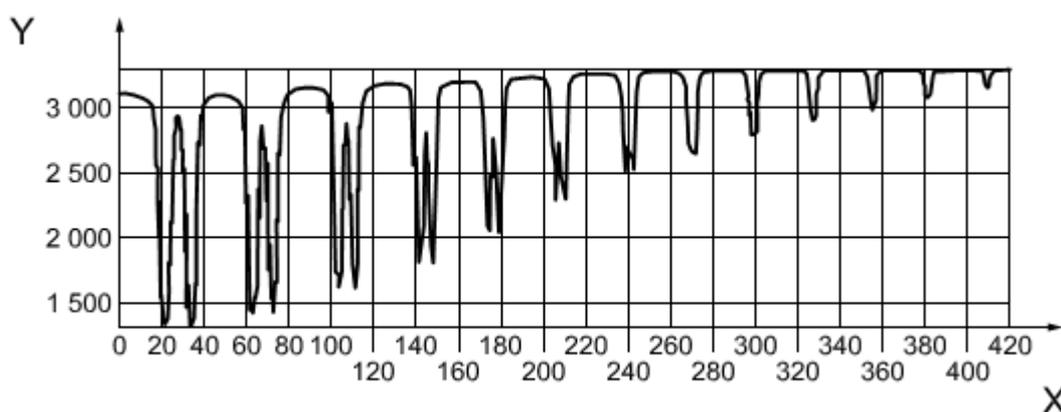
IQI двухпроводочного типа должен располагаться непосредственно на поверхности детектора или кассеты. Расстояние от источника до детектора должно быть 100 ± 5 см. На контрольной радиограмме среднее значение серого цифрового изображения должно быть больше 50 % от максимального значения серого, значение SNR должно превышать 100 – для стандартных систем с размером пикселя от 80 мкм включ., и 70 – для систем с высоким разрешением с размером пикселя менее 80 мкм. Базовое пространственное разрешение применяемой цифровой системы [см.

формулу (С.1)], измеренное на тестовой радиограмме при настройке системы, должно быть записано в протоколе контроля.

Базовое пространственное разрешение детектора CR-системы должно быть измерено в перпендикулярном и параллельном направлениях сканирования лазерного луча. Наибольшее из двух значений SR_b или SR_b^{detector} должно быть использовано как результирующее базовое разрешение детектора.

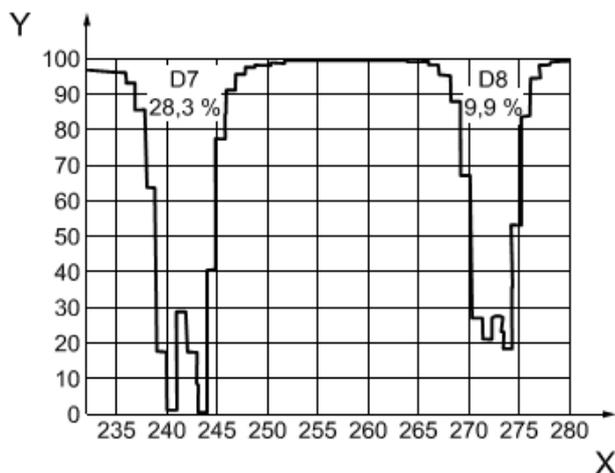


a – Изображение на радиограмме IQI двухпроволочного типа

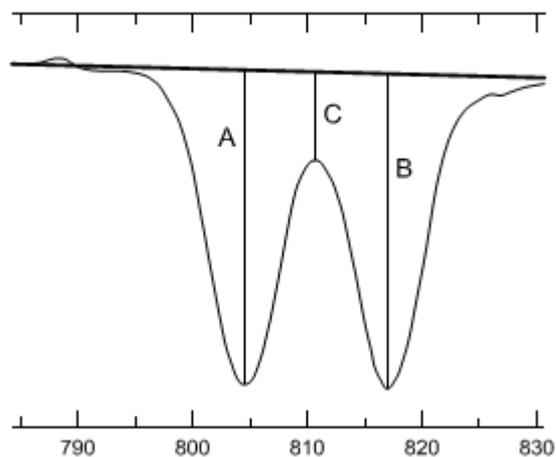


b – Профиль отображения IQI двухпроволочного типа, усредненного по 21-ой линии

Рисунок С.1 – Пример оценки IQI двухпроволочного типа с результатом значения IQI – D8, с отношением глубины впадины к пикам на гистограмме (dip) менее 20 %.



