
МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION

(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
ISO 17636-2–
202X

Неразрушающий контроль сварных соединений
Радиографический контроль

Часть 2

Способы рентгено- и гаммаграфического контроля
с применением цифровых детекторов

(ISO 17636-2:2022,

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

X- and gamma-ray techniques with digital detectors,

IDT)

Проект, окончательная редакция

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его
утверждения

Москва
Российский институт стандартизации
202

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН 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 «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ») на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии указанного в пункте 5 стандарта

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 _____ 201 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

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ 20 г. № _____ межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 17636-2–2017 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 _____ 20 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 17636-2:2022 «Контроль сварных швов неразрушающий. Радиографический контроль. Часть 2. Методы рентгеновского и гамма-излучения с применением цифровых детекторов» («Non-destructive testing of welds – Radiographic testing – Part 2: X- and gamma-ray

techniques with digital detectors», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации ISO/TC 44 «Сварка и родственные процессы», подкомитетом 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).

В комплекс стандартов ISO 17636 под общим наименованием «Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль» входят:

- Часть 1. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением пленки;
- Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов.

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

6 ВЗАМЕН ГОСТ ISO 17636-2–2017

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© ISO, 2022

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 202_



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

1 Область применения.....	
2 Нормативные ссылки	
3 Термины и определения.....	
4 Обозначения и сокращения.....	
5 Классификация способов радиографического контроля и принципы компенсации...	
6 Основные подготовительные операции и требования.....	
7 Рекомендуемые способы получения цифровых радиографических снимков	
8 Протокол контроля.....	
Приложение А (обязательное) Рекомендуемое количество экспозиций, обеспечивающее приемлемый контроль кольцевых стыковых сварных швов	
Приложение В (обязательное) Минимальные значения показателей качества изображения.....	
Приложение С (обязательное) Определение базового пространственного разрешения.....	
Приложение D (справочное) Определение минимального значения градации серого для CR системы.....	
Приложение E (справочное) Значения градации серого. Общие замечания.....	
Приложение F (справочное) Анализ нерезкости детектора для значения f_{min}	
Приложение G (справочное) Выбор максимальных напряжений на рентгеновской трубке по рис. 20.....	
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам.....	
Библиография.....	

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Неразрушающий контроль сварных соединений

Радиографический контроль

Часть 2

Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов

Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 2. X- and gamma-ray control techniques with digital detectors

Дата введения – 201_ – __ – __

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает 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 применим для цифрового радиографического контроля соединений металлических материалов, выполненных сваркой плавлением, а именно для контроля сварных соединений листового проката и труб. Под трубой в настоящем стандарте понимают любые цилиндрические полые тела, такие как корпуса котлов, сосуды под давлением, напорные трубопроводы и т.п.

П р и м е ч а н и е — Настоящий стандарт соответствует [9].

Настоящий стандарт устанавливает требования к цифровому рентгено- и гаммаграфическому контролю сварных соединений листового проката и труб для обнаружения дефектов компьютерной радиографией (CR) или радиографией с применением цифровых матричных детекторов (DDA).

Цифровые детекторы обеспечивают получение цифрового изображения со значениями градации серого (GV), которое можно просмотреть и оценить с помощью компьютера. Настоящий стандарт определяет рекомендуемый порядок выбора детектора и процедуру радиографического контроля. Выбор компьютера, программного обеспечения, монитора, принтера и условия просмотра важны, но не являются предметом рассмотрения настоящего стандарта. Процедура, установленная настоящим стандартом, обеспечивает минимальные требования к

радиографическому контролю, позволяющие получать цифровые радиографические снимки с чувствительностью контроля для обнаружения дефектов, эквивалентной ISO 17636-1 для пленочной радиографии.

В настоящем стандарте не установлены уровни приемки для любых индикаций, обнаруженных на цифровых радиографических снимках. Стандарты серии ISO 10675 устанавливают требования к уровням приемки при контроле сварных швов.

Если по согласованию между изготовителем и заказчиком применяются 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 стандарты. Для недатированных ссылок используют последнее издание ссылочного документа, включая все изменения к нему:

ISO 5576, Non-destructive testing – Industrial X-ray and gamma-ray radiology – Vocabulary (Контроль неразрушающий. Промышленная радиология с использованием рентгеновских и гамма-лучей. Словарь)

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

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

ISO 19232-1, Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 1: Image quality indicators (wire type) – Determination of image quality value (Контроль неразрушающий. Качество изображений на радиографических снимках. Часть 1. Определение значения качества изображения с помощью проволочных индикаторов)

ISO 19232-2, Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 2: Image quality indicators (step/hole type) – Determination of image quality value (Контроль неразрушающий. Качество изображения на радиографических снимках. Часть 2. Определение значения качества изображения с использованием индикаторов качества изображения типа шаг/отверстие)

ISO 19232-4, Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 4: Experimental evaluation of image quality values and image quality tables (Контроль

неразрушающий. Качество изображений на радиографических снимках. Часть 4. Экспериментальная оценка значений качества изображения и таблицы качества изображения)

ISO 19232-5, Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 5: Determination of the image unsharpness value using duplex wire-type image quality indicators (Контроль неразрушающий. Качество изображения на рентгеновских снимках. Часть 5. Определение значения нерезкости изображения с использованием показателей качества изображения типа дуплексного провода)

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

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

ASTM E747, Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology (Общепринятая методика по конструкции, изготовлению и классификации материалов по группам для индикаторов качества изображения (IQI) проволочного типа, применяемых в радиологии)

JIS Z2306, Radiographic image quality indicators for non-destructive testing (Индикаторы качества изображения для радиографического метода неразрушающего контроля)

3 Термины и определения

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

3.1 компьютерная радиография CR, система с запоминающей фосфорной пластиной (computed radiography CR): Система, включающая в себя запоминающую фосфорную пластину (IP) (3.2) и соответствующее устройство считывания (сканер или считыватель), которое преобразует информацию с IP в цифровое изображение.

3.2 запоминающая фосфорная пластина, IP (storage phosphor imaging plate): Фотостимулируемый люминесцентный материал, способный хранить скрытое радиографическое изображение объекта контроля и под воздействием источника

красного света с соответствующей длиной волны генерирующий люминесценцию (свечение) пропорционально поглощенному излучению.

П р и м е ч а н и е – В случае компьютерной радиографии (3.1), IP используется вместо пленки. При определении способов, связанных с размером источника (3.20) или геометрическими параметрами фокуса, IP называется детектором, т.е. SDD – расстояние от источника излучения до детектора (3.21).

3.3 система с матричным цифровым детектором, DDA-система (digital detector array system): Электронное устройство, преобразующее ионизирующее или проникающее излучение в массив отдельных аналоговых сигналов, который позднее оцифровывается и передается на компьютер для отображения как цифрового изображения, соответствующего распределению радиационной энергии, переданной на приемную поверхность устройства.

3.4 структурный (собственный) шум запоминающей пластины, структурный шум IP (structure noise of imaging plate, structure noise of IP): Шум, обусловленный неоднородностями в чувствительном слое (зернистостью) и поверхности запоминающей пластины.

П р и м е ч а н и е 1 – После сканирования экспонированной пластины неоднородности проявляются как накладывающийся шум с фиксированной текстурой на цифровом изображении.

П р и м е ч а н и е 2 – Этот шум ограничивает максимальное достижимое качество цифровых изображений, полученных при CR радиографии, и его можно сравнить с зернистостью пленочных изображений.

3.5 структурный (собственный) шум матричного цифрового детектора, структурный шум DDA (structure noise of digital detector array, structure noise of DDA): Шум, обусловленный различными свойствами элементов детектора (пикселей).

П р и м е ч а н и е 1 – После считывания экспонированной ненастроенной DDA (3.3), неоднородности проявляются как накладывающийся шум с фиксированной текстурой на цифровом изображении. Поэтому для всех DDA требуется настройка с использованием программного обеспечения (программное обеспечение и руководства поставляются изготовителем DDA). Соответствующая процедура настройки снижает структурный шум.

П р и м е ч а н и е 2 – Корректировка изображения в других документах также называется «калибровка».

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

П р и м е ч а н и е 1 – Это, как правило, равнозначно терминам: значение пикселя, отклик детектора, сигнал аналого-цифрового преобразователя (цифровой выходной сигнал) и сигнал детектора.

3.7 линейризованное значение градации серого (linearized grey value): Числовое значение пикселя, которое прямо пропорционально дозе экспозиции детектора, принимающее значение ноль, если детектор не экспонировался.

П р и м е ч а н и е – Это, как правило, равнозначно терминам: линейризованное значение пикселя и линейризованный сигнал детектора.

3.8 базовое пространственное разрешение цифрового детектора, SR_b^{detector} (basic spatial resolution of a digital detector): Соответствует половине измеренной на детекторе нерезкости цифрового изображения и соответствует эффективному размеру пикселя, и характеризует наименьший размер объекта, который может быть разрешен (отображен) с помощью цифрового детектора при коэффициенте увеличения, равном единице.

П р и м е ч а н и е 1 – Для ее измерения IQI двухпроводочного типа располагается непосредственно на цифровом детекторе (3.3) или запоминающей пластине.

П р и м е ч а н и е 2 – Процедура измерения нерезкости описана в ISO 19232-5, а также в [13] и [8].

3.9 базовое пространственное разрешение цифрового изображения, SR_b^{image} (basic spatial resolution of a digital image): Соответствует половине измеренной нерезкости цифрового изображения и соответствует эффективному размеру пикселя, и характеризует наименьший размер объекта, который может быть разрешен (отображен) на цифровом изображении.

П р и м е ч а н и е 1 – Для этого измерения IQI двухпроводочного типа располагается непосредственно на объекте контроля со стороны источника излучения.

П р и м е ч а н и е 2 – Процедура измерения нерезкости описана в ISO 19232-5, а также в [11] и [17].

3.10 отношение сигнал-шум, SNR (signal-to-noise ratio): Отношение среднего значения линейризованных значений градации серого (3.7) к стандартному отклонению линейризованных градаций серого (шум) в области цифрового изображения, представляющей интерес (3.25).

3.11 нормализованное отношение сигнал-шум, SNR_N (normalized signal-to-noise ratio): Отношение сигнал-шум (SNR) (3.10), приведенное к базовому пространственному разрешению (SR_b^{image}) (3.9), измеренное непосредственно на цифровом изображении и вычисленное с использованием измеренного отношения

сигнал-шум по формуле

$$SNR_N = SNR \frac{c}{SR_b^{image}}$$

где c – константа, равная 0,0886 мм

SR_b^{image} – базовое пространственное разрешение цифрового изображения в мм.

Примечание – Если IQI двухпроволочного типа располагается непосредственно на детекторе без объекта контроля, то значение SR_b^{image} равно измеренному значению $SR_b^{detector}$, которое может использоваться вместо величины SR_b^{image} .

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

Примечание 1 – Уровни сигнала измеряются в значениях градации серого (3.6) или значениях линеаризованных значений градации серого (3.7).

Примечание 2 – Отношение контраст-шум описывает компонент качества изображения и приблизительно зависит от произведения радиографического коэффициента ослабления и SNR. Необходимо, чтобы, кроме соответствующего CNR, цифровой радиографический снимок имел нерезкость или базовое пространственное разрешение достаточные для разрешения (отображения) элементов изделия, представляющих интерес.

3.13 нормализованное отношение контраст-шум, CRN_N (normalized contrast-to-noise ratio): Отношение контраст-шум (CNR) (3.12), приведенное к базовому пространственному разрешению (SR_b^{image}) (3.9), измеренное непосредственно на цифровом изображении с помощью дуплексного провода IQI на стороне объекта и вычисленное с использованием измеренного CNR по формуле

$$CNR_N = CNR \frac{c}{SR_b^{image}}$$

где c – константа, равная 0,0886 мм

SR_b^{image} – базовое пространственное разрешение цифрового изображения в мм.

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

Примечание – Эффект наложения часто проявляется в виде зубчатых или ступенчатых участков линий или муаровых полос.

3.15 область дефектного пикселя, СКР (cluster kernel pixel): Дефектный (плохой) пиксель (3.29), не имеющий пяти и более соседних корректно функционирующих пикселей.

Примечание – Подробнее о плохих пикселях и СКР см. [15].

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

3.17 изменение просвечиваемой толщины, Δt (penetration thickness change): Изменение толщины (3.18) из-за угла прохождения пучка по сравнению с номинальной толщиной (3.16).

3.18 просвечиваемая толщина, w (penetrated thickness): Толщина материала в направлении пучка излучения, вычисляемая на основе номинальной толщины (3.16) всех просвечиваемых стенок и измеренная вдоль центральной оси пучка излучения.

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

Примечание – В других документах используется сокращение ODD.

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

Примечание – См. EN 12543 или EN 12679.

3.21 расстояние от источника излучения до детектора, SDD (source-to-detector distance): Расстояние между источником излучения и детектором, измеренное в направлении центральной оси пучка излучения (фокусное расстояние).

Примечание – $SDD = f + b$,

где f – расстояние от источника излучения до объекта контроля (3.22);

b – расстояние от объекта контроля до детектора (3.19).

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

Примечание – В других документах используется сокращение SOD.

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

3.24 **геометрическое увеличение, v** (geometric magnification): Отношение расстояния от источника излучения до детектора (SDD) (3.21) к расстоянию от источника излучения до объекта контроля (f) (3.22).

3.25 **область применения, RoI** (region of interest): Определенная группа пикселей, по которым можно выполнить измерения или статистику или оба действия.

3.26 **область сварного соединения для оценки, WAE** (weld area to evaluate): область, которую нужно оценить на радиографическом изображении, в которую на обеих сторонах входят сварной шов и зона термического влияния (3.30).

3.27 **контролируемый участок, AoI** (area of interest): Минимальный участок, который следует оценить на радиографическом изображении и в который входят сварной шов, зона термического влияния (3.30) на обеих сторонах и все свинцовые буквы, маркеры и индикаторы качества изображения (IQI).

3.28 **необработанное изображение** (raw image): Изображение, полученное системой с матричным цифровым детектором (3.3) или системой компьютерной радиографии (3.1) после коррекции изображения, если коррекция выполнялась.

3.29 **битый пиксель** (bad pixel): Недостаточно эффективно работающий чувствительный элемент (пиксель) в системе с матричным цифровым детектором (3.3).

П р и м е ч а н и е – Битые пиксели описаны в [15].

3.30 **зона термического влияния, ЗТВ** (heat affected zone): участок рядом со сварным швом, на который при сварке воздействует процесс нагревания и охлаждения, которая рассматривается как два участка рядом со сварным швом, каждый из которых имеет ту же ширину, что и верхний валик шва, но не менее 10 мм, которые подлежат контролю.

4 Обозначения и сокращения

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

Т а б л и ц а 1 – Обозначения и сокращения

Обозначение или сокращение	Значение
a	угол, образуемый половиной длины окружности контролируемого участка (AoI) в центре трубы (см. рис. 22 а)
AoI	область контроля
β	угол раскрытия диафрагмы источника излучения или коллиматора по отношению к центральному пучку
b	расстояние от объекта контроля до детектора
b'	расстояние от объекта контроля до детектора, измеренное перпендикулярно объекту контроля
b_{ed}	максимальное расстояние от поверхности объекта контроля, ближайшей к плоскому детектору, до поверхности объекта, наиболее удалённой от детектора в контролируемой области сварного соединения (WAE) на трубе, см. рис. 2 б), 8 б), 13 б), 14 б) и 22
b_{gap}	расстояние между радиационно-чувствительным слоем детектора и наружной поверхности трубы, см. рис. 2 б) и 22
C_i	коэффициент для коррекции значения f_{min} для использования планарных детекторов для изогнутых объектов, если $b > t$
СКР	пиксель ядра скопления
CNR	отношение контраст-шум
CNR_N	нормализованное отношение контраст-шум
CR	компьютерная радиография
d	размер источника излучения, фокусного пятна
D	детектор
D_d	диагональный размер области детектора
D_e	наружный диаметр
DDA	матричный цифровой детектор
DWDI	просвечивание через две стенки с двойным изображением
DWSI	просвечивание через две стенки с одинарным изображением
f	расстояние от источника излучения до объекта контроля
f_{min}	минимальное расстояние от источника излучения до объекта контроля
f^*_{min}	минимальное расстояние от источника излучения до объекта для контроля изогнутых объектов планарными детекторами
f'	расстояние от источника излучения до объекта контроля, измеренное перпендикулярно объекту контроля
GV	значение градации серого
HAZ	зона термического влияния
IP	запоминающая фосфорная пластина
IQI	индикатор качества изображения
r_e	внешний радиус
r_i	внутренний радиус
RoI	область применения
S	источник излучения
SDD	расстояние от источника излучения до детектора

Окончание таблицы 1

Обозначение или сокращение	Значение
SNR	отношение сигнал – шум
SNR _N	нормализованное отношение сигнал – шум
SR _b	базовое пространственное разрешение, которое может быть величиной SR _{b image} или SR _{b detector}
SR _{b detector}	базовое пространственное разрешение цифрового детектора
SR _{b image}	базовое пространственное разрешение цифрового изображения
t	номинальная толщина
Δt	изменение просвечиваемой толщины
u _G	геометрическая нерезкость
u _d	собственная нерезкость детекторной системы, за исключением любой геометрической нерезкости, измеренная на цифровом изображении при расположении IQI двухпроволочного типа на детекторе
u _{im}	требуемая нерезкость изображения, измеренная на цифровом изображении в плоскости объекта контроля с помощью IQI двухпроволочного типа
u _T	суммарная нерезкость изображения, включая геометрическую нерезкость, измеренная на цифровом изображении в плоскости детектора с помощью IQI двухпроволочного типа, расположенного на поверхности объекта.
v	геометрическое увеличение
v _o	оптимальное увеличение
w	просвечиваемая толщина
WAE	область сварного соединения для оценки

П р и м е ч а н и е — Расстояние от источника излучения до детектора (SDD), используемое в цифровой радиографии, эквивалентно SFD (см. ISO 17636-1) в пленочной радиографии.

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 качества В используют, когда изображение класса качества А может быть недостаточно чувствительным для обнаружения дефектов.

По согласованию между изготовителем и заказчиком возможно применение способа радиографического контроля выше класса В путем указания всех необходимых 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, выявляемость дефектов с использованием пленочной или цифровой радиографии эквивалентна. Выявляемость 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 выполнить 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 данное условие может быть принято, как для класса А. Потеря чувствительности контроля должна быть компенсирована увеличением минимального значения градации серого и SNR_N для CR, или SNR_N для DDA-системы (рекомендуется увеличение SNR_N на коэффициент более 1,4). При получении лучшей чувствительности, чем требуется для класса А, объект можно считать проконтролированным по классу В, если по IQI достигнута соответствующая чувствительность.

Указанное условие не применимо, если было специально уменьшено SDD, как описано в 7.6, для схем контроля по 7.1.4 и 7.1.5 (рис. 5 – 10).

5.2 Принципы компенсации CP I, CP II или CP III

5.2.1 Общие положения

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

При применении этих принципов требуется достижение минимального отношения контраст – шум, приведенного к базовому пространственному разрешению детектора (CNR_N), для обнаруживаемого изменения толщины материала Δw . Если требуемое нормализованное отношение контраст – шум (CNR_N на единицу Δw) не может быть достигнуто из-за недостаточного значения одного из следующих параметров, это может быть компенсировано увеличением SNR.

5.2.2 CP I

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

5.2.3 СР II

Компенсация недостаточной резкости детектора (значение SR_b больше, чем указано) путем увеличения SNR (улучшение значения показателя по IQI на одну проволочку или ступень/отверстие для каждой недостающей пары проволочек IQI двухпроволочного типа). Значение SR_b - это значение SR_b^{detector} , необходимое для выбора детектора (индикатор IQI на детекторе без объекта) или значению SR_b^{image} для оценки качества изображения радиографического снимка с индикатором IQI со стороны источника излучения объекта.

5.2.4 СР III

Компенсация увеличения местной интерполяционной нерезкости в результате корректировки плохих пикселей DDA, путем увеличения SNR.

5.2.5 Теоретические основы

Для малых размеров дефектов (Δw значительно меньше w) эти принципы компенсации основаны на следующей аппроксимации (Формула 1):

$$\frac{CNR_N}{\Delta w} = c \cdot \frac{\mu_{\text{eff}} \cdot SNR}{SR_b^{\text{image}}} \quad (1)$$

где c – константа (0,088 6 мм);

μ_{eff} – эффективный коэффициент ослабления, который эквивалентен коэффициенту контрастности материала в мм^{-1} ;

CNR_N – нормализованное CNR, измеренное на цифровом изображении.

SR_b^{image} – базовое пространственное разрешение цифрового изображения.

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.

П р и м е ч а н и е – 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 в случае если состояние поверхности или наличие покрытия могут создать помехи при выявлении дефектов, поверхность должна быть гладко зачищена или с нее должно быть удалено покрытие.

Если не указано иное, то цифровой радиографический контроль должен проводиться после завершения всех первичных технологических операций производства (например, зачистки или термической обработки).