c – Увеличенный профиль проволочных пар D7 и D8



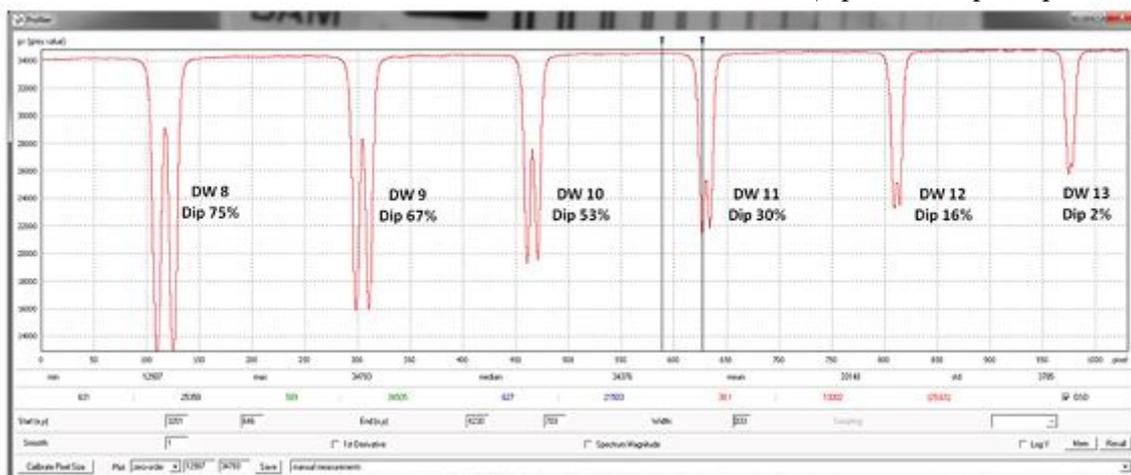
d – Схема расчета отношения глубины впадины к пикам на гистограмме (dip): $dip = 100 \times (A + B - 2C) / (A + B)$, %

D7, D8 – значения IQI двухпроводочного типа; X – расстояние; Y – амплитуда

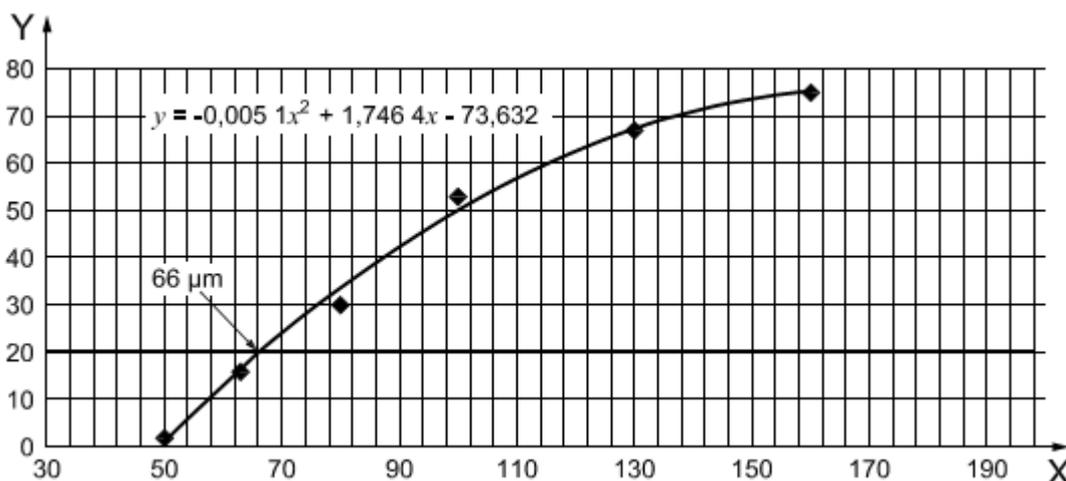
Рисунок С.1, лист 2

Для повышения точности в измерении значений SR_b или $SR_b^{detector}$, значение 20 % отношения глубины впадины к пикам на гистограмме (dip) должно быть получено интерполяцией изменения впадин соседних парных проволочек.