6.3 Расположение сварного шва на радиографическом снимке

Если на цифровом радиографическом снимке не отображаются границы сварного шва, то для оценки зоны контроля с обеих сторон сварного шва, за пределами зоны сварки, следует поместить маркировочные знаки высокой плотности.

6.4 Идентификация радиографических снимков

На каждый участок объекта, контролируемого при помощи цифровой радиографии, следует поместить маркировочные знаки. Изображения этих знаков должны быть отображены на цифровом радиографическом снимке за пределами зоны контроля, и должны обеспечивать однозначную идентификацию участка. Использование другой системы идентификации может быть частью контрактной договоренности.

6.5 Маркировка

На объекте контроля должна быть выполнена постоянная маркировка, чтобы обеспечить наличие точек отсчета для точного определения положения каждого цифрового радиографического снимка (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 точного эскиза или фотографии, либо с помощью автоматизированной системы позиционирования.

6.6 Перекрытие цифровых изображений

При цифровой радиографии участка сварного шва с помощью двух или более отдельных детекторов (запоминающих пластин), они должны перекрывать друг друга для обеспечения полного охвата цифровой радиографией всей зоны контроля.

Выполнение этого условия должно быть проверено по маркировочному знаку из материала высокой плотности, расположенному на поверхности объекта контроля, который должен отобразиться на каждом цифровом изображении. Если радиографические снимки получаются последовательно с помощью компьютерной радиографии или системы с матричным цифровым детектором, маркировочный знак высокой плотности должен быть виден на каждом радиографическом снимке.

6.7 Типы и положения индикаторов качества изображения

6.7.1 Общие сведения

Качество изображения следует проверять с помощью индикаторов качества изображения (IQI), соответствующих ISO 19232-5 и ISO 19232-1 или ISO 19232-2. Вместо этих могут применяться индикаторы IQI по стандартам ASTM E 747 или JIS Z2306, если группа материала, из которых они сделаны, лучше подходит к объекту или компоненту контроля. Таблицы перевода номеров проволочек по стандартам ASTM E 747, JIS Z2306 и ISO 19232-1 можно посмотреть в этих документах. По соглашению между изготовителем и заказчиком могут применяться другие индикаторы IQI с тем же показателем ослабления излучения, что у объекта контроля, и с теми же размерами, что указаны в стандартах ISO 19232-1 или ISO 19232-2.

Примечание — Допускается также использовать IQI (эталон чувствительности) по ГОСТ 7512 при условии обеспечения требуемой чувствительности контроля.

6.7.2 Дуплексный проволочный индикатор качества изображения

В соответствии с процедурой, описанной в приложении С, для проверки базового пространственного разрешения цифровой детекторной системы (SR_b^{detector}) требуется получить изображение эталона. В этом случае дуплексный индикатор качества изображения (ISO 19232-5) располагают непосредственно на цифровом детекторе. Базовое пространственное разрешение или показатель качества изображения индикатора двухпроволочного типа определяют для подтверждения соответствия технических средств системы требованиям, определенным как функция просвечиваемой толщины материала, как указано в Таблице В.13 и Таблице В.14. Для просвечивания через две стенки с двойным изображением значение SR_b^{detector} должно соответствовать значениям Таблицы В.13 и Таблицы В.14, которые выбираются,

исходя из того, что просвечиваемая толщина вдвое больше номинальной толщины стенки трубы.

Применение IQI двухпроволочного типа (ISO 19232-5) на объекте для получения радиографических изображений необходимо, если в способе геометрического увеличения (7.7) применяется значение $v > 1,2$. Значение базового пространственного разрешения, измеряемое на цифровом изображении (Приложение С), не должно превышать максимальных значений SR_b^{image} , определенных как функция толщины просвечиваемого материала в Таблице В.13 и Таблице В.14. Автоматизированные системы контроля с помощью матричного цифрового детектора могут применять режим контроля как при непрерывном движении (например, перемещение или поворот), так и при получении сигналов в режиме запуск/останов. Нерезкость изображения в процессе перемещения или в режиме запуск/останов не должна превышать значений в таблице В.13 и таблице В.14.

При контроле, с получением одного изображения, в качестве толщины просвечиваемого материала принимается толщина одной стенки. При контроле через две стенки с получением двойного изображения в соответствии с 7.1.6 и 7.1.7 (Рис. 11 или Рис. 12) и расположением индикатора качества изображения двухпроволочного типа со стороны источника излучения на трубе, при этом диаметр трубы принимается как значение b для определения величины f_{min} и определения базового пространственного разрешения (SR_b^{image}) из Таблицы В.13 и Таблицы В.14. Базовое пространственное разрешение детектора ($SR_b^{detector}$) при контроле через две стенки с двойным изображением должно соответствовать значениям, указанным в Таблице В.13 и таблице В.14, которые выбираются, исходя из того, что просвечиваемая толщина вдвое больше номинальной толщины одной стенки материала.

Индикаторы качества изображения двухпроволочного типа располагают с наклоном в несколько градусов (от 2° до 5°) к цифровым строкам или столбцам цифрового изображения.

Исторически установлено, если IQI расположен под наклоном 45° к цифровым строкам или столбцам, полученный номер пары проволочек IQI должен быть уменьшен на единицу.

6.7.3 Индикаторы качества изображения проволочные и типа ступень/отверстие

Контрастная чувствительность цифровых изображений должна быть проверена с помощью индикаторов качества изображения (IQI), в соответствии с конкретной

областью применения, как указано в таблицах В.1 – В.12 (приложение В) (см. также ISO 19232-1 или ISO 19232-2).

Соответствующие IQI проволочного типа или типа ступень/отверстие, должны быть помещены на контролируемом объекте, предпочтительно со стороны источника излучения в центре зоны контроля на основной металле, рядом со сварным швом. IQI должен плотно контактировать с поверхностью объекта контроля. IQI должен быть расположен на участке с равномерной толщиной, характеризующемся однородным распределением градаций серого (средних значений) на цифровом изображении.

В соответствии с типом используемого IQI следует рассмотреть следующие случаи:

а) при использовании IQI проволочного типа проволочки должны располагаться перпендикулярно сварному шву, и его расположение должно гарантировать, что не менее 10 мм длины проволочки видимы на участке с постоянным значением градации серого или SNR_N , который, как правило, располагается на основном металле вблизи сварного шва. Для экспозиций, выполняемых в соответствии с 7.1.6 и 7.1.7 (Рис. 11 и Рис. 12), IQI проволочного типа может быть размещен проволочками поперек оси трубы, при этом не рекомендуется, чтобы они проецировались на изображение сварного шва. Видимый отрезок проволочек может быть короче 10 мм для труб с наружным диаметром менее 50 мм. При этом видимый отрезок проволочек должен составлять $\geq 20\%$ наружного диаметра трубы.

б) при использовании IQI типа ступень/отверстие он должен располагаться таким образом, чтобы отверстие требуемого размера располагалось максимально близко к сварному шву.

Для экспозиций через одну стенку в соответствии с 7.1.4 и 7.1.5 (Рис. 5 – 10), IQI используемого типа может быть расположен как со стороны источника излучения (см. Таблицы В.1 – В.4), так и со стороны детектора. Если IQI не может быть помещен в соответствии с вышеуказанными условиями, то их помещают со стороны детектора. В этом случае качество изображения следует определять, как минимум однократно, путем сравнительной экспозиции с одним IQI, помещенным со стороны источника излучения, и IQI, помещенным со стороны детектора, выполненной в тех же условиях. Если перед детектором применяются фильтры (экраны), IQI должен быть расположен перед фильтром (экраном).

При экспозициях через две стенки в соответствии с 7.1.6 и 7.1.7 (Рис. 11 и 12), применяемый тип IQI помещается со стороны источника (использовать Таблицы В.5

– В.8). По договоренности между изготовителем и заказчиком IQI может располагаться со стороны детектора (использовать Таблицы В.9 – В.12).

При экспозициях через две стенки в соответствии с 7.1.8 (Рис. 13 – 16) IQI используемого типа может располагаться со стороны детектора. В этом случае см. Таблицы В.9 – В.12.

Если IQI располагаются со стороны детектора, то рядом с IQI следует поместить букву «F», она должна быть видна на радиографическом изображении, и это должно быть зафиксировано в протоколе контроля.

Идентификационные номера, и при применении, свинцовая буква «F» не должны располагаться в зоне контроля, за исключением случая, когда геометрическая форма объекта контроля не позволяет это сделать.

Если были предприняты меры, гарантирующие, что цифровые радиографические снимки аналогичных объектов контроля или их участков были получены при идентичных экспозициях и методах обработки, и нет видимых различий в качестве изображения, то нет необходимости проверять качество изображения для каждого цифрового радиографического снимка. Объем проверки качества изображений рекомендуется согласовать между изготовителем и заказчиком.

При панорамном контроле труб, по окружности, рекомендуется размещать, как минимум, три IQI с равными промежутками по окружности. Цифровое радиографическое изображение(я) IQI считается характерными для всей окружности.

6.8 Оценка качества изображения

Качество цифровых изображений оценивают на экране монитора. Требования к экрану и условия просмотра должны отвечать требованиям 7.10.

По результатам контроля на радиографическом изображении в проволочном IQI или типа ступень/отверстие определяют номер наименьшей проволоки или отверстия, которые можно распознать. Изображение проволоки принимается, если непрерывный отрезок длиной не менее 10 мм четко различим на участке с равномерной градацией серого, обычно в HAZ, возле сварного шва. Контроль труб малых диаметров см. 6.7.3 а). При использовании IQI типа ступень/отверстие, если есть два отверстия одного диаметра, оба должны быть различимы, чтобы ступень считалась видимой. Также см. 6.7.3 а), кроме случаев контроля с просвечиванием через две стенки с двойным изображением для труб малых диаметров.

Двухпроволочные IQI должны контролироваться функцией профиля системы обработки изображений в линейном или линеаризованном изображении с градацией серого, как указано в Приложении С и ISO 19232-5.

Качество изображения должно определяться по необработанному изображению. Необработанным изображением считается изображение, полученное после коррекции (калибровки) изображения путем изменения параметров изображений и/или аппаратно-программных коррекций. Если изображения оцениваются после применения цифровых фильтров, то должны быть оценены проволочки или ступень/отверстие эталона IQI, а достигнутые значения должны соответствовать требованиям соответствующих таблиц в приложении В.

Полученные значения IQI необходимо отразить в протоколе радиографического контроля. В каждом случае необходимо точно отметить тип использованного индикатора, который указан на IQI.

6.9 Минимальные значения показателей качества изображения

В таблицах В.1 – В.14 (приложение В) приведены минимальные значения показателей качества изображения для металлических материалов. Для других материалов эти или аналогичные 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 для сплавов на основе меди, стали или никелевых сплавов, по согласованию между изготовителем и заказчиком могут считаться приемлемыми худшие показатели качества по IQI, чем те, что приведены в таблицах В.1 – В.12 (приложение В), и это должно быть отмечено в протоколе, а именно:

1) Способы получения двойного изображения через две стенки, классы А и В ($w = 2t$), значения для которых указаны в Таблицах В.5 – В.12:

- $10 \text{ мм} < w \leq 25 \text{ мм}$: меньше на один номер проволочки или больше на один номер ступени/отверстия для Ir 192;

- $w \leq 12 \text{ мм}$: меньше на один номер проволочки или больше на один номер ступени/отверстия для Se 75.

2) Способы получения одного изображения через одну стенку и одного изображения через две стенки для класса А, значения для которых указаны в Таблицах В.1, В.2, В.9 и В.10:

- $10 \text{ мм} < w \leq 24 \text{ мм}$: меньше на два номера проволоочки или больше на два номера ступени/отверстия для Ir 192;
- $24 \text{ мм} < w \leq 30 \text{ мм}$: меньше на один номер проволоочки или больше на один номер ступени/отверстия для Ir 192;
- $w \leq 24 \text{ мм}$: меньше на один номер проволоочки или больше на один номер ступени/отверстия для Se 75.

3) Способы получения одного изображения через одну стенку и одного изображения через две стенки для класса В, значения для которых указаны в таблицах В.3, В.4, В.11 и В.12:

- $10 \text{ мм} < w \leq 40 \text{ мм}$: меньше на один номер проволоочки или больше на один номер ступени/отверстия для Ir 192;
- $w \leq 20 \text{ мм}$: меньше на один номер проволоочки или больше на один номер ступени/отверстия для Se 75.

При использовании Se 75 и толщине материала менее 12 мм может быть сложно добиться тех показателей IQI, которые требуются для испытаний по классу В. Потеря чувствительности должна компенсироваться путем повышения минимального значения уровня серого и SNR_N для CR или SNR_N для способа с применением DDA. Приращение в значении SNR_N должно быть $> 1,4$.

Если при использовании Se 75 и просвечиваемой толщины менее 12 мм нельзя добиться вышеуказанных показателей IQI, требуемые показатели IQI и условия контроля должны согласовываться между изготовителем и заказчиком на основании требований ISO 19232-4.

6.10 Квалификация персонала

Персонал, выполняющий неразрушающий контроль в соответствии с настоящим стандартом, должен быть квалифицирован в соответствии с ISO 9712 или эквивалентной международной или национальной схемой сертификации на требуемый уровень в соответствующем промышленном секторе. Персонал должен иметь возможность доказать, что прошел дополнительное обучение и квалификацию в цифровой промышленной радиографии (см. учебные планы, представленные в главе 5 ISO/TS 25107:2019).

7 Рекомендуемые способы получения радиографических снимков

7.1 Схемы контроля

7.1.1 Общие положения

В общем случае, радиографический контроль следует осуществлять в соответствии со схемами по 7.1.2 – 7.1.9 (рис. 1 – 19).

Схему контроля на эллипс (просвечивание через две стенки с получением двойного изображения) в соответствии с 7.1.6 (рис.11) рекомендуется применять для труб наружным диаметром $D_e \leq 100$ мм, толщиной стенки $t \leq 8$ мм или шириной сварного шва $\leq D_e/4$. Если отношение $t/D_e < 0,12$, то достаточно двух изображений, смещенных друг относительно друга на 90° ; в противном случае необходимы три изображения. Расстояние между двумя спроецированными изображениями шва должно быть примерно равно ширине сварного шва. Из-за того, что у цифровых детекторов более расширенный диапазон по сравнению с радиографией и использованием пленок, значения D_e и t могут на 10% превышать указанные величины.

Когда затруднительно проведение контроля с использованием схемы на эллипс при $D_e \leq 100$ мм, можно использовать схему перпендикулярной съемки в соответствии с 7.1.7 (см. рисунок 12). В таком случае, в зависимости от возможности доступа к трубе, требуются три экспозиции, и участки отстоящие друг от друга на 120° или 60° .

Для схем контроля в соответствии с 7.1.8 (рис. 13 и 14), угол наклона пучка излучения должен быть как можно меньше, но в тоже время таким, чтобы не было наложения двух изображений. В соответствии с 7.6 для схемы, показанной на рис. 13 и 14, расстояние от источника излучения до объекта контроля f' , должно быть как можно меньше. IQI должен быть расположен со стороны детектора, участок контроля должен иметь свинцовую литеру F.

При необходимости, например, из-за особенностей геометрии детали или различий в толщине материала, по согласованию между изготовителем и заказчиком, могут быть использованы другие схемы цифрового радиографического контроля, кроме тех, что описаны в пп. 7.1.2 – 7.1.9 (рис. 1 – 19). В 7.1.9 (рис. 17 – 19) представлен пример такого случая. Помимо этого, компенсация толщины может осуществляться тем же материалом.

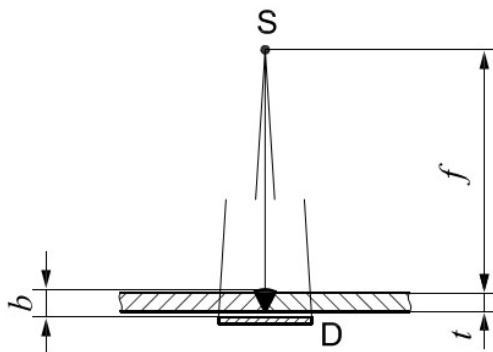
Приложение А приводит минимальное количество требуемых цифровых радиографических снимков (участков), чтобы получить требуемое перекрытие всей окружности стыкового шва при радиографическим контроле на трубе.

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

При невозможности применения гибких детекторов и применении жестких кассет или плоских матричных цифровых детекторов, как показано на рисунках 2 б, 8 б, 13 б и 14 б, расстояние от источника излучения до детектора SDD должно рассчитываться по толщине стенки t , наибольшему расстоянию от детектора до поверхности объекта контроля со стороны источника b и размера фокусного пятна или размера источника d , как указано в 7.6 и формулах (2) – (13).

П р и м е ч а н и е – Если не указано иное, определения обозначений, использованных на рис. 1 – 24 и в приложениях, приведены в разделе 4.

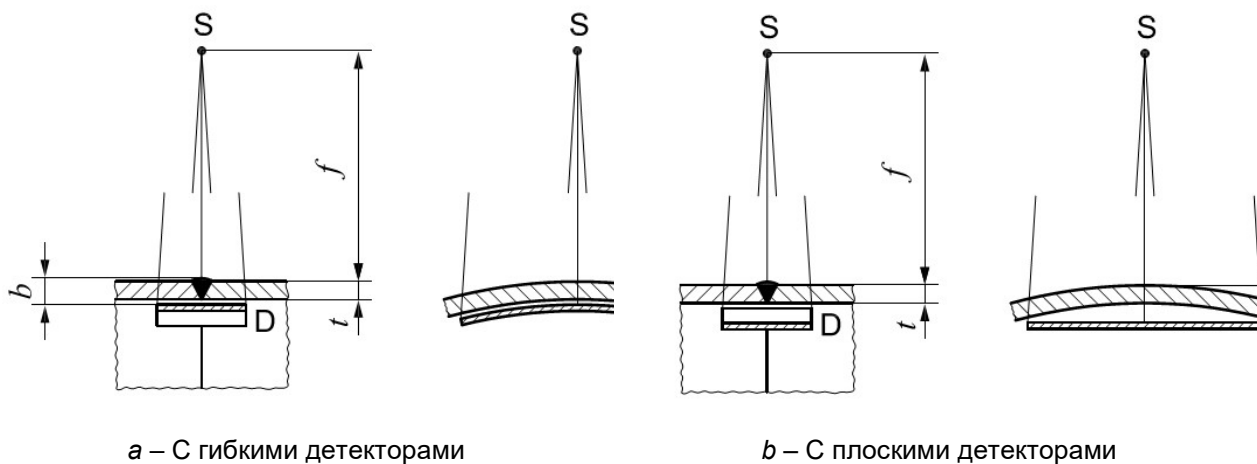
7.1.2 Источник излучения расположен напротив объекта контроля, а детектор с противоположной стороны – рисунок 1.



П р и м е ч а н и е – Если расстояние, b , на рис. 1 меньше $1,2 t$, то для b , можно использовать номинальную толщину t , а значение f может рассматриваться как расстояние от источника до поверхности основного материала.

Рисунок 1 – Схема контроля для плоских сварных швов при просвечивании через одну стенку

7.1.3 Источник излучения снаружи объекта контроля, а детектор внутри – рисунки 2 – 4.



Пр и м е ч а н и е – Если расстояние, b , на рис. 2 меньше $1,2 t$, то номинальная толщина t , может использоваться для значений b и f может рассматриваться как расстояние от источника до поверхности основного материала.