Рисунок С.2 представляет соответствующую процедуру для CR системы с высоким разрешением.



a – Профиль участка измеренного профиля системы высокого разрешения с определенными впадинами (dip)



b – Интерполяция впадин по отношению к диаметрам парных проволок (соответствует SR_b). Значение 20 % определяется из пересечения с линией 20 %, в результате чего $iSR_b = 66$ мкм

Рисунок С.2 – Пример определения интерполированного базового пространственного разрешения ($iSR_b^{detector}$) путем интерполяции измеренной модуляции (dip) элементов соседних парных проволок

Для расчета пересечения с 20 % линией, как указано на рисунке С.2, зависимость впадин (dip) от диаметра проволоки должна быть представлена полиномом второго порядка. Для интерполяции должны использоваться только значения модуляции больше нуля.

Интерполированное значение SR_b (см. рисунок С.2) должно быть зарегистрировано, как «значение интерполированного SR_b », или « SR_b^{detector} ». По согласованию между изготовителем и заказчиком это значение может использоваться для не интерполированного значения SR_b .

Приложение D

(обязательное)

Определение минимального значения серого для CR системы

D.1 Определение SNR_N по $SNR_{measured}$

Процедура измерения отношения сигнал-шум подробно описана в ISO 16371-1:2011, п. 6.1. Измеренное отношение сигнала к шуму, $SNR_{measured}$, обычно определяется на области размером 20x55 пикселей (области интереса) как отношение линейаризованного значения серого к его среднеквадратичному отклонению, как описано в ISO 16371-1:2011, п. 6.1.1. Линейаризованное значение серого прямо пропорционально дозе излучения, измеряемого в области интереса (ROI), и равно нулю в необлученных областях. Этот режим должен быть выбран для измерения SNR_N .

Примечание – Область измерения SNR должна быть ограничена шириной 20 пикселей. Длина может быть более 55 пикселей. Большая длина повышает точность измерения SNR. Особенно это важно, если среднее значение графика SNR рассматривается в программном обеспечении, как указано в ISO 16371-1.

Для одинаковых экспозиций, нерезкость цифровых систем может достигать измеренного значения SNR, которое выше, чем в аналогичных системах, имеющих более низкую эффективность обнаружения мелких дефектов. Поэтому измеренное SNR нормализуется базовым пространственным разрешением. Системы с одинаковым нормированным базовым пространственным разрешением имеют одинаковую способность визуализации мелких деталей.

Нормализация основывается на значении базового пространственного разрешения CR-системы (SR_b), определенном в соответствии с условиями изготовителя или по процедуре, описанной в приложении C.

Все значения SNR_N определяются следующим образом:

$$SNR_N = SNR_{measured} \times \frac{88,6 \mu m}{SR_b} \quad (D.1)$$

Если базовое пространственное разрешение включено как инструмент программного обеспечения, и для измерения выделена ROI, значение SNR_N обычно определяется программным обеспечением изготовителя системы.

Если были изменены параметры сканера, такие как разрешающая способность, скорость сканирования и/или тип запоминающей пластины, требуется новая проверка (калибровка) CR-системы путем измерения базового пространственного разрешения SR_b .

В Таблице D.1 приведены значения SNR_N и преобразование ненормированного значения SNR для CR-систем с разными параметрами SR_b . Пользователь может определить по таблице D.1 преобразованные значения SNR, применяемые вместо значений SNR_N , если программное обеспечение изготовителя не предоставляет значения SNR_N .

Т а б л и ц а D.1 – Требуемые значения $SNR_{measured}$ для выбранных CR-систем с различными SR_b , эквивалентными SNR_N

Параметр системы	Система с высоким разрешением				Стандартная система				
	13+	13	12	11	10	9	8	7	6
Оценка IQI двухпроволочного типа	13+	13	12	11	10	9	8	7	6
Базовое пространственное разрешение SR_b	40μm	50μm	63μm	80μm	100μm	130μm	160μm	200μm	250μm
Требуемое SNR_N (таблицы 3 и 4)	Требуемое $SNR_{measured}$								
150	65	85	110	135	170	220	270	340	425
120	55	70	85	110	135	180	220	270	340
100	45	60	75	90	115	150	185	225	285
70	35	40	50	65	80	105	130	160	200

D.2 Определение минимальных значений серого

Так как измерения SNR_N требуют зону цифрового изображения с однородным распределением уровня серого при проведении CR контроля объекта неравномерной толщины, могут быть предварительно определены минимальные уровни серого вместо минимальных значений SNR_N . Также это может упростить использование различного программного обеспечения обработки изображений.

Для измерения корректных значений SNR_N и эквивалентных значений серого исходными данными являются линеаризованные уровни серого. Это означает, что значения серого должны быть прямо пропорциональны воздействию излучения в

месте (без смещения) сканированного изображения с пластины. Это, как правило, поддерживается программным обеспечением изготовителя.

При применении CR-системы, если она обеспечивает линейризованные уровни серого, зависимость значения SNR_N от среднего значения серого может быть использована, если не была выполнена обработка изображений. Отношение между уровнями серого и SNR_N может быть использовано только для конкретного типа сканера, параметров сканирования, типа и марки запоминающих пластин. Изменение настроек сканера, такие как разрешающая способность, скорость сканирования, напряжения фотоумножителя или усиления требуют нового определения минимального значения серого, эквивалентного требуемому SNR_N .

П р и м е ч а н и е – Для CR корреляция между SNR_N и средним значением серого для рентгеновской трубки с напряжением от 50 кВ до нескольких мегавольт, а также для гамма-источников, не зависит от настроек напряжения и силы тока. Это не относится к DDA-системе. Будучи эквивалентной минимальным значениям SNR_N , оценка минимальных значений серого может быть использована при любых условиях эксплуатации, указанных в приложении С.

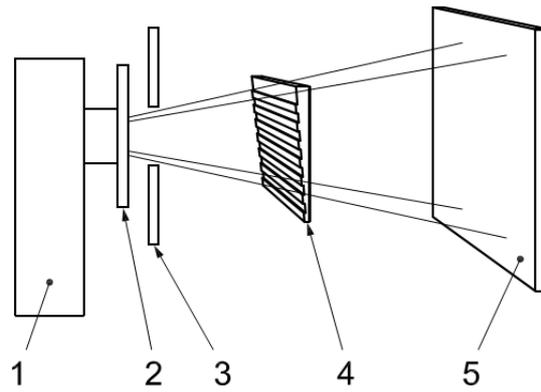
Для определения минимального значения серого как эквивалентного минимального значения SNR_N по таблицам 3 или 4 может быть применена процедура, описанная в перечислениях а) – d):

а) Выполнить экспозицию ступенчатого клина, как указано на рисунке D.1. Рекомендуется использовать ступенчатый клин с большими площадями ступеней для предотвращения эффектов затенения. Ступенчатый клин должен полностью перекрывать цифровое изображение детектора.

б) Измерить среднего значение серого и SNR_N на каждой ступени, как показано на рисунке D.2.

в) Отобразить на графике измеренное SNR_N (SNR) как функцию от среднего значения серого (рисунок D.3).

д) Определить эквивалентное минимальное значение серого для минимального требуемого SNR_N по спецификации в соответствии с таблицами 3 или 4.