Рисунок 2 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну

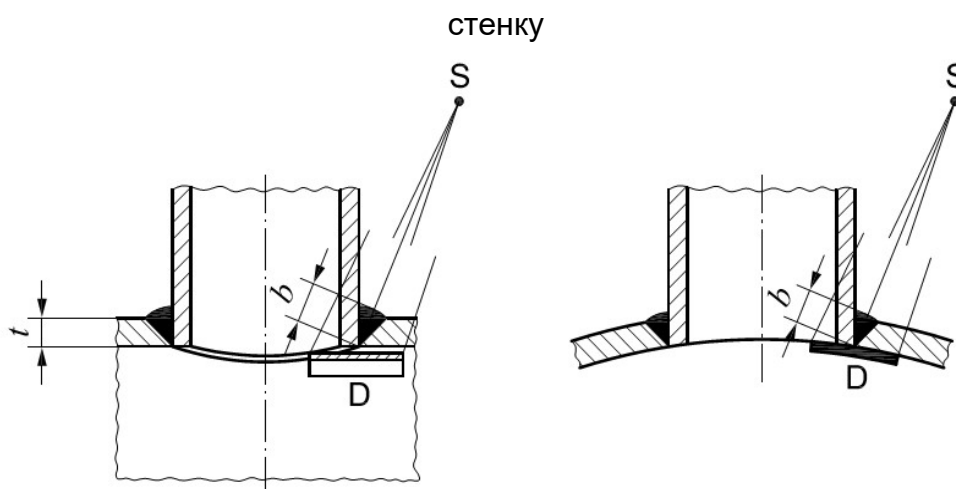


Рисунок 3 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов вставной детали)

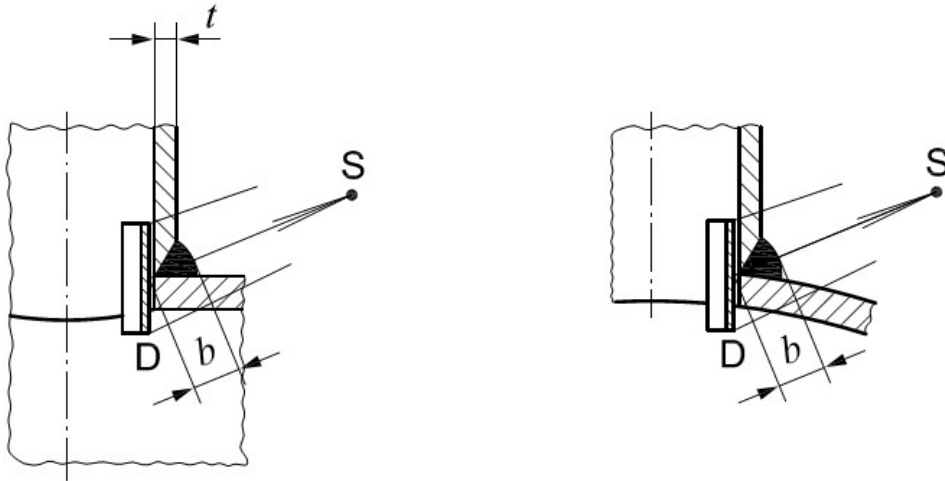


Рисунок 4 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов наложенной детали)

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

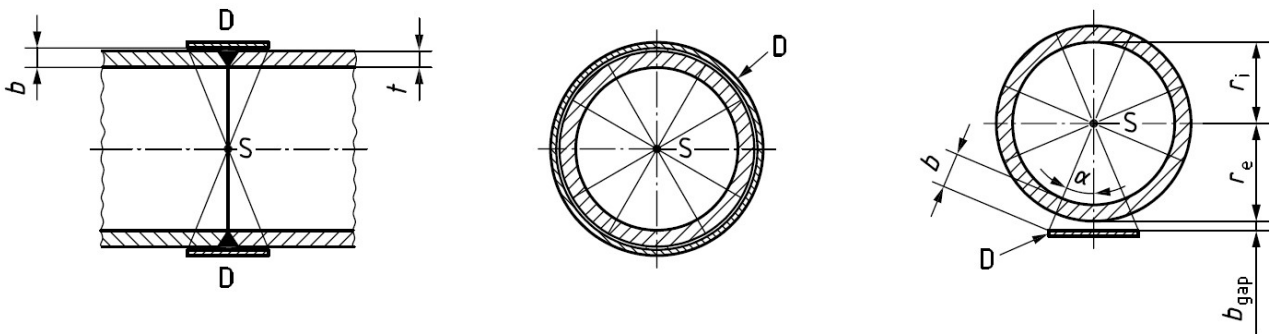


Рисунок 5 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку. Плоские детекторы не применимы

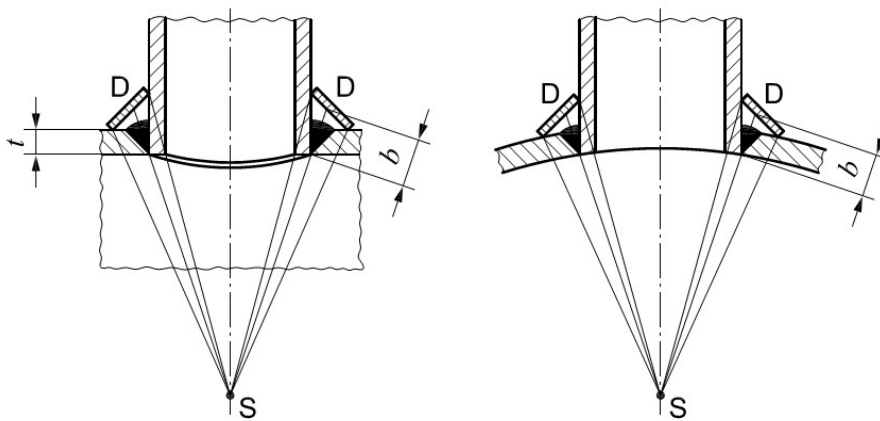


Рисунок 6 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов вставной детали)

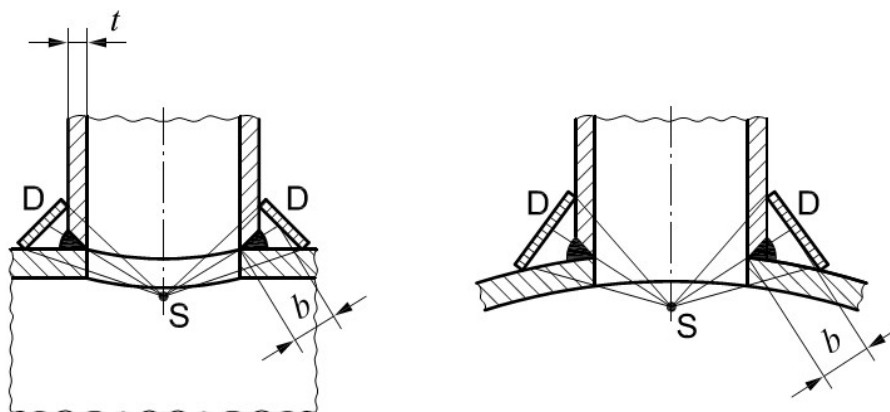
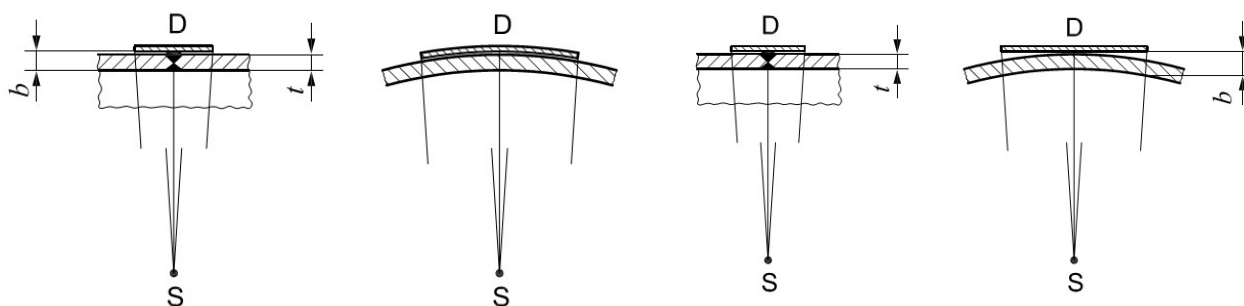


Рисунок 7 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов наложенной детали)

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



а – С гибкими детекторами

б – С плоскими детекторами

П р и м е ч а н и е – если расстояние b на рис. 8 меньше $1,2 t$, то за значение b можно использовать номинальную толщину t .

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

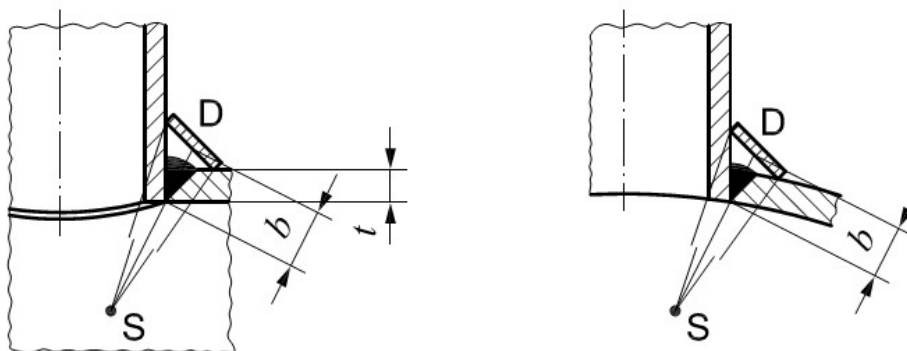


Рисунок 9 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов вставной детали)

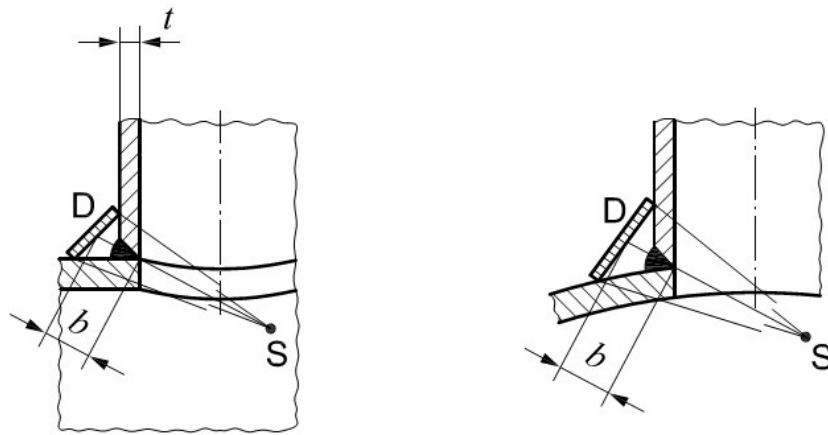
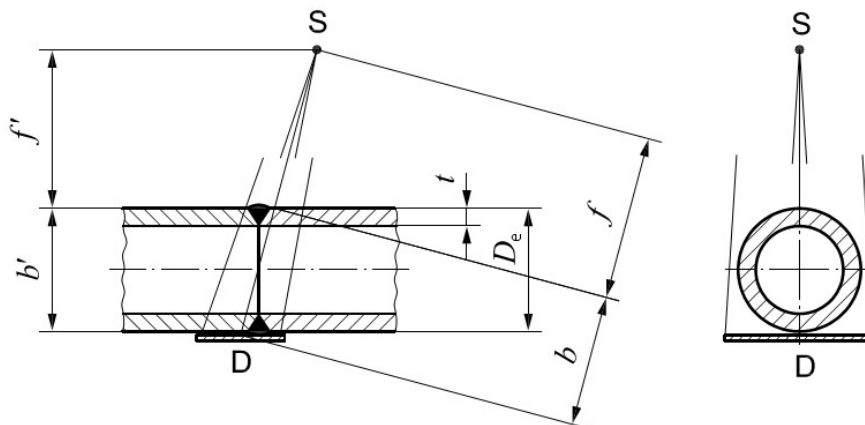


Рисунок 10 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через одну стенку (сварной шов наложенной детали)

7.1.6 Схема контроля на эллипс – рисунок 11.



П р и м е ч а н и е – Расстояние от источника излучения до объекта контроля может быть аппроксимировано перпендикулярным расстоянием f' , рассчитываемым по b' .

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

7.1.7 Схема перпендикулярного просвечивания – рисунок 12.

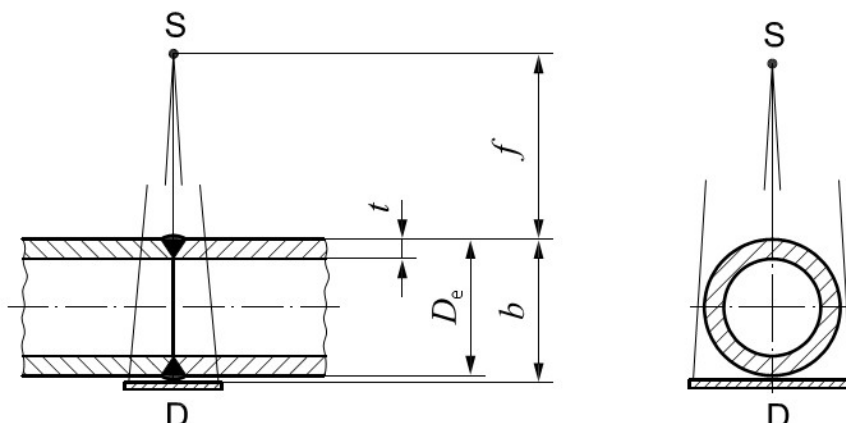
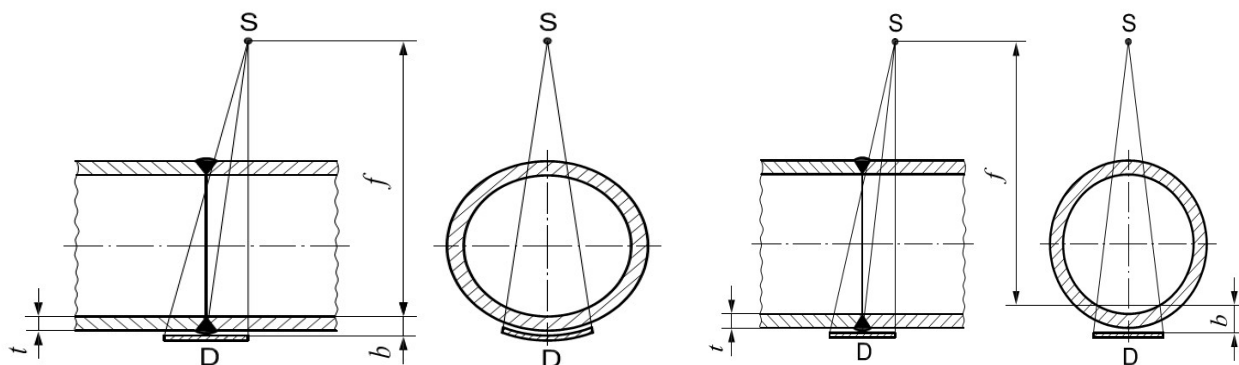


Рисунок 12 – Схема контроля изогнутых объектов для контроля двух стенок при просвечивании через две стенки (двойное изображение, источник излучения и детектор – снаружи)

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

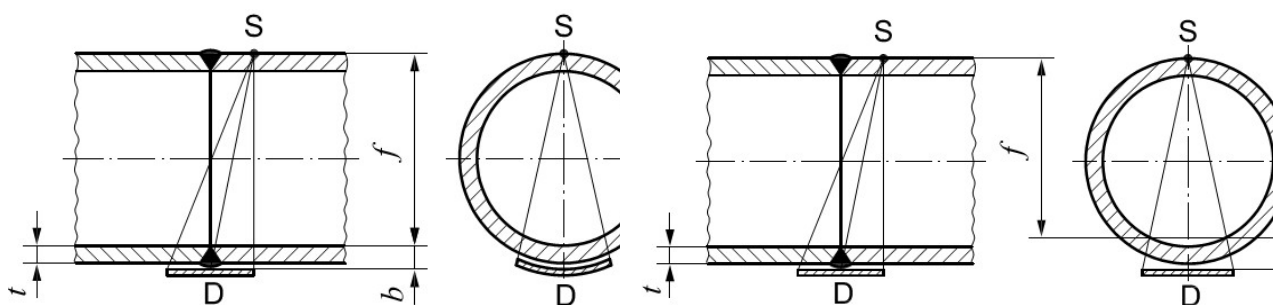


а – С гибкими детекторами

б – С плоскими детекторами

Примечание – если расстояние b на рис. 13 меньше $1,2 t$, то за значение b можно использовать номинальную толщину t , а значение f может считаться расстоянием от источника излучения до поверхности основного материала.

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



а – С гибкими детекторами

б – С плоскими детекторами

Примечание – если расстояние b на рис. 14 меньше $1,2 t$, то за значение b можно использовать номинальную толщину t , а значение f может считаться расстоянием от источника излучения до поверхности основного материала.

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

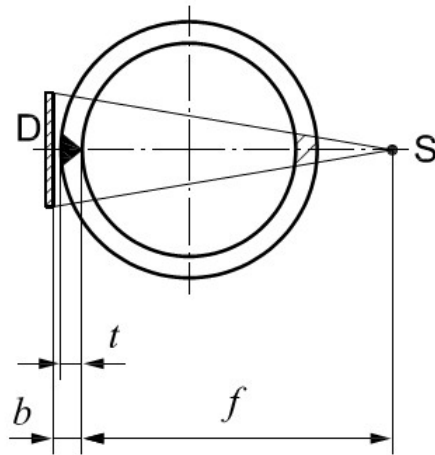


Рисунок 15 – Схема контроля продольного сварного шва при просвечивании через две стенки (одно изображение)

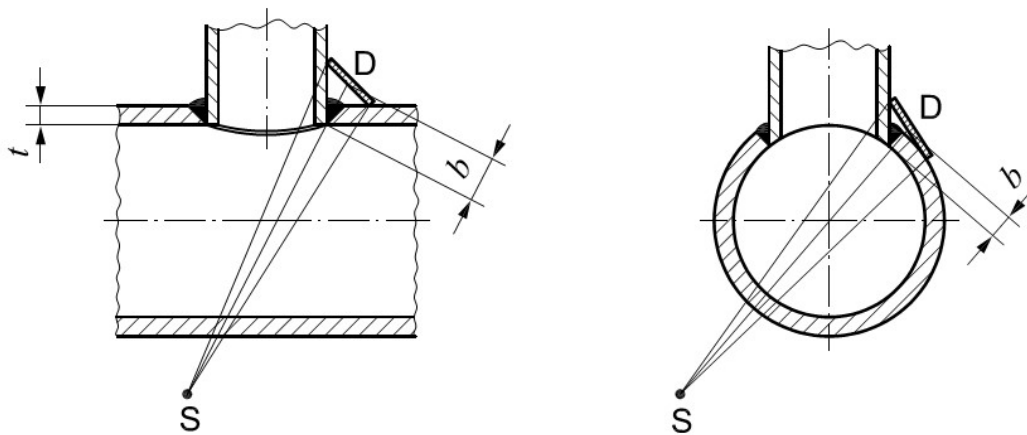
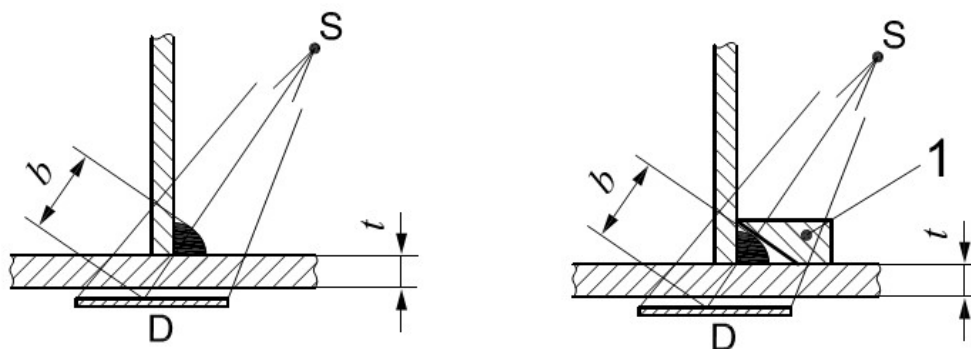


Рисунок 16 – Схема контроля изогнутых объектов при просвечивании через две стенки (одно изображение) для оценивания стенки, ближайшей к детектору



1 – кромочный компенсатор

а) Схема контроля без кромочного компенсатора

б) Схема контроля с кромочным компенсатором

Рисунок 17 – Схема контроля при просвечивании угловых сварных швов

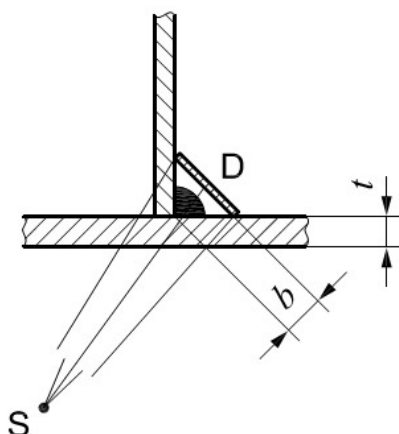


Рисунок 18 – Схема контроля при просвечивании угловых сварных швов
7.1.9 Схема контроля для материалов различной толщины – рисунок 19.

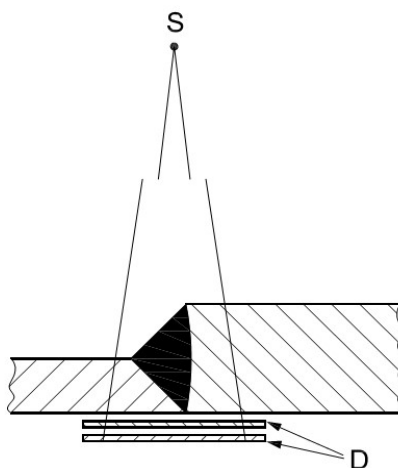


Рисунок 19 – Схема контроля с использованием нескольких детекторов,
применяется только для CR

7.2 Выбор напряжения на трубке и источника излучения

7.2.1 Источники рентгеновского излучения с напряжением до 1000 кВ

Для обеспечения высокой чувствительности контроля напряжение на рентгеновской трубке рекомендуется устанавливать более низким и иметь SNR_N в цифровом изображении как можно выше. Рекомендуемые максимальные значения напряжения на трубке в зависимости от просвечиваемой толщины приведены на рисунке 20. Эти максимальные значения являются наилучшими для пленочной радиографии.