1 – рентгеновская трубка; 2 – медный фильтр; 3 – коллиматор; 4 – медный ступенчатый клин; 5 – кассета с IP

Рисунок D.1 – Установка для определения эквивалентных требуемым минимальным значениям SRN_N (по таблицам 3 или 4) значений серого CR-системы

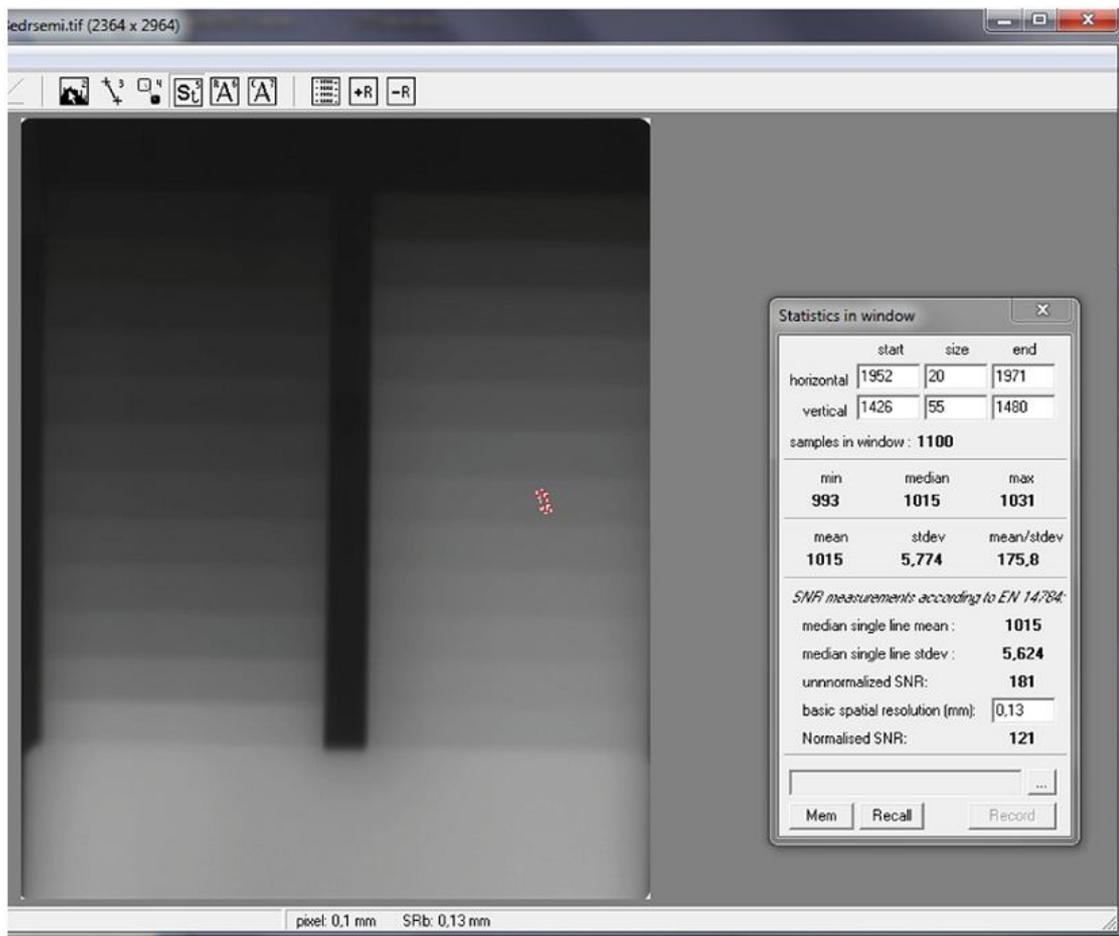
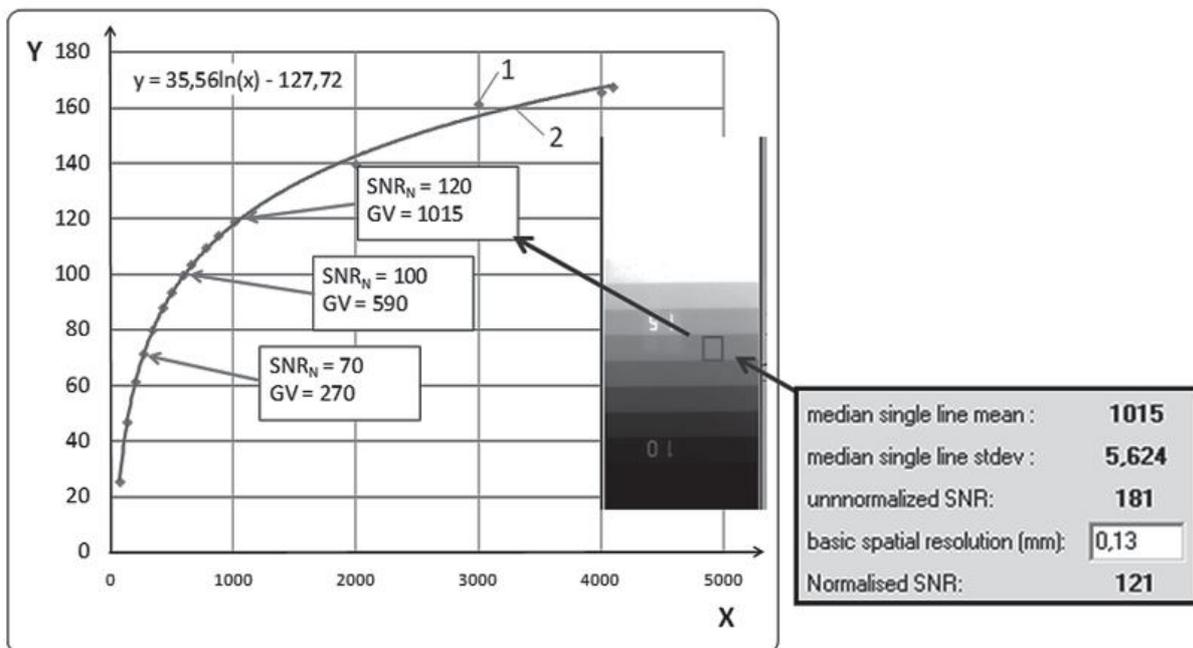


Рисунок D.2 – Результаты измерения среднего значения серого и SRN_N на ступени ступенчатого клина

Т а б л и ц а D.2 – Пример спецификации минимальных значений серого (рассматривать с рисунком D.3)

Требуемое SNR_N	Соответствующие минимальные уровни серого при настройке усиления 1	Соответствующие минимальные уровни серого при настройке усиления 2
150	1 250	2 500
120	1 015	2 030
100	590	1 180
70	270	540



1 – измеренное значение на ступенчатом клине; 2 – кривая, соответствующая измерениям на ступенчатом клине; X – значение серого GV; Y – нормализованное SNR_N

П р и м е ч а н и е – Значения серого могут быть указаны как эквивалентные различным значениям SNR_N для применяемого CR-сканера, параметрам сканирования (например, настройка усиления 1) и типу IP.

Рисунок D.3 – График соотношения SNR_N и средних значений серого по измерениям с соответствии с рисунком D.2

Таким образом, значение серого может быть принято для определения минимального значения серого (GV_{min}) CR-системы аналогично минимальной оптической плотности пленки при пленочной радиографии (см. рисунок D.3).

В качестве альтернативы вышеописанной процедуре, запоминающая пластина (IP) может быть экспонирована последовательно с разными коэффициентами экспозиции ($\text{мА} \cdot \text{мин}$) (для рентгеновских источников) или временем экспозиции (для гамма-источников). Экспозицию рекомендуется выполнять в тех же условиях, как описано в приложении С.

Если для получения радиограммы применяется эта процедура, дополнительные экраны или стальные или алюминиевые листы должны устанавливаться перед кассетой запоминающей пластины (IP) или IP в упаковке. Минимальные значения серого GV_{\min} должны быть определены на цифровых радиограммах в зависимости от достигнутого и требуемого SNR_N или SNR (см. рисунок D.3), как показано в таблице D.1.