После точной настройки DDA могут обеспечивать достаточное качество изображения при значительно более высоких напряжениях, чем приведенные на рисунке 20.

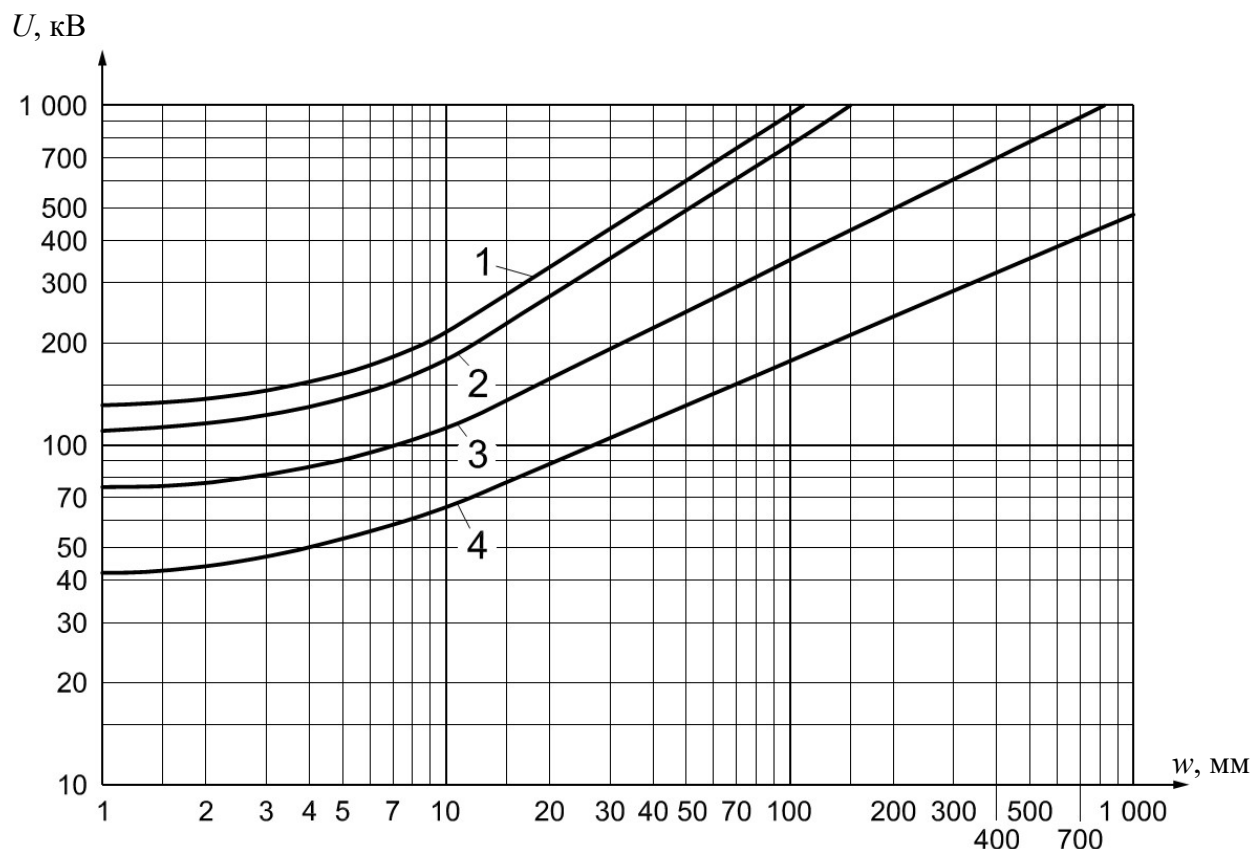
Для контроля по классу В запоминающие пластины с высоким структурным шумом в чувствительном слое IP (крупнозернистые) рекомендуется применять при напряжении на рентгеновской трубке примерно на 20 % меньшем, чем показано на рисунке 20. Запоминающие пластины высокого разрешения, которые экспонируются аналогично рентгеновским пленкам и имеют низкий структурный шум (мелкозернистые), могут экспонироваться при напряжениях на рентгеновской трубке в соответствии с рисунком 20 или более высоких, если SNR_N достаточно увеличено.

П р и м е ч а н и е: CPI:

– улучшение контрастной чувствительности может быть достигнуто повышением контраста при постоянном SNR_N [путем уменьшения напряжения на трубке и компенсации большей экспозицией (например, мА·мин)]; или

– улучшение контрастной чувствительности увеличением SNR_N [путем увеличения экспозиции (например, мА·мин)] при постоянном контрасте (постоянный уровень напряжения, кВ);

– при увеличении напряжения на трубке [при постоянной экспозиции (например, мА·мин)] снижается контраст и увеличивается SNR_N . Контрастная чувствительность улучшается, если увеличение SNR_N больше, чем уменьшение контраста из-за более высокой энергии.



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

Пр и м е ч а н и е – расчеты для кривых описаны в приложении Е.

Рисунок 20 – Максимальное напряжение на рентгеновской трубке для источников до 1000 кВ как функция от просвечиваемой толщины и материала

В тех случаях, когда имеется изменение толщины по контролируемой области объекта, может быть использован модифицированный способ с более высоким напряжением, но при чрезмерно высоком напряжении на трубке происходит потеря чувствительности контроля.

7.2.2 Прочие источники излучения

В таблице 2 приведены рекомендуемые диапазоны просвечиваемых толщин для источников гамма-излучения и рентгеновского оборудования с энергией 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 стали и сплавов на основе меди и никеля

Источник 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	$w \geq 80$	$w \geq 100$
^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. ^b Для алюминия и титана просвечиваемая толщина $35 \text{ мм} \leq w \leq 120 \text{ мм}$ для класса А.		

На тонких стальных образцах гамма-излучение от источников Se 75, Ir 192 и Co 60 не позволяет получить радиографические снимки с такой же чувствительностью контроля, как при рентгеновском излучении, использованном с надлежащими техническими параметрами. Однако, поскольку источники гамма-излучений имеют преимущества в обращении и доступности, в таблице 2 приведен диапазон толщин, для которых может быть использован каждый из этих источников гамма-излучения, в случае, когда применение рентгеновских трубок затруднено, о чем в протоколе должна быть сделана отметка.

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

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

По согласованию между изготовителем и заказчиком просвечиваемая толщина для Ir 192 может быть уменьшена до 10 мм для классов контроля А или В при условии, что будет получено требуемое качество изображения, как указано в 6.9.

По согласованию между изготовителем и заказчиком просвечиваемая толщина для Se 75 для классов контроля А или В может быть уменьшена при условии, что будет получено требуемое качество изображения, как указано в 6.9.

При просвечивания источником Se 75 материалов толщиной менее 10 мм рекомендуется использовать более высокие значения SNR_N , чем требуется по таблицам 3 и 4.

7.3 Детекторные системы и металлические экраны

7.3.1 Минимальное значение нормализованного отношения сигнал-шум (SNR_N)

Величина SNR_N рассчитывается из $SR_b^{detector}$ или SR_b^{image} :

— SNR_N определяется из $SR_b^{detector}$, если усиление $\leq 1,2$. Это включает схемы контроля, показанные на Рис. 11 и Рис. 12 (при просвечивании через две стенки с двойным изображением).

— SNR_N определяется из SR_b^{image} , если усиление $> 1,2$.

При цифровом радиографическом контроле для области контроля должны быть достигнуты минимальные значения SNR_N , приведенные в таблицах 3 и 4, или минимальные значения градации серого (только для CR). В приложении D описана процедура измерения SNR_N и приведена таблица преобразования 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 градаций серого, если они определены с помощью процедуры, приведенной в приложении D для IP, сканера, его настроек и требуемых по таблицам 3 и 4 значений SNR_N , которые были использованы.

Значение SNR_N измеряют предпочтительно около сварного шва рядом с IQI проволочного типа или типа ступень/отверстие, в наиболее толстой части основного металла в зоне с постоянной толщиной стенки и с постоянным значением градации серого. В качестве альтернативы, SNR_N может измеряться в корне сварного шва, если есть однородные участки. Значения градации серого (только при компьютерной радиографии (CR) должны измеряться в зоне контроля сварного соединения рядом с IQI проволочного типа или типа ступень/отверстие.

П р и м е ч а н и е 1 — Если значение SNR_N измеряется в корне сварного шва, его обычно измеряют в области средней толщины корня.

Как исключение, измеренное значение SNR_N может уменьшаться до ≥ 80 % от значений, указанных в таблице 3 или таблице 4 при условии, что достигается качество изображения, какое требуется по Приложению В, а напряжение на рентгеновской трубке снижается до 80% или ниже значений, предусмотренных на Рис. 20 (для CP I) или для снижения рассеивания применяются детекторы с нормированным энергетическим разрешением. Исключение может применяться из-за возможной неровности (например, коррозии) или геометрических искажений материала, что влияет на шум изображения и получаемое значение SNR_N .

Значения SNR_N повышают с коэффициентом 1,4 по сравнению со значениями, указанными в таблицах 3 и 4, если значение SNR_N определяется рядом со сварным швом в зоне термического влияния, за исключением случаев, когда верхний валик и корень сварного шва находятся на одном уровне с основным металлом. Если измерение SNR_N в сварном шве обеспечивает достаточные значения в соответствии с таблицами 3 и 4, то проведение измерений в зоне термического влияния (HAZ) или на основном материале не требуется.

П р и м е ч а н и е 2 – При пленочной радиографии значение оптической плотности, измеренное в зоне термического влияния (HAZ)/в основном металле, обычно составляет 3,5 – 4 единицы. Это соответствует значению SNR_N , примерно в 1,4 раза большему, чем для центра сварного шва, для которого рекомендуется иметь оптическую плотность снимка 2 или выше.

Рекомендуется проводить измерения SNR_N в HAZ, потому что это, как правило, зона с постоянным значением градации серого и в ней имеется возможность точного измерения SNR_N .

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

В приложении D также приведена таблица преобразования для пользователей, которые предпочитают использовать ненормализованные измеренные значения SNR вместо нормализованных значений SNR_N . Минимальное ненормализованное значение SNR определяется по полученному значению SR_b , которое может быть значением SR_b^{detector} или SR_b^{image} и требуемым значениям SNR_N из таблиц 3 и 4.

Для приемки цифровых изображений пользователь должен определить минимальные значения градации уровня серого или значения SNR_N или значения SNR для CR (см. приложение D). По аналогии с минимальной оптической плотностью при пленочной радиографии, для определения приемлемости изображения пользователь DDA должен определить минимальные значения SNR_N или SNR (см.

приложение D). Если не определяются особые значения, то 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 3 – По аналогии с Приложением D для компьютерной радиографии минимальные значения градации серого x значения номера кадра также можно определить для DDA в качестве опорного значения для минимального уровня качества изображения, определяемого по SNR_N . Однако это применяется только при повторении после каждой коррекции (калибровки) изображения DDA.

П р и м е ч а н и е 4 – Подробности измерения SNR_N приведены в ISO 16371-1, [14] (для CR) или [15] (для DDA) и приложении D.

Т а б л и ц а 3 – Минимальные значения SNR_N (для CR и DDA) и металлические передние экраны (только 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 передних экранов
		Класс А	Класс В	
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке до 50 кВ включ.	-	100	150	Нет экрана
Рентгеновское оборудование ^d с напряжением на трубке св. 50 до 150 кВ включ.		70	120	Передний экран из свинца толщиной не более 0,1 мм
Рентгеновское оборудование ^d с напряжением на трубке св.150 до 250 кВ включ.		70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,1 мм
Рентгеновское оборудование ^d с напряжением на трубке св.250 до 350 кВ включ.	$w \leq 50$	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,3 мм
	$w > 50$	70	70	Передний экран из свинца толщиной не более 0,3 мм
Рентгеновское оборудование ^d с напряжением на трубке св. 350 до 1000 кВ включ	$w \leq 50$	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,3 мм
	$w > 50$	70	70	Передний экран из свинца толщиной не более 0,3 мм
Yb 169 ^d Tm 170 ^d	$w \leq 5$	70	120	Передний экран из свинца толщиной не более 0,1 мм
	$w > 5$	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,1 мм

^a В случае применения многослойного экрана из стали и свинца (Fe + Pb), стальной экран должен располагаться между запоминающей пластиной (IP) и свинцовым экраном.

^b Вместо стального экрана или экрана из стали и свинца (Fe или Fe + Pb) могут использоваться медные, танталовые или вольфрамовые экраны при условии, что качество изображения может быть подтверждено.

^c Если SNR_N измеряется в зоне термического влияния (HAZ)/основном металле, эти значения должны быть умножены на 1,4, за исключением, если усиление и корень сварного шва находятся на одном уровне с основным металлом.

^d Свинцовые экраны могут быть заменены полностью или частично на стальные или медные (Fe или Cu) экраны. Эквивалентная толщина для стального или медного экрана (Fe или Cu) – в три раза больше толщины свинцового экрана (Pb).

Окончание таблицы 3

Источник излучения	Просвечиваемая толщина w , мм	Минимальное значение SNR_N^c		Тип и толщина металлических передних экранов
		Класс А	Класс В	
Ir 192 ^d , Se 75 ^d	$w \leq 50$	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,3 мм
	$w > 50$	70	70	Передний экран из свинца толщиной от 0,1 до 0,4 мм
Co 60 ^{a,b} , Рентгеновское оборудование ^{a,b} с напряжением на трубке св. 1 до 5 МэВ включ.	$w \leq 100$	70	100	Передний экран из стали или меди толщиной от 0,3 до 0,8 мм и передний экран из свинца толщиной от 0,6 до 2,0 мм
	$w > 100$	70	70	Передний экран из стали или меди толщиной от 0,3 до 0,8 мм и передний экран из свинца толщиной от 0,6 до 2,0 мм
Рентгеновское оборудование ^{a,b} с напряжением на трубке св. 5 МэВ	$w \leq 100$	70	100	Передний экран из стали, меди или свинца толщиной от 0,6 до 4,0 мм
	$w > 100$	70	70	Передний экран из стали, меди или свинца толщиной от 0,6 до 4,0 мм

^a В случае применения многослойного экрана из стали и свинца (Fe + Pb), стальной экран должен располагаться между запоминающей пластиной (IP) и свинцовым экраном.

^b Вместо стального экрана или экрана из стали и свинца (Fe или Fe + Pb) могут использоваться медные, танталовые или вольфрамовые экраны при условии, что качество изображения может быть подтверждено.

^c Если SNR_N измеряется в зоне термического влияния (HAZ)/основном металле, эти значения должны быть умножены на 1,4, за исключением, если усиление и корень сварного шва находятся на одном уровне с основным металлом.

^d Свинцовые экраны могут быть заменены полностью или частично на стальные или медные (Fe или Cu) экраны. Эквивалентная толщина для стального или медного экрана (Fe или Cu) – в три раза больше толщины свинцового экрана (Pb).

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

Источник излучения	Минимальное значение SNR_N^b		Тип и толщина металлических передних экранов
	Класс А	Класс В	
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке до 150 кВ включ.	70	120	Передний экран из свинца толщиной не более 0,03 мм
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке св. 150 до 250 кВ включ.	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,2 мм ^a
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке св. 250 до 500 кВ включ.	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,2 мм ^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 зоне термического влияния (HAZ)/основном металле, эти значения должны быть умножены на 1,4, за исключением, если усиление и корень сварного шва находятся на одном уровне с основным металлом.

Окончание таблицы 4

Источник излучения	Минимальное значение SNR_N^b		Тип и толщина металлических передних экранов
	Класс А	Класс В	
Yb 169, Tm 170	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,2 мм ^а
Se 75	70	100	Передний экран из свинца толщиной не более 0,3 мм ^а
<p>^а Вместо свинцового экрана толщиной 0,2 мм может применяться экран 0,1 мм с дополнительным фильтром 0,1 мм снаружи кассеты.</p> <p>^б Если SNR_N измеряется в зоне термического влияния (HAZ)/основном металле, эти значения должны быть умножены на 1,4, за исключением, если усиление и корень сварного шва находятся на одном уровне с основным металлом.</p>			

Рекомендуется проводить измерения SNR_N в HAZ, потому что это, как правило, зона с постоянным значением градации серого и в ней имеется возможность точного измерения SNR_N .

7.3.2 Принцип компенсации II (СПИИ)

Если показатели требуемой чувствительности двухпроводочного IQI, указанные в таблицах В.13 или В.14 не могут быть достигнуты детекторной системой при выбранных условиях экспозиции, то увеличение выявляемости проволоочного индикатора качества изображения или типа ступень/отверстие должно компенсировать превышенные значения нерезкости (или превышенные значения SR_b , которые могут быть либо значением SR_b^{detector} или SR_b^{image}).

Например, если требуемые значения D12 и W16 (для толщины 5 мм, класса В по таблицам В.3 и В.14) одновременно не достигаются для определенной настройки детекторной системы, то значения D11 и W17 обеспечивают эквивалентную чувствительность. Компенсация должна быть ограничена максимальным увеличением на три номера одиночных проволок для трех недостающих номеров пар дуплексных проволок.

Так как контрастная чувствительность цифровых детекторов (DDA) зависит от времени накопления, количества кадров и тока трубки (mA) для получения радиографического изображения при данных расстоянии и напряжении на трубке, то выявляемость проволоочного индикатора качества изображения или типа ступень/отверстие может быть улучшена путем увеличения времени экспозиции и (или) увеличения тока трубки. Это относится также к CR, но с ограничением вследствие максимально достижимого значения SNR_N из-за собственного (структурного) шума чувствительного слоя запоминающей пластины (PSL).

Максимально достижимое значение SNR_N при радиографии с использованием DDA определяется качеством процедуры настройки.

Значение SR_b ^{detector} определяется конструктивными и аппаратными параметрами.

В случае применения способа с увеличением масштаба изображения, значение SR_b ^{image} определяется по увеличенному изображению и из измерений IQI двухпроволочного типа, расположенного на объекте (см. 7.7).

7.3.3 Металлические экраны для запоминающих пластин (IP) и защитные экраны

При использовании передних металлических экранов для CR требуется плотное прилегание между чувствительным слоем детектора и экранами. Это может быть достигнуто применением запоминающих пластин (IP) в вакуумной упаковке или путем приложения давления. Свинцовые экраны, неплотно прилегающие к запоминающим пластинам (IP), могут способствовать нерезкости 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 заднего свинцового защитного экрана. Этот эффект, способствующий в значительной степени образованию краевой нерезкости и снижению CNR, рекомендуется свести к минимуму. Рекомендуется использовать стальные или медные защитные экраны непосредственно за запоминающими пластинами (IP). Также стальные или медные экраны, установленные между свинцовым защитным экраном и запоминающей пластиной (IP), могут улучшать качество изображения. В современных конструкциях кассет и детекторов может учитываться этот эффект, и они могут быть сконструированы таким образом, что дополнительный стальной или медный защитный экран вне кассеты не требуется.

П р и м е ч а н и е – 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 % (по сравнению со случаем отсутствия экрана) при обычных энергиях рентгеновского излучения.

Малый эффект усиления, создаваемый свинцовым экраном, контактирующим с запоминающей пластиной (IP), может быть компенсирован увеличением времени

экспозиции или значением экспозиции (мА·мин), если не применяется свинцовый экран. Так как свинцовые экраны в контакте с запоминающими пластинами (IP) могут приводить к появлению царапин на запоминающих пластинах, если они не были аккуратно разделены для проведения процесса 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. Металлические экраны рекомендуется использовать перед запоминающими пластинами (IP), также они могут уменьшить влияние рассеянного излучения при использовании с DDA.

7.4 Направление пучка излучения

Центральная ось пучка излучения должна быть направлена в центр участка контроля перпендикулярно к поверхности объекта контроля в данной точке (кроме схем контроля на рис. 11, 13 и 14), за исключением тех случаев, когда может быть продемонстрировано, что определенные дефекты лучше выявляются при другой направленности пучка излучения. В таком случае допускается другое приемлемое направление пучка излучения. Другие схемы радиографического контроля могут быть использованы по согласованию между изготовителем и заказчиком.

П р и м е р – Для лучшего выявления несплавления по кромке пучок излучения рекомендуется направлять под углом подготовки кромок под сварку.

7.5 Уменьшение рассеянного излучения

7.5.1 Металлические фильтры и коллиматоры

С целью уменьшения эффекта рассеянного излучения, первичное излучение должно быть как можно лучше коллимировано в направлении контролируемого участка объекта.

При использовании источников излучения Se 75, Ir 192 и Co 60, или рентгеновского оборудования свыше 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 2,0 мм в зависимости от просвечиваемой

толщины. В качестве фильтра, кроме свинца, могут быть использованы другие материалы, например олово, медь или сталь. Тонкий стальной или медный экран рекомендуется располагать между свинцовым листом и детектором.