Нет необходимости измерять значения SNR или SNR_N на радиограммах продукции, если в области интереса на радиограмме продукции всегда достигается указанное минимально значение серого GV_{\min} .

Для большей точности рекомендуется вывести диаграмму, как показано на рисунке D.3.

Если минимальные значения серого (GV_{\min}) указаны в процедуре, то должны быть документированы точные настройки CR-сканера и соответствующий тип IP.

Окончательные специфицируемые минимальные значения серого рекомендуется представить в виде таблицы, как показано на примере таблицы D.2.

Некоторые системы сканирования могут обеспечивать сниженные значения SNR_N при высоких значениях серого и низких настройках усиления. Если это имеет место, должны быть специфицированы максимальные уровни серого, которые не должны превышать

Приложение Е

(справочное)

Значения серого. Основные примечания

Е.1 Общие положения

В компьютерной радиографии значения серого могут применяться для представления зрительного восприятия (видимости) как функции от контраста и шумов изображения (SNR или значение серого используется вместо оптической плотности и класса пленки при пленочной радиографии); поэтому линейные оригинальные значения серого используются для измерения количества проникающего излучения в определенной области детали. В связи с этим для 12-битной CR-системы, значение серого «0» соответствует «0» дозе облучения (белое на негативном изображении радиографической пленки), а значение серого «4095» соответствует насыщенному детектору (черное на негативном изображении радиографической пленки).

Измерения значения серого и SNR_N должны выполняться с использованием соответствующих инструментов программного обеспечения, которые определяют усредненное значение серого (среднее значение) в границах ROI и/или SNR_N , которое является отношением усредненного значения серого к стандартному отклонению значений серого в границах ROI. Для качественных измерений минимальная область изображения ROI должна содержать 1 100 пикселей (т.е. 20x55 пикселей, см. ISO 16371-1).

Примечание – Измеренные значения серого запоминаящих пластин точно пропорциональны экспозиционной дозе для установленного радиационного излучения. Коэффициент пропорциональности между дозой и значением серого определяется внутренними (электронными) настройками усиления сканера, свойствами фотоумножителя, а также свойства аналого-цифрового преобразователя (например, количество бит). Любые изменения этих параметров требуют нового подтверждения минимальных значений серого, как определено в приложении D. Некоторые системы обеспечивают значения серого в логарифмической или квадратичной зависимости при неизвестном нулевом нормализованном значении. Эти значения должны быть линеаризованы и связаны с действительным нулевым значением (соответствующим нулевой экспозиционной дозе), в противном случае значения серого не могут трактоваться как аналог оптической плотности на

пленке и не могут быть использованы для измерений SNR или CNR. Значения серого и SNR_N должны быть определены до любой цифровой фильтрации при цифровой радиографии.

Е.2 Контроль шумов

При экспозиции в недостаточно оптимальных условиях, изображения в компьютерной радиографии становятся «шумом». Чрезмерный шум изображения при CR (низкий SNR_N или CNR) может стать существенным препятствием для достижения требований к качеству изображения.

Причины:

а) Низкая экспозиционная доза от рентгеновского или гамма-источника приводит к низкому CNR. CNR возрастает с увеличением экспозиции ($мА \cdot сек$ или $ГБк \cdot мин$) до максимального значения с учетом допустимого значения собственного (структурного) шума системы, применяемого детектора.

б) Запоминающие пластины (IP) генерирует шумы изображения из-за внутренней кристаллической структуры, чувствительной к излучению, и неровности поверхности. При выборе радиографии с высококачественным уровнем, рекомендуются запоминающие пластины (IP) с низким уровнем собственных шумов (низко зернистого типа). Изготовитель может представить информацию о максимальном достигаемом SNR_N систем сканирующих запоминающих пластин.

в) Матричный цифровой детектор (DDA) генерирует шум вследствие различных свойств детекторных элементов. Это может быть исправлено процедурой настройки. Современные методы настройки позволяют достичь очень высокие значения SNR. Учет термических и других эффектов, в том числе максимального времени экспозиции при настройке изображений, обеспечивают эффективность настройки и небольшого значения остаточного постоянного шума системы.

г) Шумы генерируются некоторыми материалами, как например высоконикелевыми сплавами или с грубой поверхностью. Шум может скрыть видимость мелких дефектов и даже уменьшить показания IQI.

д) Обратное рассеяние значительно вносит вклад в уровень значения серого в изображениях и в шум. Поскольку обычно это не способствует контрасту радиографического изображения (CNR), видимость IQI снижается.

f) Чрезмерно высокая энергия излучения дает низкий контраст при постоянном уровне шума (при том же уровне значения серого). Это уменьшает CNR и видимость IQI. Это может быть компенсировано увеличением требуемого уровня серого или уменьшение рентгеновской напряженности как при пленочной радиографии (CPI).

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Т а б л и ц а ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 9712	MOD	ГОСТ Р 54795-2011 «Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала. Основные требования»
ISO 5576		*
ISO 16371-1		*
EN 12543		*
EN 12679		*
ISO 19232-1		*
ISO 19232-2		*
ISO 19232-4		*
ISO 19232-5		*

П р и м е ч а н и е – В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:
- MOD – модифицированные стандарты.
* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Библиография

- [1] ISO 5579, *Неразрушающий контроль – Радиографический контроль металлических материалов с помощью рентгеновских и гамма-лучей - Основные правила*
Non-destructive testing — Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma-rays — Basic rules
- [2] ISO 5580, *Контроль неразрушающий. - Негатоскопы для промышленной радиографии. - Минимальные требования*
Non-destructive testing - Industrial radiographic illuminators - Minimum requirements
- [3] ISO 19232-3, *Контроль неразрушающий. Качество изображения рентгеновских снимков. Часть 3. Классы качества изображения для черных металлов*
Non-destructive testing - Image quality of radiographs - Part 3: Image quality classes for ferrous metals
- [4] EN 444, *Неразрушающий контроль. - Принципы радиографического метода контроля металлов рентгеновским и гамма-излучением*
Non-destructive testing - General principles for radiographic examination of metallic materials by X- and gamma-rays
- [5] EN 12681, *Литейное производство. - Радиографический контроль*
Founding — Radiographic examination
- [6] EN 14784-2, *Испытания без разрушения испытательного образца. - Промышленная компьютерная радиография с помощью фосфорных плат ЗУ. - Часть 2. Основные принципы испытания металлических материалов, используя рентгеновские и гамма лучи.*
Non-destructive testing — Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates — Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays
- [7] EN 25580, *Контроль неразрушающий. - Негатоскопы для промышленной радиографии. - Минимальные требования (ISO 5580:1985)*
Non-destructive testing — Industrial radiographic illuminators — Minimum requirements
- [8] ASTM E1000, *Стандартное руководство по радиоскопии*
Standard Guide for Radioscopy
- [9] ASTM E 2445, *Стандартная методика для настройки и длительной устойчивости компьютерных радиационных систем*
Standard Practice for Qualification and Long-Term Stability of Computed Radiology Systems
- [10] ASTM E 2446, *Стандартная методика для классификации компьютерных радиационных систем*
Standard Practice for Classification of Computed Radiology Systems

[11] ASTM E 2597, *Стандартная методика для определения параметров цифровых детекторных матриц*
Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays

[12] ASTM E 2698, *Стандартная методика радиационного контроля с использованием цифровых детекторных матриц*
Standard Practice for Radiological Examination Using Digital Detector Arrays

[13] ASTM E 2736, *Стандартное руководство радиографического контроля цифровыми детекторными матрицами*
Standard Guide for Digital Detector Array Radiology

[14] ASTM E 2737, *Стандартная методика выполнения оценки и длительной устойчивости цифровых детекторных систем*
Standard Practice for Digital Detector Array Performance Evaluation and Long-Term Stability