7.5.2 Защита от обратно-рассеянного излучения

Наличие обратно-рассеянного излучения должно быть проверено для каждой новой системы CR посредством установки свинцовой буквы «В» (высотой не менее 10 мм и толщиной не менее 1,5 мм) позади каждой кассеты. Это должно быть за пределами изображения сварного шва и HAZ в зоне контроля. Если данный символ выявляется на радиографическом снимке как более светлый (негативное представление, т.е. уменьшенное линейаризованное значение градации серого), то это свидетельствует о наличии обратно-рассеянного излучения. Если символ темнее (увеличенное линейаризованное значение градации серого) или невидим, то цифровой радиографический снимок принимается, и он демонстрирует хорошую защиту от обратно-рассеянного излучения.

При необходимости, детектор должен быть защищен от обратно-рассеянного излучения свинцовым листом толщиной не менее 1,0 мм или оловянным листом толщиной не менее 1,5 мм, расположенным за детектором. Для уменьшения влияния рентгеновской флюоресценции свинца должна применяться дополнительная защита стальной или медной пластиной (толщиной около 0,5 мм) между свинцовым экраном и детектором. При энергии излучения выше 80 кВ не должны использоваться свинцовые экраны, контактирующие с обратной стороной детектора.

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 расстояния b или b' , (измеряемого со стороны источника объекта контроля до чувствительного слоя детектора). Размер источника или размер фокусного пятна d должен соответствовать EN 12543 или EN 12679.

Заявленные значения изготовителя могут использоваться, если они отвечают требованиям данных документов.

Если размер источника излучения 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 или f' следует выбирать таким образом, чтобы отношение этого

расстояния к размеру источника излучения или к размеру фокусного пятна d , т.е. f/d или f'/d , было не меньше значений, определяемых по формулам (2) и (3).

Для упрощения в следующих формулах используются только параметры f и b . Как показано на рис. 11, 13 и 14, в формулах также используются параметры f' и b' .

- для класса контроля А:

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

- для класса контроля В:

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

где, величины d , f и b выражены в мм.

Если расстояние b меньше, чем $1,2t$, то расстояние b в формулах (2) и (3) и на рисунке 21 должно быть заменено номинальной толщиной t .

Для определения расстояния от источника излучения до объекта контроля f_{\min} или f'_{\min} можно использовать номограмму на рисунке 21. Эта номограмма основывается на формулах (2) и (3).

Для схем контроля в соответствии с рисунками 2 b, 8 b, 13 b и 14 b (с усилением $v \leq 1,2$) расстояние f' следует выбирать таким образом, чтобы отношение этого расстояния к размеру источника d , т.е. f'/d , было не меньше значений, определяемых по формулам (4) и (5), если $b/t > 1,2$:

- для класса контроля А следует использовать формулу (4):

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

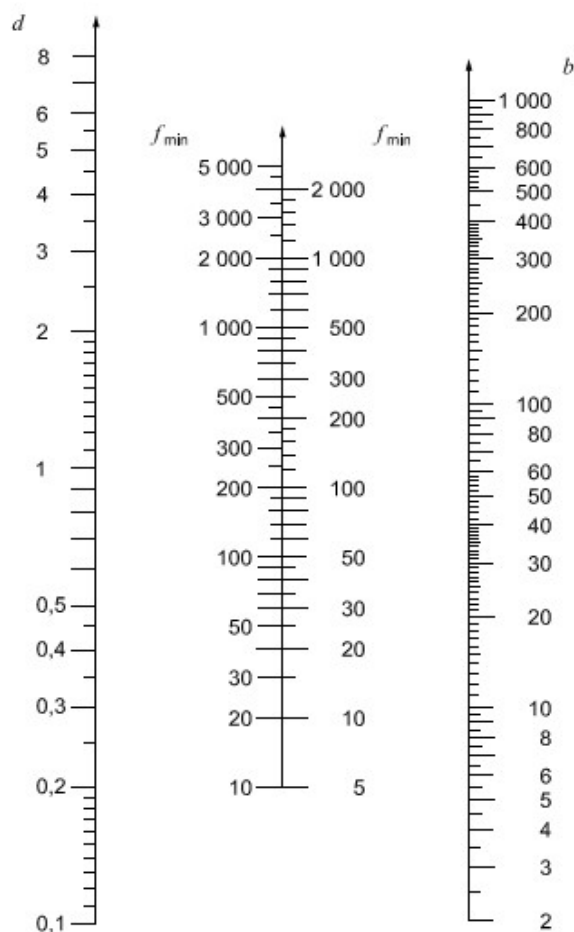
- для класса контроля В следует использовать формулу (5):

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

где величины d , f и b выражены в мм;

Для класса контроля А, когда требуется выявление плоскостных дефектов, минимальное расстояние от источника излучения до объекта контроля f_{\min} или f'_{\min} должно быть такое же, как для класса контроля В, чтобы в два раза уменьшить геометрическую нерезкость.

При критически важных технических применениях материалов, подверженных растрескиванию, должны использоваться более чувствительные, чем для класса В, радиографические способы.



f_{\min} минимальное расстояние от источника до объекта контроля, мм

d размер источника, мм

b расстояние от объекта до детектора, мм

A класс контроля A

B класс контроля B

Рисунок 21 – Номограмма для определения минимального расстояния от источника излучения до объекта контроля f_{\min} , в зависимости от расстояния от объекта контроля до детектора b и размера источника излучения d , кроме схем контроля на рис. 2 б), 8 б), 13 б) и 14 б)

Если параметр f_{\min} слишком мал для экспонирования всей области детектирования, рекомендуют применять повышенное значение SDD. В этом случае SDD вычисляют по формуле (6) от угла раскрытия 2β диафрагмы рентгеновской трубки или коллиматора источников гамма-излучения и размера по диагонали области захвата детектора (D_d).

$$SDD \geq 0,5 \cdot \frac{D_d}{\tan(\beta)} \quad (6)$$

Для неразрушающего контроля обычный угол раскрытия диафрагмы направленности рентгеновской трубки составляет $2\beta = 40^\circ (\pm 20^\circ)$. Формула (6) упрощена для этих трубок до формулы (7).

$$SDD \geq 1,4 \cdot D_d \quad (7)$$

Таблица В.13 и Таблица В.14 приводят максимальные значения для SR_b^{image} с использованием двухпроводочных IQI или значения $SR_b^{detector}$ стандартной экспозиции (если $v < 1,2$) для достаточного качества изображения по классу качества испытаний А и В соответственно.

Вычисление значения b для схем контроля на рис. 2 b), 8 b), 13 b) и 14 b) зависит от расстояния b_{ed} плоского детектора у края для рис. 8 b), 13 b) и 14 b) или в центре области контроля для рис. 2 b), от зазора между чувствительным слоем детектора и ближайшей поверхностью трубы (b_{gap}) и от толщины стенки у края области контроля. Значение b рассчитывают, как показано на рис. 22 на основе формул (8), (9) и (10) или по масштабированному чертежу.

Класс контроля А:

$$b = b_{ed} + 1,2 \cdot t + b_{gap} \quad (8)$$

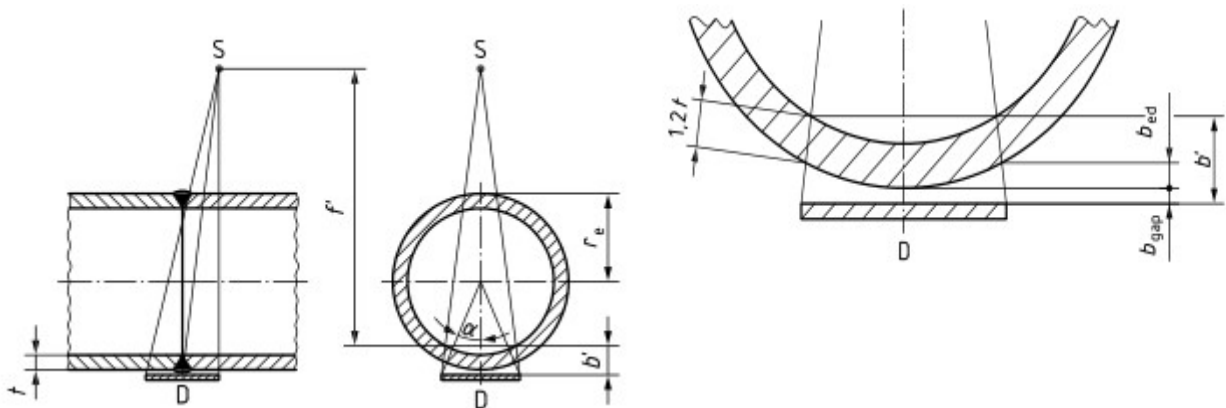
Класс контроля В:

$$b = b_{ed} + 1,1 \cdot t + b_{gap} \quad (9)$$

при

$$b_{ed} = (1 - \cos(\alpha)) \cdot r_e \quad (10)$$

где r_e , b_{ed} и b_{gap} выражаются в мм.



а) Схема контроля изогнутых объектов просвечиванием через две стенки с одним изображением для плоских детекторов

б) Увеличенное представление контролируемого изогнутого объекта и детектор

П р и м е ч а н и е – значение b_{ed} измеряется на рис. 2 б) в центре контролируемой области сварного шва.

Рисунок 22 – Схема определения параметра b при контроле по схеме DWSI с жесткими кассетами или жесткими DDA [рис. 13 б) и 14 б)], показанные для рисунка 13 б), и класс испытаний А

Вычисление параметра b для применения DDA для панорамного контроля в соответствии с рис. 5 б) (центральная проекция) зависит от расстояния плоского детектора у края (b_{ed}) контролируемой области, зазора между детектором и наружной поверхностью трубы (b_{gap}) и толщины стенки у края контролируемой области. Значение b рассчитывают по формулам (11) и (12) или по масштабированному чертежу.

Классы контроля А и В:

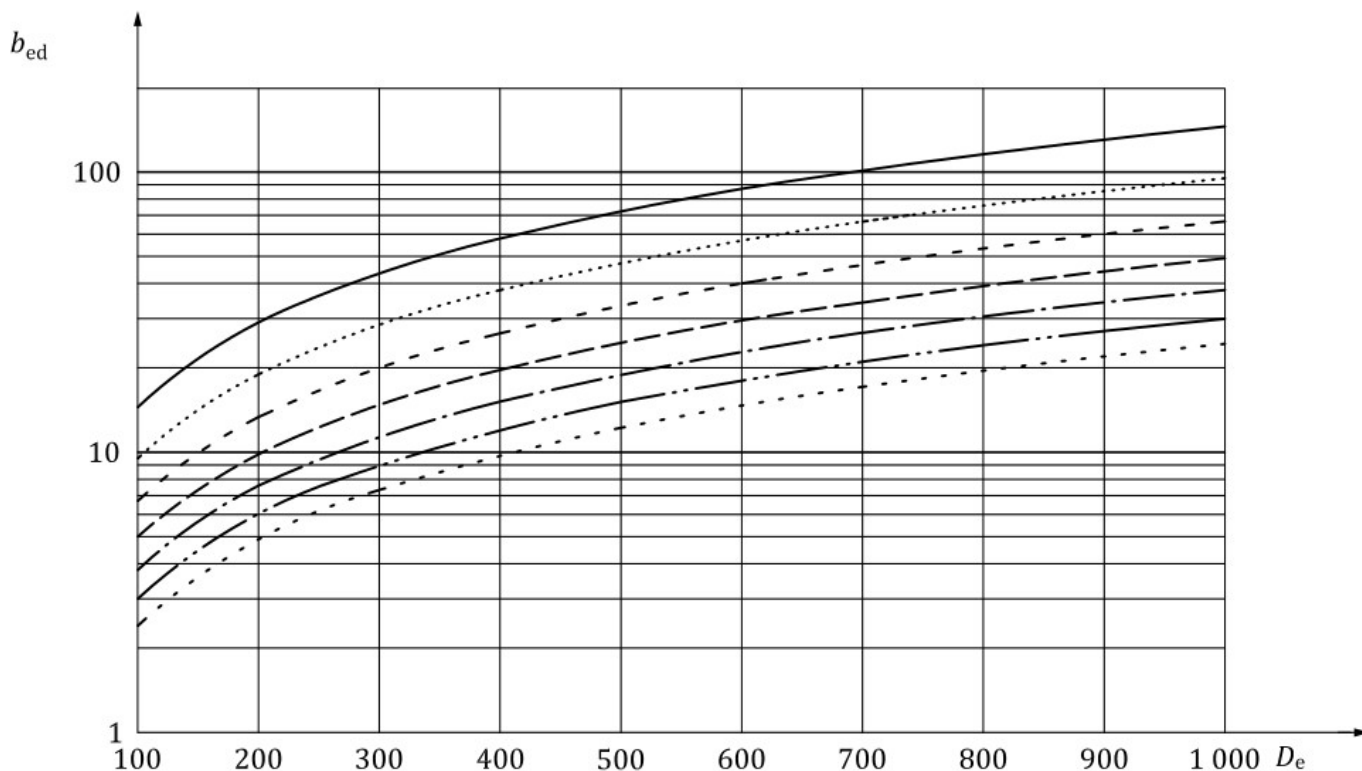
$$b = b_{ed} + t + b_{gap} \quad (11)$$

при

$$b = \frac{1}{\cos} \cdot (r_e + b_{gap}) - r_i \quad (12)$$

где b , b_{ed} , b_{gap} , r_e , r_i и t выражаются в мм.

Поскольку формула (10) трудна для производителей, для определения значения b_{ed} можно использовать рис. 23 в зависимости от количества экспозиций (N) и наружного диаметра (D_e) контролируемой трубы в соответствии с рис. 2 б), 8 б), 13 б) и 14 б). См. Приложение А по определению требуемого количества экспозиций (N).



Пояснения

—————	$N = 4$
.....	$N = 5$
- - - - -	$N = 6$
— — — —	$N = 7$
— · — · —	$N = 8$
— · · — · —	$N = 9$
.....	$N = 10$

b_{ed} расстояние плоского детектора у края трубы для рис. 8 б), 13 б), 14 б) и 22 б) ил по центру для рис. 2 б), мм

D_e наружный диаметр трубы, мм

Рисунок 23 — График для определения значения b_{ed} в зависимости от количества экспозиций (N) и наружного диаметра (D_e) контролируемой трубы при использовании способа просвечивания через две стенки с одинарным изображением

Если $(b/t) > 1,2$, тогда значение f_{min} для $b = t$, как определено на рис. 21, должно быть увеличено с коэффициентом увеличения S_i , который рассчитывают по формуле (13) для обеспечения соответствия требованиям к нерезкости для изогнутых детекторов в контакте с объектом в зависимости от толщины материала t [также см. формулу (4) и формулу (5)]. Следовательно, минимальное расстояние от источника

до объекта f_{\min}^* для плоских детекторов [см. рис. 2 б), 5 б), 8 б), 13 б) и 14 б)] рассчитывается по формуле (13).

$$f_{\min}^* = C_i \cdot f_{\min}(b=t) = \left(\frac{b}{t}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot f_{\min}(b=t) \quad (13)$$

где f_{\min} , f_{\min}^* , b и t выражаются в мм.

Определение значения f_{\min}^* выполняется следующим образом:

— Определить значение b_{gap} по исходным данным, с учетом толщины верхнего валика сварного шва, толщины корпуса детектора или толщины кассеты и расположения чувствительного слоя детектора.

— Определить для плоских детекторов или плоских кассет значения b_{ed} как функции размера детектора и количества требуемых экспозиций:

— Учитывать требуемое наложение на изображениях, что снижает полезный размер детектора.

— Определить значение b_{ed} для схемы контроля, как указано на рис. 2 б), 8 б), 13 б) или 14 б) с использованием формулы (10), или определить значение b с использованием формулы (12) для схемы контроля, указанной на рис. 5 б).

— Как вариант, значение b_{ed} можно рассчитать по рис. 23 для схем контроля, приведенных на рис. 8 б), 13 б) или 14 б).

— Как вариант, b_{ed} можно определить по масштабированным чертежам.

— Значение b_{ed} соответствует увеличению значения b из-за кривизны объекта, если схема контроля строится по рис. 2 б).

— Вычислить значение b с учетом параметров t , b_{gap} и b_{ed} [см. формулы (8), (9) или (11)].

— Использовать рис. 21 или формулу (2) или формулу (3) (в зависимости от класса контроля) для расчета значения f_{\min} .

— Использовать рис. 24 для определения значения C_i из соотношения b/t (если $b/t > 1,2$) и рассчитать значение f_{\min}^* по формуле (13).

— Как вариант, в зависимости от класса контроля использовать формулы (4) или (5).

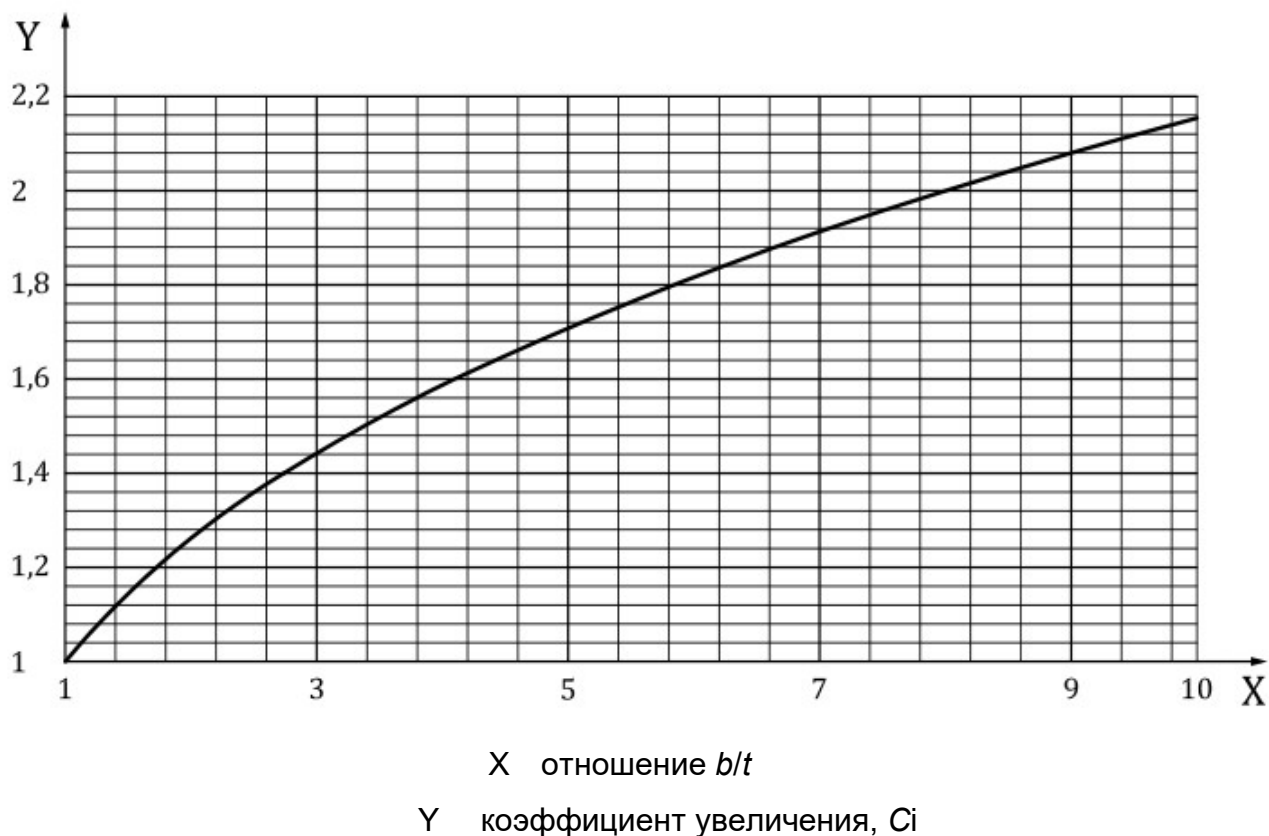


Рисунок 24 — Коэффициент увеличения значения f_{\min} , как определено из рис. 21, если $b/t > 1,2$ и учтено в формулах (4), (5) и (13)

Если нерезкость детектора близка к допустимой геометрической нерезкости, выявляемость IQI, как указано в таблицах В.1 – В.12, достигается только за счёт увеличенного значения f_{\min} или f'_{\min} (см. Приложение F) и/или более высокого значения SNR (CP II).

При использовании схемы контроля на эллипс, описанной в 7.1.6 (рис. 11), или схемы перпендикулярной съёмки, описанной в 7.1.7 (рис. 12), значения b или b' необходимо заменить значением наружного диаметра трубы D_e в формуле (2), формуле (3) и на рисунке 21.

Когда источник находится вне объекта контроля, а детектор – с другой стороны (способ получения одного изображения через две стенки по 7.1.8 (рис. 13 – 16)), минимальное расстояние от источника излучения до объекта контроля определяется только толщиной стенки (т.е. не зависит от диаметра трубы).

Предпочтительно избегать, где это возможно, использования способа просвечивания через две стенки (см. 7.1.8, рис. 13 – 16) путем помещения источника излучения внутрь объекта контроля, чтобы достичь более подходящего направления просвечивания [см. 7.1.4 и 7.1.5 (рис. 5 – 10)]. Рекомендуется, чтобы уменьшение

минимального расстояния от источника излучения до объекта контроля было не больше 20 % при условии соблюдения требований к IQI. Если выполняется панорамный контроль, а детектор располагается снаружи (см. 7.1.4, рис. 5), при условии соблюдения требований к IQI, этот процент должен быть увеличен. Однако уменьшение минимального расстояния от источника излучения до объекта контроля должно быть не более 50 %. Дальнейшее уменьшение должно быть согласовано между изготовителем и заказчиком при условии выполнения требований к IQI.

Для центральной проекции (рис. 5) увеличенная геометрическая нерезкость должна быть приемлема, разрешающая значение одной дуплексной пары проволочек меньше, чем требуется по Таблице В.13 или В.14 при условии соблюдения требований к IQI, указанных в Таблицах В.1 – В.4. Это разрешает либо снизить значение f , как описано (макс. 50 %,) или применить детектор с базовым пространственным разрешением меньшим, чем требуется в таблицах В.13 или В.14.

7.7 Способ геометрического увеличения

Применение способа геометрического увеличения, как описано в данном подразделе, рекомендуется, если в схеме контроля применяется значение $v > 1,2$.

Препятствием для применения систем CR и DDA для радиографического контроля сварных соединений является большой (более 50 мкм) размер пикселя в большинстве матричных цифровых детекторов и систем «запоминающая пластина (IP)-сканер» по сравнению с малым размером зерна пленки (благодаря этому пленка имеет очень высокое пространственное разрешение). Эту трудность можно преодолеть, воспользовавшись уникальным свойством DDA увеличивать SNR_N (CP II) в изображении и (или), при необходимости, геометрическим увеличением.

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

Увеличение отношения сигнала к шуму в изображении (см. 7.3.2, CP II) является одним из вариантов, если требуемая чувствительность по IQI (подтвержденная IQI проволочного типа или типа ступень/отверстие) и SR_b^{image} (подтвержденное IQI двухпроволочного типа, см. приложение С) не отвечают требованиям, приведенных в соответствующих таблицах В.1 – В.14 (приложение В).

Другим вариантом является применение способа геометрического увеличения с увеличенным расстоянием между детектором (IP или DDA) и объектом контроля 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 показателей качества по IQI все еще не достигнуты, системы CR или DDA не могут быть использованы для контроля.

Правильность выбора увеличения должна быть доказана путем использования IQI двухпроволочного типа на объекте контроля для всех радиографических снимков изделия. IQI двухпроволочного типа должен быть расположен на ближней к детектору стороне объекта контроля, если $2 \cdot SR_b^{\text{detector}} < d$ (d – размер источника или размер фокусного пятна). В противном случае, IQI двухпроволочного типа должен быть расположен на объекте контроля со стороны источника излучения. Для выбора коэффициента увеличения рекомендуется располагать IQI двухпроволочного типа на обеих сторонах объекта контроля, при этом после выбора правильного коэффициента увеличения и размера источника излучения или размера фокусного пятна на окончательных радиографических снимках изделий должен быть виден только один IQI после выбора правильного коэффициента увеличения и размера источника.

Если применяется автоматизированное распознавание дефектов, IQI могут создавать помехи в цифровых изображениях. Если IQI не используются при получении серийных радиографических снимков изделий, качество изображения должно периодически подтверждаться проверочными радиографическими снимками с изображениями IQI проволочного или типа ступень/отверстие и IQI двухпроволочного типа.

Нерезкость изображения u_{lm} должна быть оценена по увеличению v , геометрической нерезкости u_G и SR_b^{detector} по формуле (14) и формуле (15):

$$u_{lm} = \frac{1}{v} \sqrt{(u_G)^2 + (2 \cdot SR_b^{\text{detector}})^2} \quad (14)$$

$$\text{где } u_G = \left(\frac{SDD}{f} - 1 \right) d = (v - 1)d, \quad (15)$$

Для уменьшения нерезкости изображения необходимо повышать увеличение и(или) уменьшать размер фокусного пятна таким образом, чтобы нерезкость изображения была меньше или равна соответствующему значению, указанному в таблице В.13 или В.14. Это должно подтверждаться двухпроволочным IQI, располагаемым на объекте, как описано выше в данном подразделе.

Увеличение должно применяться для минимизации нерезкости изображения. Оптимальное увеличение v_o , обеспечивает лучшую резкость для заданного размера источника d , а значение SR_b^{detector} приведено в формуле (16).

$$v_o = 1 + \left(\frac{2 \cdot SR_b^{\text{detector}}}{d} \right)^2 \quad (16)$$

Коэффициент геометрического увеличения обычно отличается для поверхностей объекта со стороны источника излучения и детектора. Поэтому увеличение v рекомендуется выбирать для центра объекта контроля. Рекомендуется, чтобы различие значений геометрического увеличения со стороны источника излучения и со стороны детектора было в пределах $\pm 25\%$. Меньшие значения увеличения могут быть выбраны, если применяется СРП, как описано в 7.3.2.

7.8 Максимальная область при однократной экспозиции

Количество цифровых радиографических снимков для полного контроля прямолинейных сварных швов (см. рисунки 1, 15, 17, 18 и 19) и изогнутых сварных швов при расположении источника излучения вне центра (см. рисунки 2 – 4 и 8 – 10 и 13 – 16) целесообразно указывать в спецификации на продукцию в соответствии с техническими требованиями.

Для участка контроля с постоянной толщиной, отношение просвечиваемой толщины у внешней границы к просвечиваемой толщине в центре пучка должно быть не более 1,1 для класса В и 1,2 – для класса А.

Не рекомендуется, чтобы значения SNR_N , обусловленные любым изменением просвечиваемой толщины, были меньше указанных в таблицах 3 или 4. В качестве альтернативы, для CR, как показано в приложении D, могут быть использованы значения GV вместо значений SNR_N .

Размер области, подлежащей контролю и оценке, включает в себя сварной шов и зону термического влияния. Каждая одинарная экспозиция предполагает контролируемую область сварного шва и все требуемые IQI, маркировочные знаки и идентификационные буквы на контролируемом участке.

Данный подраздел относится к ручному и автоматизированному контролю в режиме пуск/стоп. Он не относится к автоматизированному контролю в непрерывном режиме.

7.9 Обработка данных

7.9.1 Сканирование и считывание изображения

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

7.9.2 Настройка DDA

При использовании DDA должна применяться процедура настройки детектора в соответствии с рекомендациями изготовителя. Детектор должен быть настроен с помощью фонового изображения (без излучения) и, по крайней мере, одного изображения с усилением сигнала (при включенном рентгеновском излучении и однородной экспозиции). Настройка с использованием нескольких коэффициентов усиления сигнала увеличивает достигаемые SNR_N и линейность, но занимает больше времени. Чтобы свести к минимуму шум, обусловленный настройкой, все настроечные изображения должны быть получены при экспозиционной дозе ($mA \cdot \text{мин}$ или $ГБк \cdot \text{мин}$), по крайней мере, в два раза большей дозы, используемой для радиографических снимков контроля. Если предусмотрено документированной процедурой, настроечные изображения рекомендуется рассматривать в качестве исходных изображений для подтверждения качества контроля. Настройка должна осуществляться периодически и при существенных изменениях условий экспозиции.

Рекомендуется повторять коррекцию изображений DDA, если отдельно выбираются разные периоды кадра. Число периодов изображений с коррекцией должно быть как минимум вдвое больше, чем используется в промышленном получении изображений.

7.9.3 Интерполяция плохих пикселей

При использовании DDA, в соответствии с руководством изготовителя, должна быть составлена картограмма детектора для определения карты расположения плохих пикселей. Эта карта плохих пикселей должна быть документирована. Интерполяция плохих пикселей является приемлемой и необходимой процедурой для радиографии с помощью DDA. Рекомендуется применять только DDA, не имеющие пикселей ядер скоплений (СКР) в области контроля (A_{01}).

Для контроля должны применяться DDA без СКР и системы CR, имеющие базовое пространственное разрешение (SR_b^{detector}) детектора не более чем предусмотрено в таблицах В.13 или В.14 (приложение В). Если применяется способ увеличения, SR_b^{image} должно быть определено путем измерения на изображении, как описано в приложении С, с помощью IQI двухпроводочного типа, расположенного непосредственно на объекте контроля (см. 7.7). Это значение SR_b^{image} должно быть не более значений, приведенных в таблицах В.13 или В.14 (приложение В). Если SR_b детектора или изображения больше значений, приведенных в таблицах В.13 или В.14 (приложение В), то должен быть применен принцип компенсации CP II, как описано в 7.2.3.

Если DDA или запоминающие пластины применяются для контроля дефектов размером, примерно равным пространственному разрешению изображения SR_b^{image} , требуемое SNR_N должно быть значительно увеличено. Контроль должен быть проведен на основании соглашения между изготовителем и заказчиком. Указанное увеличение SNR_N должно компенсировать местное увеличение нерезкости, возникающее из-за интерполяции плохих пикселей.

Оценка плохих пикселей должна осуществляться периодически.

П р и м е ч а н и е – По аналогии с CP II, увеличенное SNR_N компенсирует местную нерезкость, вызванную интерполяцией плохих пикселей. Это положение рассматривается как CP III.

7.9.4 Обработка изображения

7.9.4.1 Для определения SNR , SR_b и SNR_N цифровые данные радиографического детектора должны быть представлены линейаризованными значениями градации серого, которые прямо пропорциональны дозе излучения. Для оптимального отображения изображения рекомендуется иметь интерактивную регулировку контрастности и яркости. Дополнительные функции фильтрации, профилирования и инструмент для определения SNR , SNR_N целесообразно интегрировать в программное обеспечение для отображения и анализа изображения. При особо важном анализе изображения оператор должен расшифровывать изображение при коэффициенте масштабирования (цифрового увеличения) от 1:1 (это означает, что один пиксель цифрового радиографического снимка представлен одним пикселем монитора) до 1:2 (означает, что один пиксель цифрового радиографического снимка представлен четырьмя пикселями монитора).

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

7.9.4.3 Если при оценке IQI проволочного или типа ступень/отверстие 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 показателя качества по IQI.

7.10 Условия просмотра и хранение цифровых радиографических снимков

Оценка цифровых радиографических снимков должна проводиться в затемненном помещении. Настройка монитора должна быть проверена с помощью соответствующего тестового изображения.

Дисплей для оценки изображения должен удовлетворять минимальным требованиям:

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

Исходные изображения (места контроля) должны сохраняться с полным разрешением, передаваемым детекторной системой. Чтобы обеспечить отсутствие артефактов изображений с детектора, до сохранения данных должны применяться только операции обработки изображения, связанные с настройкой детектора (например коррекция смещения, настройка по усилению для балансировки детектора и коррекция плохих пикселей, см. [11]).

Для обеспечения долговременного хранения данных с использованием только сжатия без потерь, оно должно быть дублирующим и поддерживаться соответствующими алгоритмами резервного копирования.

8 Протокол контроля

Для каждой экспозиции или ряда экспозиций должен быть подготовлен протокол контроля, содержащий информацию об использованном цифровом

радиографическом методе и (или) о других условиях, что позволит лучше интерпретировать полученные результаты.

Протокол контроля должен включать в себя как минимум следующую информацию:

- a) ссылка на настоящий документ, т.е. ISO 17636-2:2022;
- b) название контролирующей организации;
- c) объект контроля;
- d) материал;
- e) этап производства, например, термическую обработку, механическую обработку;
- f) тип сварного шва; дополнительный снимок;
- g) толщина материала t и общая толщина сварного шва;
- h) процесс сварки;
- i) технические условия контроля, если отличаются от настоящего документа или дополняют его;
- j) требования к приемке (например, по ISO 10675-1 или ISO 10675-2);
- k) способ радиографии в соответствии с 7.1 (рис. 1 – 19) и классом качества испытаний, требуемую чувствительность по IQI в соответствии с настоящим стандартом (приложение В);
- l) увеличение;
- m) используемую систему маркировки;
- n) схему расположения детектора;
- o) источник излучения, тип и размер фокусного пятна, а также использованное оборудование;
- p) детектор, экраны и фильтры, базовое пространственное разрешение детектора;
- q) достигнутое и требуемое SNR_N для DDA или достигнутые и требуемые значения градаций серого и/или SNR_N для CR;
- r) для CR: тип сканера и следующие параметры: размер пикселя, скорость сканирования, коэффициент усиления, интенсивность лазера, размер лазерного пятна;
- s) для DDA: тип и следующие параметры: коэффициент усиления, длительность кадра, количество кадров, размер пикселя, процедура настройки;

t) использованное напряжение на рентгеновской трубке и сила тока или активность и тип источника излучения;

u) время экспозиции и расстояние от источника излучения до детектора;

v) тип и положение индикаторов качества изображения (со стороны детектора или источника);

w) результаты контроля, включающие данные применяемого программного обеспечения, значения показаний IQI;

x) использованные параметры обработки изображения, например, цифровых фильтров;

y) любые отклонения от настоящего стандарта, по особому соглашению между изготовителем и заказчиком;

z) фамилия, ссылка на сертификационное удостоверение и подпись ответственного лица (лиц), например, оператор радиографического контроля или специалист по анализу радиографических изображений;

aa) любые наблюдаемые отклонения;

bb) дата(ы) экспозиции и составления протокола контроля.

Приложение А

(обязательное)

Рекомендуемое количество экспозиций, обеспечивающее приемлемый контроль кольцевых стыковых сварных швов

Минимальное требуемое количество экспозиций представлено на Рис. А.1 – А.4, которое применимо для труб, кроме тех, которые подвергаются контролю через две стенки с двойным изображением в соответствии с 7.1.6 и 7.1.7 (Рис. 11 и Рис. 12).

Если изменение толщины стенки контролируемого соединения $\Delta t/t$ при использовании одиночной экспозиции не превышает 20 % (класс контроля А), то применяют рисунки А.3 и А.4. Такой способ рекомендуется только при малой вероятности наличия поперечных трещин или при контроле сварного 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. При этом также вероятно выявление поперечных трещин.

Если объект контролируется на наличие одиночных поперечных трещин, то требуемое минимальное количество цифровых радиографических снимков возрастает по сравнению со значениями на рисунках А.1 – А.4.

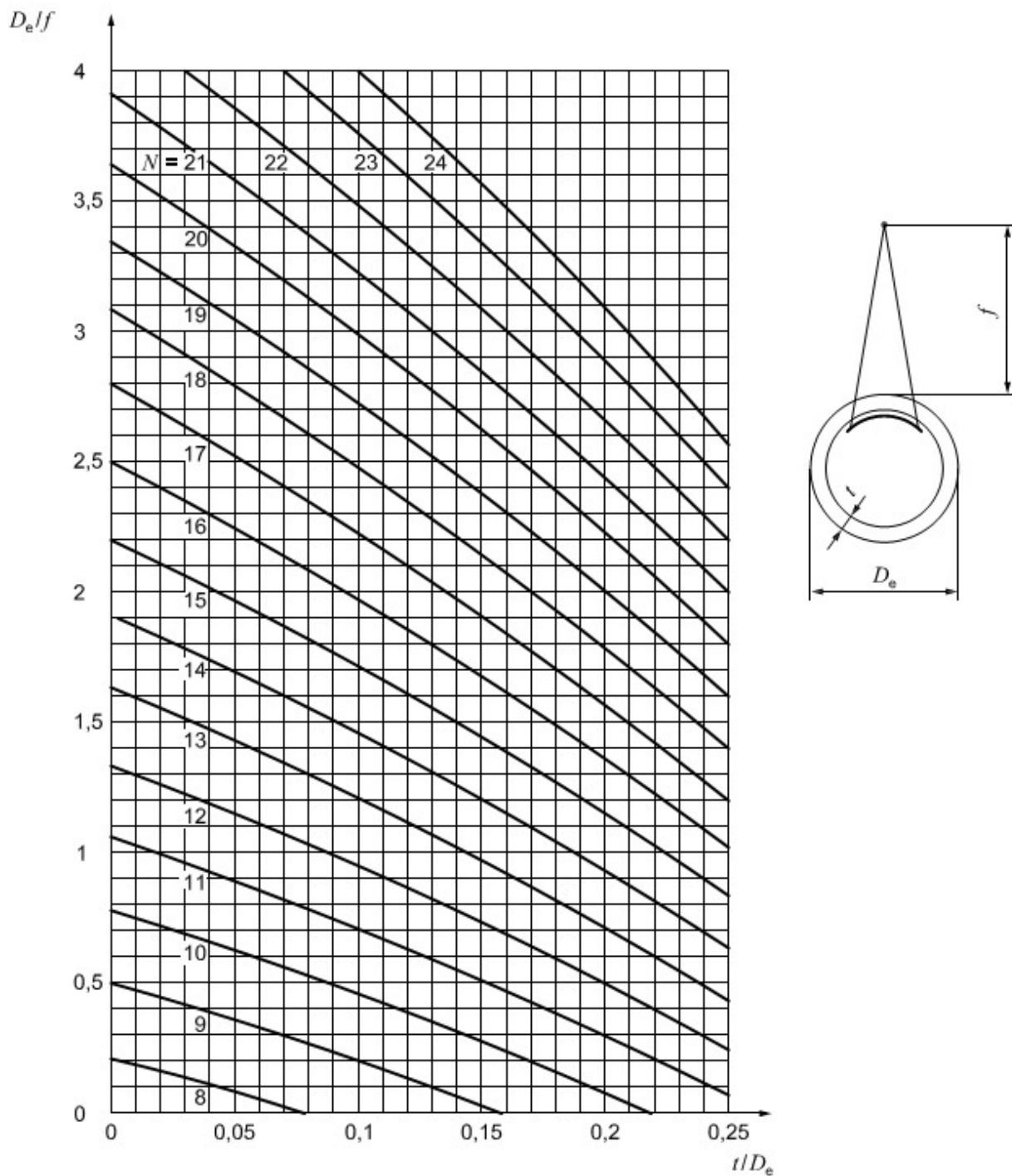
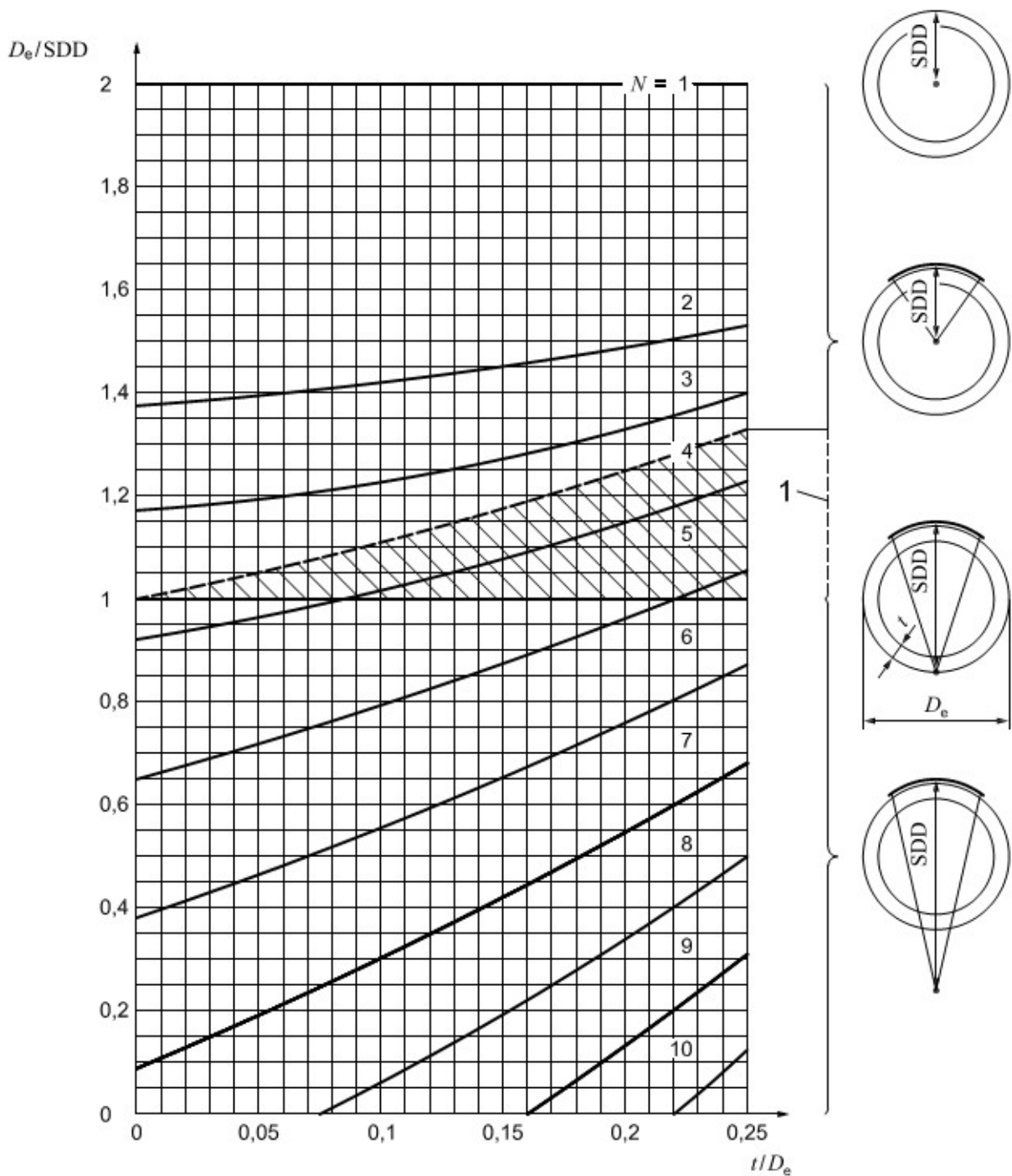


Рисунок А.1 – Минимальное количество экспозиций N при просвечивании через одну стенку с источником излучения снаружи при максимально допустимом увеличении просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за наклонного направления излучения в проверяемой области, равном 10 % (класс В), как функция отношений t/D_e и D_e/f , достаточный уровень SNR_N в контролируемых областях при наклонном направлении излучения



1 – внутренняя стенка трубы

Рисунок А.2 – Минимальное количество экспозиций N при эксцентрическом просвечивании с источником излучения внутри, а также при просвечивании через две стенки при максимально допустимом увеличении просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за наклонного направления излучения, равном 10 % (класс В), как функция отношений t/D_e и D_e/SDD , достаточный уровень SNR_N в контролируемых областях при наклонном направлении излучения

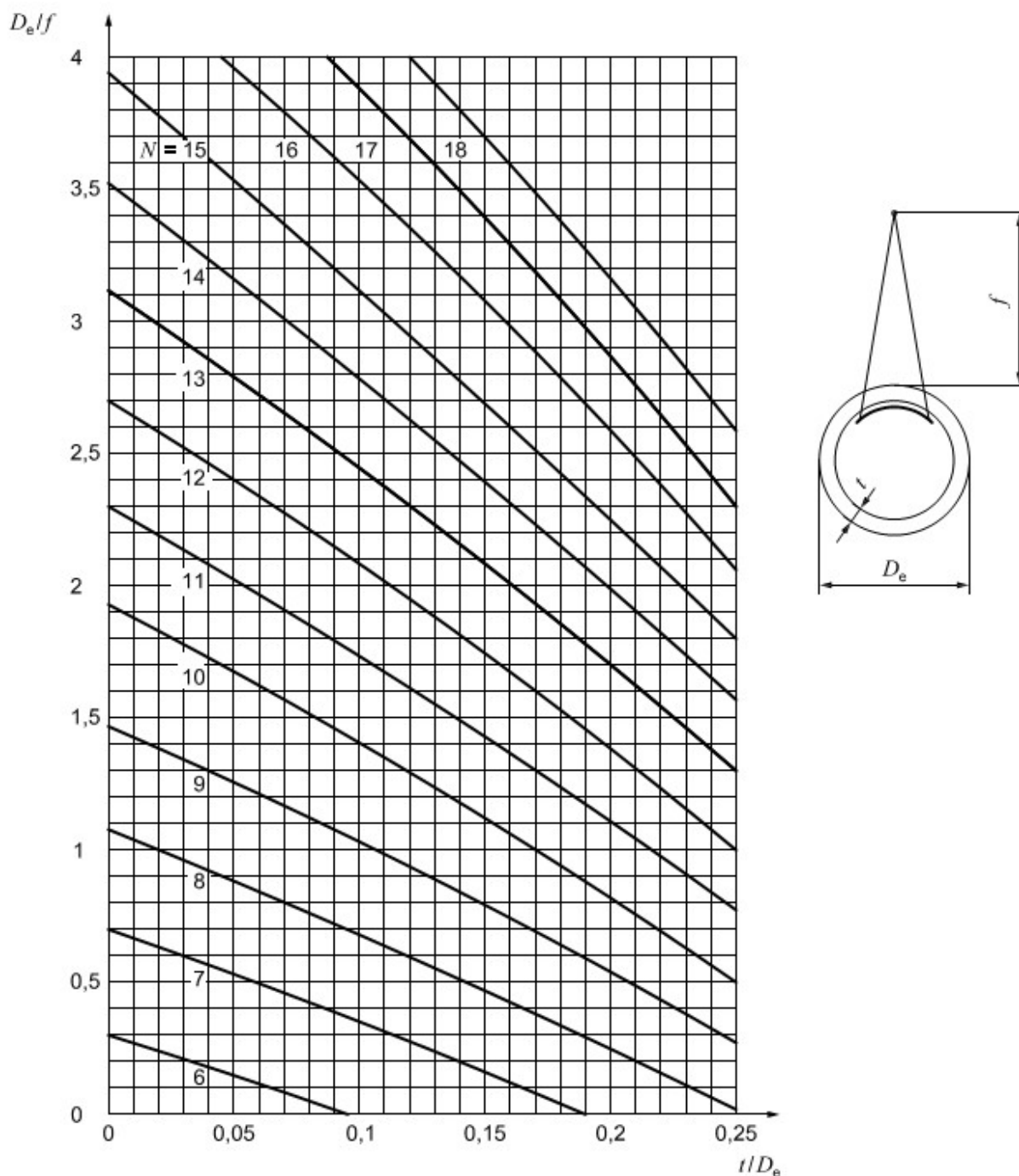
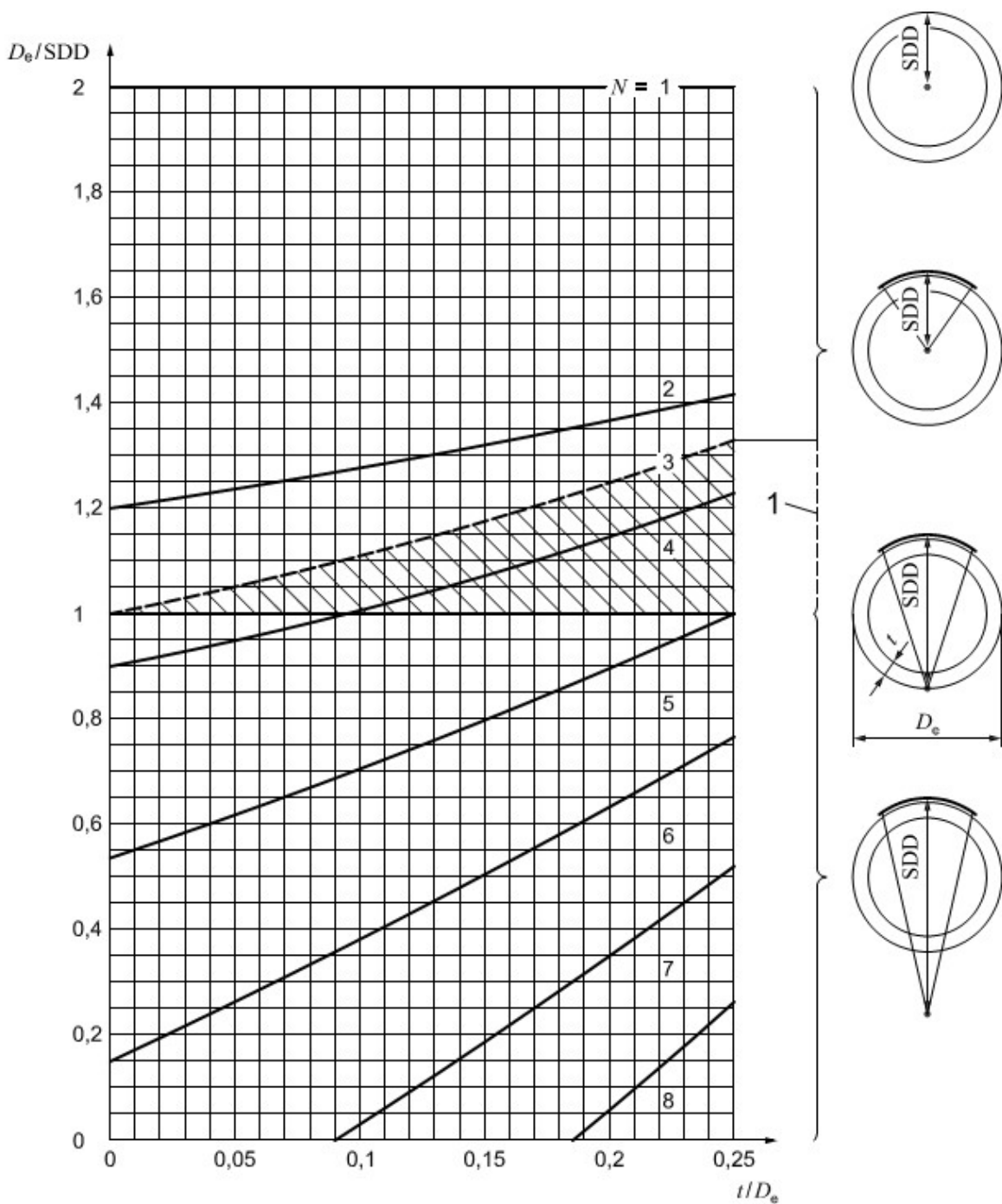


Рисунок А.3 – Минимальное количество экспозиций N при просвечивании через одну стенку с источником излучения снаружи при максимально допустимом увеличении просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за наклонного направления излучения в проверяемой области, равном 20 % (класс А), как функция отношений t/D_e и D_e/f , достаточный уровень SNR_N в контролируемых областях при наклонном направлении излучения



1 – внутренняя стенка трубы

Рисунок А.4 – Минимальное количество экспозиций N при эксцентрическом просвечивании с источником излучения внутри, а также при просвечивании через две стенки при максимально допустимом увеличении просвечиваемой толщины $\Delta t/t$ из-за наклонного направления излучения, равном 20 % (класс А), как функция отношений t/D_e и D_e/SDD , достаточный уровень SNR_N в контролируемых областях при наклонном направлении излучения

Приложение В

(обязательное)

Минимальные значения показателей качества изображения

В.1 Общие положения

Для приемлемости качества по классу контроля А или классу контроля В должны достигаться минимальные показатели IQI из Таблиц В.1 – В.14 или быть выше.

В.2 Способ контроля через одну стенку; IQI со стороны источника излучения

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

Класс качества изображения А	
Номинальная толщина t , мм	Номер проволоки IQI ^a
До 1,2 включ.	W 18
Св. 1,2 « 2,0 «	W 17
« 2,0 « 3,5 «	W 16
« 3,5 « 5,0 «	W 15
« 5,0 « 7,0 «	W 14
« 7,0 « 10,0 «	W 13
« 10,0 « 15,0 «	W 12
« 15,0 « 25,0 «	W 11
« 25,0 « 32,0 «	W 10
« 32,0 « 40,0 «	W 9
« 40,0 « 55,0 «	W 8
« 55,0 « 85,0 «	W 7
« 85,0 « 150,0 «	W 6
« 150,0 « 250,0 «	W 5
« 250,0	W 4

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

Т а б л и ц а В.2 – IQI типа ступень/отверстие

Класс качества изображения А	
Номинальная толщина t , мм	Номер отверстия IQI ^a
До 2,0 включ.	H 3
Св. 2,0 « 3,5 «	H 4
« 3,5 « 6,0 «	H 5
« 6,0 « 10,0 «	H 6
« 10,0 « 15,0 «	H 7
« 15,0 « 24,0 «	H 8
« 24,0 « 30,0 «	H 9
« 30,0 « 40,0 «	H 10
« 40,0 « 60,0 «	H 11
« 60,0 « 100,0 «	H 12
« 100,0 « 150,0 «	H 13
« 150,0 « 200,0 «	H 14
« 200,0 « 250,0 «	H 15
« 250,0 « 320,0 «	H 16
« 320,0 « 400,0 «	H 17

« 400,0	H 18
^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.	

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

Класс качества изображения В	
Номинальная толщина t , мм	Номер проволоки IQI ^a
До 1,5 включ.	W 19
Св. 1,5 « 2,5 «	W 18
« 2,5 « 4,0 «	W 17
« 4,0 « 6,0 «	W 16
« 6,0 « 8,0 «	W 15
« 8,0 « 12,0 «	W 14
« 12,0 « 20,0 «	W 13
« 20,0 « 30,0 «	W 12
« 30,0 « 35,0 «	W 11
« 35,0 « 45,0 «	W 10
« 45,0 « 65,0 «	W 9
« 65,0 « 120,0 «	W 8
« 120,0 « 200,0 «	W 7
« 200,0 « 350,0 «	W 6
« 350,0	W 5
^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.	

Т а б л и ц а В.4 – IQI типа ступень/отверстие

Класс качества изображения В	
Номинальная толщина t , мм	Номер проволоки IQI ^a
До 2,5 включ.	H 2
Св. 2,5 « 4,0 «	H 3
« 4,0 « 8,0 «	H 4
« 8,0 « 12,0 «	H 5
« 12,0 « 20,0 «	H 6
« 20,0 « 30,0 «	H 7
« 30,0 « 40,0 «	H 8
« 40,0 « 60,0 «	H 9
« 60,0 « 80,0 «	H 10
« 80,0 « 100,0 «	H 11
« 100,0 « 150,0 «	H 12
« 150,0 « 200,0 «	H 13
« 200,0 « 250,0 «	H 14
^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.	

В.3 Способ контроля через две стенки; два изображения; IQI со стороны источника излучения

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

Класс качества изображения А	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер проволоки IQI ^a
До 1,2 включ.	W 18
Св. 1,2 « 2,0 «	W 17
« 2,0 « 3,5 «	W 16
« 3,5 « 5,0 «	W 15
« 5,0 « 7,0 «	W 14
« 7,0 « 12,0 «	W 13
« 12,0 « 18,0 «	W 12
« 18,0 « 30,0 «	W 11
« 30,0 « 40,0 «	W 10
« 40,0 « 50,0 «	W 9
« 50,0 « 60,0 «	W 8
« 60,0 « 85,0 «	W 7
« 85,0 « 120,0 «	W 6
« 120,0 « 220,0 «	W 5
« 220,0 « 380,0 «	W 4
« 380,0	W 3

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

Т а б л и ц а В.6 – IQI типа ступень/отверстие

Класс качества изображения А	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер отверстия IQI ^a
До 1,0 включ.	H 3
Св. 1,0 « 2,0 «	H 4
« 2,0 « 3,5 «	H 5
« 3,5 « 5,5 «	H 6
« 5,5 « 10,0 «	H 7
« 10,0 « 19,0 «	H 8
« 19,0 « 35,0 «	H 9

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

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

Класс качества изображения В	
Просвечиваемая толщина <i>w</i> , мм	Номер проволоки IQI ^a
До 1,5 включ.	W 19
Св. 1,5 « 2,5 «	W 18
« 2,5 « 4,0 «	W 17
« 4,0 « 6,0 «	W 16
« 6,0 « 8,0 «	W 15
« 8,0 « 15,0 «	W 14
« 15,0 « 25,0 «	W 13
« 25,0 « 38,0 «	W 12
« 38,0 « 45,0 «	W 11
« 45,0 « 55,0 «	W 10
« 55,0 « 70,0 «	W 9
« 70,0 « 100,0 «	W 8
« 100,0 « 170,0 «	W 7
« 170,0 « 250,0 «	W 6
« 250,0	W 5

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

Т а б л и ц а В.8 – IQI типа ступень/отверстие

Класс качества изображения В	
Просвечиваемая толщина <i>w</i> , мм	Номер отверстия IQI ^a
До 1,0 включ.	H 2
Св. 1,0 « 2,5 «	H 3
« 2,5 « 4,0 «	H 4
« 4,0 « 6,0 «	H 5
« 6,0 « 11,0 «	H 6
« 11,0 « 20,0 «	H 7
« 20,0 « 35,0 «	H 8

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

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

Класс качества изображения А	
Просвечиваемая толщина w, мм	Номер проволочки IQI ^a
До 1,2 включ.	W 18
Св. 1,2 « 2,0 «	W 17
« 2,0 « 3,5 «	W 16
« 3,5 « 5,0 «	W 15
« 5,0 « 10,0 «	W 14
« 10,0 « 15,0 «	W 13
« 15,0 « 22,0 «	W 12
« 22,0 « 38,0 «	W 11
« 38,0 « 48,0 «	W 10
« 48,0 « 60,0 «	W 9
« 60,0 « 85,0 «	W 8
« 85,0 « 125,0 «	W 7
« 125,0 « 225,0 «	W 6
« 225,0 « 375,0 «	W 5
« 375,0	W 4

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

Т а б л и ц а В.10 – IQI типа ступень/отверстие

Класс качества изображения А	
Просвечиваемая толщина w, мм	Номер отверстия IQI ^a
До 2,0 включ.	H 3
Св. 2,0 « 5,0 «	H 4
« 5,0 « 9,0 «	H 5
« 9,0 « 14,0 «	H 6
« 14,0 « 22,0 «	H 7
« 22,0 « 36,0 «	H 8
« 36,0 « 50,0 «	H 9
« 50,0 « 80,0 «	H 10

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

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

Класс качества изображения В	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер проволочки IQI ^a
До 1,5 включ.	W 19
Св. 1,5 « 2,5 «	W 18
« 2,5 « 4,0 «	W 17
« 4,0 « 6,0 «	W 16
« 6,0 « 12,0 «	W 15
« 12,0 « 18,0 «	W 14
« 18,0 « 30,0 «	W 13
« 30,0 « 45,0 «	W 12
« 45,0 « 55,0 «	W 11
« 55,0 « 70,0 «	W 10
« 70,0 « 100,0 «	W 9
« 100,0 « 180,0 «	W 8
« 180,0 « 300,0 «	W 7
« 300,0	W 6

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

Т а б л и ц а В.12 – IQI типа ступень/отверстие

Класс качества изображения В	
Просвечиваемая толщина w , мм	Номер отверстия IQI ^a
До 2,5 включ.	H 2
Св. 2,5 « 5,5 «	H 3
« 5,5 « 9,5 «	H 4
« 9,5 « 15,0 «	H 5
« 15,0 « 24,0 «	H 6
« 24,0 « 40,0 «	H 7
« 40,0 « 60,0 «	H 8
« 60,0 « 80,0 «	H 9

^a Исключения при использовании источников гамма-излучения см. 6.9.

В.5 Нерезкость

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

Класс качества изображения А: IQI двухпроволочного типа по ISO 19232-5		
Просвечиваемая толщина w^a , мм	Минимальное значение показателя IQI и максимальная нерезкость (ISO 19232-5) ^{b, c} , мм	Максимальное базовое пространственное разрешение (равное толщине проволоки и зазору) ^{b, c} $SR_b^{detector}$, мм
$w \leq 1,0$	D13	0,050
	0,100	
$1,0 < w \leq 1,5$	D12	0,063
	0,125	
$1,5 < w \leq 2,0$	D11	0,080
	0,160	
$2,0 < w \leq 5,0$	D10	0,100
	0,200	
$5,0 < w \leq 10,0$	D9	0,130
	0,260	
$10,0 < w \leq 25,0$	D8	0,160
	0,320	
$25,0 < w \leq 55,0$	D7	0,200
	0,400	
$55,0 < w \leq 150,0$	D6	0,250
	0,500	
$150,0 < w \leq 250,0$	D5	0,320
	0,640	
$w > 250,0$	D4	0,400
	0,800	

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

^b Считывание показаний IQI для выбора системы (см. приложение С) применяется для контактной радиографии. Если используется способ геометрического увеличения (см. 7.7), то считывание показаний IQI должно быть выполнено на соответствующих проверочных радиографических снимках.

^c Если усиление $v > 1,2$, то значение SR_b^{image} используется вместо значения $SR_b^{detector}$.

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

Класс качества изображения В: IQI двухпроволочного типа по ISO 19232-5		
Просвечиваемая толщина w^a , мм	Минимальное значение показателя IQI и максимальная нерезкость (ISO 19232-5) ^{b, c} , мм	Максимальное базовое пространственное разрешение (равное толщине проволоки и зазору) ^{b, c} SR_b^{image} , мм
$w \leq 1,5$	D13+ ^d	0,040
	0,080	
$1,5 < w \leq 4,0$	D13	0,050
	0,100	
$4,0 < w \leq 8,0$	D12	0,063
	0,125	
$8,0 < w \leq 12,0$	D11	0,080
	0,160	
$12,0 < w \leq 40,0$	D10	0,100
	0,200	
$40,0 < w \leq 120,0$	D9	0,130
	0,260	
$120,0 < w \leq 200,0$	D8	0,160
	0,320	
$w > 200,0$	D7	0,200
	0,400	

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

^b Считывание показаний IQI для выбора системы (см. приложение С) применяется для контактной радиографии. Если используется способ геометрического увеличения (см. 7.7), считывание показаний IQI должно быть выполнено на соответствующих проверочных радиографических снимках.

^c Если усиление $v > 1,2$, то значение SR_b^{image} используется вместо значения $SR_b^{detector}$.

^d D13+» достигается, если разрешение (отчетливо видны) пары проволочек D13, для которой отношение глубины впадины к высоте пиков на профиле распределения значений градаций серого больше, чем 20 %.

П р и м е ч а н и е – двухпроволочные IQI можно эффективно использовать при напряжении на трубке до 600 кВ. Пары проволочек > 13 можно эффективно использовать при напряжении на трубке ниже 225 кВ. При использовании источников напряжения в диапазоне свыше миллиона вольт возможно, но результаты не будут полностью удовлетворительными. Можно определить значения $SR_b^{detector}$, но будет трудно измерить значение SR_b^{image} .

Приложение С

(обязательное)

Определение базового пространственного разрешения

Исходным условием для измерения корректных значений базового пространственного разрешения являются линеаризованные значения градаций серого. Это означает, что значения градации серого должны быть пропорциональны дозе излучения в данном месте изображения. Это, как правило, поддерживается программным обеспечением изготовителя.

Некоторые цифровые фильтры изменяют параметры нерезкости. Требуется измерять значения SR_b^{image} или $SR_b^{detector}$ только на необработанных изображениях.

Для определения базового пространственного разрешения детектора $SR_b^{detector}$ IQI двухпроволочного типа должен располагаться непосредственно на поверхности детектора или кассеты и показания с него должны быть сняты в соответствии с ISO 19232-5. Оценка должна выполняться с использованием откорректированных неотфильтрованных цифровых радиографических изображений (необработанных данных) двухпроволочных IQI с функцией без интерполяции, как описано в ISO 19232-5.

П р и м е ч а н и е – Если IQI двухпроволочного типа располагается на объекте контроля, а не на детекторе, имеет место измерение базового пространственного разрешения изображения SR_b^{image} , а не базового пространственного разрешения $SR_b^{detector}$.

Для того чтобы избежать эффектов наложения, IQI двухпроволочного типа должен быть расположен под углом примерно от 2° до 5° к цифровым строкам или столбцам цифрового изображения, как описано в ISO 19232-5.

Автоматизированные системы контроля с использованием DDA могут использовать режим обнаружения как непрерывное движение (например, перемещение или поворот) или получение данных в режиме пуск/стоп. Нерезкость изображения подвижных или работающих в режиме пуск/стоп систем не должна превышать значений, указанных в Таблице В.13 или Таблице В.14.

Таким образом, для автоматизированных систем контроля также будет обеспечиваться дополнительное измерение значения SR_b^{image} , когда изображение от двухпроволочного IQI получается при непрерывном движении.

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

а) контроль легких сплавов:

- напряжение трубки – 90 кВ,
- предварительный фильтр из алюминия толщиной 1 мм;

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

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

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

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

д) радиография с использованием гамма-источников и рентгеновских источников высокой энергии:

- использование указанного гамма-источника или источника рентгеновского излучения с напряжением на трубке более 1 МВ,
- предварительный фильтр из меди толщиной 2 мм или из стали толщиной 4 мм для Se 75, Ir 192; из меди толщиной 4 мм или из стали толщиной 8 мм для Co 60 или рентгеновского источника с напряжением на трубке более 1 МВ.

IQI двухпроволочного типа должен располагаться непосредственно на поверхности детектора или кассеты. Расстояние от источника излучения до детектора должно быть ≥ 100 см. На радиографическом снимке с изображением этого IQI среднее значение градации серого в цифровом изображении должно быть больше 50 % от максимального значения градации серого, значение SNR должно превышать 100 – для стандартных систем с размером пикселя от 80 мкм включ., или 70 – для систем с высоким разрешением с размером пикселя менее 80 мкм. Базовое пространственное разрешение применяемой цифровой системы, измеренное на проверочном радиографическом снимке, а также настройки системы, должны быть записаны в протоколе контроля.

Базовое пространственное разрешение детектора для CR-систем должно быть измерено в перпендикулярном и параллельном направлениях по отношению к направлению сканирования лазерного луча. Наибольшее из двух значений SR_b^{detector} должно быть использовано как результирующее базовое разрешение детектора (SR_b^{detector}).

ГОСТ ISO 17636-2–20
(Проект. Окончательная редакция)

Подробно об измерении значения SR_b с использованием функции профиля см.
в ISO 19232-5 и ASTM E2002.

Приложение D

(обязательное)

Определение минимальных значений градации серого при применении CR

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

Процедура измерения отношения сигнал-шум подробно описана в ISO 16371-1:2011 (подпункт 6.1). Измеренное отношение сигнала к шуму, $SNR_{measured}$, обычно определяется для области размером 20 x 55 пикселей (области интереса) как отношение линеаризованного среднего значения градации серого к его стандартному отклонению, как описано в ISO 16371-1:2011 (подпункт 6.1.1). Линеаризованное значение градации серого прямо пропорционально дозе излучения в измеряемой области интереса (ROI) и равно нулю для неэкспонированных областей. Этот подход должен быть выбран для измерения SNR_N .

Ширину области измерения SNR рекомендуется ограничить 20 пикселями. Длина должна быть более или равна 55 пикселям. При большей длине повышается точность измерения SNR. Особенно это важно, если с помощью программного обеспечения определяется медиана значений SNR по линиям, как описано в ISO 16371-1.

При одинаковых экспозициях нерезкие цифровые системы достигают измеренных значений SNR, которые выше, чем у резких систем, но имеют более низкую эффективность обнаружения мелких дефектов. Поэтому измеренное SNR приводится к базовому пространственному разрешению. Системы с одинаковым нормализованным SNR имеют одинаковую способность визуализации мелких деталей.

Нормализация основывается на значении базового пространственного разрешения CR-системы ($SR_b^{detector}$), предоставленном изготовителем или определенном пользователем по процедуре, описанной в приложении C.

Все значения SNR_N определяются по формуле (D.1):

$$SNR_N = SNR \cdot \frac{c}{SR_b^{detector}} \quad (D.1)$$

где

c константа (0,088 6 мм)

SR_b^{detector} это базовое пространственное разрешение детектора, в мм.

Если значение базового пространственного разрешения введено в инструмент программного обеспечения и для измерения выделена RoI, значение SNR_N обычно определяется программным обеспечением изготовителя системы.

Если были изменены любые параметры сканера, такие как размер пикселя, скорость сканирования и (или) тип запоминаящей пластины, требуется новая квалификация CR-системы путем измерения базового пространственного разрешения SR_b^{detector} .

В таблице D.1 приведены значения SNR_N и преобразование в ненормализованные значения SNR для CR-систем с разными параметрами SR_b (SR_b^{detector} или SR_b^{image}). Пользователь должен определить по таблице D.1 преобразованные значения SNR, применяемые вместо значений SNR_N , если программное обеспечение изготовителя не определяет значения SNR_N .

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

Параметр системы	Система с высоким разрешением				Стандартная система				
	D13+	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6
Показатель по IQI двухпроволочного типа									
Базовое пространственное разрешение SR_b	40 мкм	50 мкм	63 мкм	80 мкм	100 мкм	130 мкм	160 мкм	200 мкм	250 мкм
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
Примечание: в зависимости от требований показателем SR_b может быть SR_b^{image} или SR_b^{detector} .									

D.2 Определение минимальных значений градаций серого

Так как для измерения SNR_N требуется зона цифрового изображения с однородным распределением градации серого, то при проведении CR-контроля объектов неравномерной толщины, должно быть более предпочтительно указание минимальных значений градации серого вместо минимальных значений SNR_N . Это должно упростить использование различного программного обеспечения обработки изображений.

Для измерения корректных значений SNR_N и эквивалентных значений градации серого исходным условием являются линеаризованные уровни серого. Это означает, что значения градаций серого должны быть прямо пропорциональны (без смещения)

дозе излучения в данном месте сканированной запоминающей пластины. Это, как правило, поддерживается программным обеспечением изготовителя.

Зависимость SNR_N изображения от среднего значения градации серого должна быть использована в CR-технологии, если не произведена обработка изображения (например изменения контраста, инверсия и т.д.) и CR-система обеспечивает линеаризованные значения градаций серого. Взаимосвязь между градациями серого и SNR_N должна быть использована только для конкретной комбинации типа сканера, параметров сканирования, типа и марки запоминающих пластин. При изменения настроек сканера, таких как размер пикселя, скорость сканирования, напряжение фотоумножителя или усиление требуется новое определение минимального значения градации серого, эквивалентного требуемому SNR_N .

П р и м е ч а н и е – Для CR взаимосвязь между SNR_N и средним значением градации серого не зависит от настроек напряжения и силы тока для рентгеновской трубки с напряжением от 50 кВ до нескольких мегавольт, а также от гамма-источников. Это не применимо к DDA-системам. Данные квалификации минимальных значений градации серого, эквивалентных минимальным значениям SNR_N , могут быть использованы при любых условиях экспозиции, указанных в приложении С.

Для определения минимального значения градации серого, эквивалентного минимальному значению SNR_N по таблицам 3 или 4, должна быть применена последовательность действий, описанная в перечислениях а) – d):

а) Выполнить экспонирование ступенчатого клина, как показано на рисунке D.1. Рекомендуется использовать ступенчатый клин со ступенями большой площади для предотвращения эффектов затенения. Рекомендуется, чтобы ступенчатый клин полностью перекрывал цифровое изображение детектора.

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

в) Построить график зависимости измеренного SNR_N (SNR) от среднего значения градаций серого (см. рисунок D.3).

г) Определить эквивалентное минимальное значение градации серого для минимального требуемого SNR_N для спецификации в соответствии с таблицами 3 или 4. В таблице D.2 приведен пример.

В качестве альтернативы вышеописанной процедуре, запоминающая пластина (IP) должна быть экспонирована последовательно разными экспозициями (в мА·мин рентгеновскими источниками или в ГБк·мин источниками гамма-излучения).

Экспозиции рекомендуется выполнять при тех же условиях, как описано в приложении С.

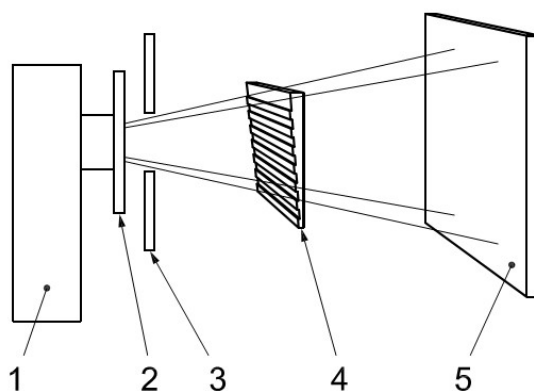
При получении радиографических снимков изделий могут применяться дополнительные экраны или пластины из стали или алюминия и должны устанавливаться перед кассетой или конвертом для запоминаящей пластины. Минимальные значения градации серого GV_{min} должны быть определены по цифровым радиографическим снимкам, как эквиваленты достигнутых и требуемых SNR_N или SNR (см. рисунок D.3), как показано в таблице D.1.

Нет необходимости измерять значения SNR или SNR_N на радиографических снимках изделий, если при контроле на радиографическом снимке продукции везде достигается указанное минимальное значение градации серого GV_{min} .

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

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

Окончательную спецификацию минимальных значений градации серого рекомендуется представить в виде таблицы, как показано на примере таблицы D.2.



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

Рисунок D.1 – Схема для определения эквивалентных значений градаций серого CR-системы для требуемых минимальных значений SNR_N (по таблицам 3 или 4)

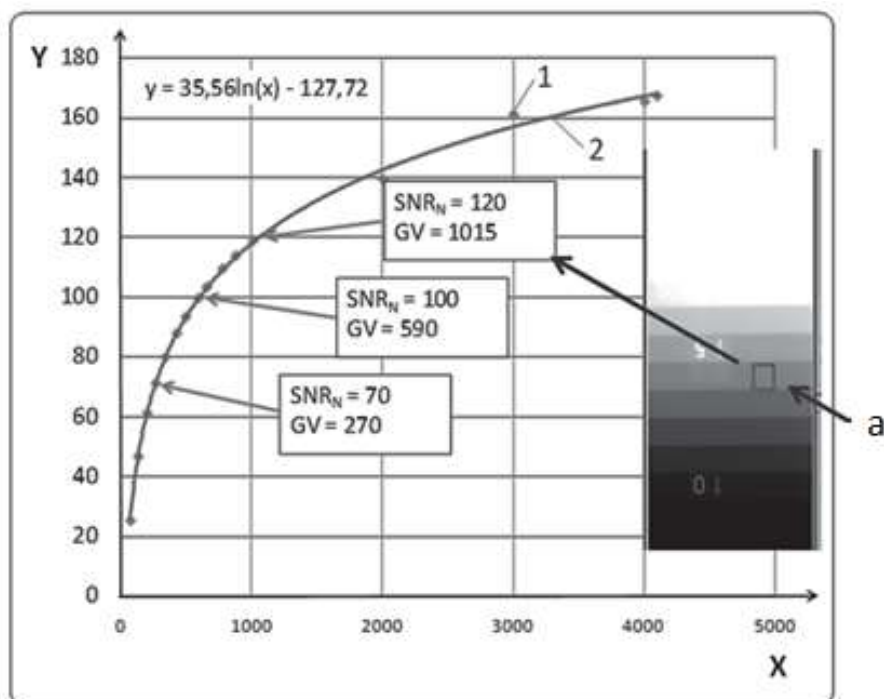


Параметр	Значение
Среднее значение серого (сигнал)	1015
Стандартное отклонение (шум)	5,8
SNR	176
$SNR = (SNR \cdot c / SR_b^{image})$, где $c = 0,0886$ мм	120
SR_b^{image}	0,13 мм

Рисунок D.2 – Результаты измерения среднего значения градаций серого и SNR_N на ступени изображения ступенчатого клина

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

Требуемое SNR_N	Соответствующие минимальные уровни серого при настройке усиления 1	Соответствующие минимальные уровни серого при настройке усиления 2
150	2400	4800
120	1 015	2 030
100	590	1 180
70	270	540



X – значение градации серого GV, Y – нормализованное SNR_N

1 – измеренное значение на ступенчатом клине, 2 – кривая, аппроксимирующая результаты измерений на ступенчатом клине

а Значения, измеренные в маркированной зоне контроля:

значение серого (среднее)	1015
стандартное отклонение	5,8
SNR (ненормализованное)	176
SR_{bl}^{mage} в мм	0,13
SNR_N	120

Примечание 1 – Значения градаций серого могут быть указаны как эквивалентные значения различным $SRNN$ для применяемого CR-сканера, параметров сканирования (например настройка усиления 1) и типа IP.

Примечание 2 – Значения серого запоминающих пластин подвержены постепенному ухудшению начальных свойств. Это зависит от марки IP. Сигнал PSL в пластинах должна ухудшаться на 50% за часы или дни. Поэтому корреляция между $SNRN$ и значением серого действительна только в течение выбранного интервала времени между экспозициями и считыванием.

Рисунок D.3 – График зависимости $SRNN$ от средних значений градаций серого по измерениям в соответствии с рисунком D.2

Рекомендуется, чтобы считывание с IP проводилось через 15 минут после экспозиции для графика среднего значения серого и значения SNR_N .

Некоторые системы сканирования могут давать заниженные значения SNR_N при очень больших значениях градации серого и низком усилении. Если это имеет место, то должны быть указаны максимальные уровни градации серого, которые не должны превышать.

Приложение Е

(справочное)

Значения градации серого. Общие замечания

Е.1 Введение

В компьютерной радиографии значения градации серого могут использоваться для передачи зрительного восприятия (выявляемости) как функции контраста и шума изображения (SNR или значение градации серого используется вместо оптической плотности и класса пленочной системы в пленочной радиографии); поэтому линейаризованные исходные значения градации серого используются для измерения количества излучения, прошедшего через определенную область изделия. При этом для 12-битной CR-системы, значение градации серого «0» соответствует дозе излучения «0» (белое на негативном изображении радиографической пленки), а значение градации серого «4095» соответствует насыщенному детектору (черное на негативном изображении радиографической пленки).

Измерения значений градаций серого и SNR_N должны выполняться с использованием соответствующих инструментов программного обеспечения, которые определяют усредненное значение градаций серого (среднее значение) в пределах RoI и/или SNR_N , которое является отношением усредненного значения градаций серого к стандартному отклонению значений градаций серого в пределах RoI. Для количественных измерений минимальная область изображения RoI должна содержать 1 100 пикселей (т.е. 20 x 55 пикселей, см. ISO 16371-1).

П р и м е ч а н и е – Измеренные значения градаций серого запоминающих пластин прямо пропорциональны экспозиционной дозе для заданного качества (типа, параметров) излучения. Коэффициент пропорциональности между дозой и значением градации серого определяется внутренними (электронными) настройками усиления сканера, свойствами фотоумножителя, а также свойствами аналого-цифрового преобразователя (например, количеством бит). При любых изменениях этих параметров требуется новое определение минимальных значений градаций серого, как показано в приложении D.

Некоторые системы выдают значения градаций серого в логарифмической зависимости или в виде квадратного корня или нормированных величин с неизвестным нулевым значением. Эти значения должны быть линейаризованы и связаны с действительным нулевым значением (соответствующим нулевой экспозиционной дозе), в противном случае значения градации серого не могут трактоваться как эквивалент оптической плотности пленок и не могут быть

использованы для измерений SNR или CNR. Значения градаций серого и SNR_N должны быть определены до любой цифровой фильтрации цифрового радиографического снимка.

Е.2 Контроль шумов

При экспозиции в неоптимальных условиях, изображения при компьютерной радиографии становятся «зашумленными». Чрезмерный шум изображения при CR (низкие SNR_N или CNR) должен стать существенным препятствием для достижения требований к качеству изображения.

Неоптимальные условия, которые следует избегать, включают перечисления а) – f):

а) Низкие экспозиционные дозы от рентгеновского или гамма-источника приводят к малым CNR. CNR возрастает нелинейно с увеличением экспозиции (мА·с или ГБк·мин) до максимального достижимого значения из-за структурного шума (шума с фиксированной текстурой) применяемых детекторов.

б) Запоминающие пластины (IP) генерируют шумы изображения из-за внутренней структуры кристаллов, чувствительной к излучению, и шероховатости поверхности. Для высококачественной радиографии рекомендуется выбирать запоминающие пластины (IP) с низким структурным шумом (мелкозернистого типа). Изготовителю рекомендуется представить информацию о максимальном достигаемом SNR_N систем сканер-IP.

в) Матричные цифровые детекторы (DDA) генерируют шум вследствие различных свойств детекторных элементов. Они могут быть выровнены с помощью процедуры настройки. Современные методы настройки позволяют достичь очень высокие значения SNR. Термические и другие эффекты, а также ограниченное время экспозиции при получении настроенных изображений, ограничивают эффективность настройки, и небольшой остаточный шум с фиксированной текстурой сохраняется.

г) Шумы генерируются некоторыми материалами, такими как высоконикелевые сплавы или материалы с шероховатой поверхностью. Шум может затруднить выявляемость мелких дефектов и даже уменьшить показание IQI.

д) Обратное-рассеянное излучение вносит существенный вклад в значения градации серого в изображениях и в шум. Поскольку обычно это не способствует контрасту радиографического изображения (CNR), выявляемость IQI снижается.

е) При слишком высокой энергии излучения получается низкий контраст при постоянном уровне шума (для того же значения градации серого). Из-за этого

уменьшается CNR и, следовательно, выявляемость IQI. Это может быть скомпенсировано увеличением требуемого значения градации серого или уменьшением напряжения на рентгеновской трубке, как при пленочной радиографии (CP I).

Приложение F

(справочное)

Анализ нерезкости детектора для значения f_{\min}

Собственная нерезкость ($u_d = 2 SR_b^{\text{detector}}$) системы с цифровым детектором и геометрическая нерезкость (u_G) вносят вклад в общую нерезкость (u_T) изображения, если она не скорректирована с помощью геометрического увеличения, как показано в формуле (F.1):

$$u_T = \sqrt{u_G^2 + u_d^2} \quad (\text{F.1})$$

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

При применении цифровых детекторов имеющих собственную нерезкость больше, чем у рентгеновских пленок, следует рассматривать полную нерезкость вместо только геометрической нерезкости, как описано в ISO 17636-1. В данном документе это обычно относится к значению $v < 1,2$. Если значение $v \geq 1,2$, то необходимо использовать формулу (13).

При условии, что объект контроля находится в контакте с детектором (не распространяется на способ геометрического увеличения), цифровые детекторы выбирают так, чтобы базовое пространственное разрешение детектора (SR_b^{detector}) было меньше значений, определяемых по формулам (F.2) и (F.3), а также по таблице F.1 в зависимости от расстояния b от объекта контроля до детектора.

Для класса контроля А:

$$SR_b^{\text{detector}} < \frac{\sqrt[3]{b}}{15} \quad (\text{F.2})$$

Для класса контроля В:

$$SR_b^{\text{detector}} < \frac{\sqrt[3]{b}}{30} \quad (\text{F.3})$$

Таблица F.1. Минимальные значения b (b_{\min}) в зависимости от значений SR_b^{detector} для классов контроля А и В без учёта СР II

Класс контроля А		Класс контроля В	
SR_b^{detector} мм	b_{\min}^a мм	SR_b^{detector} мм	b_{\min}^a мм
0,025	0,025	0,025	0,025
0,05	0,05	0,05	0,05
0,025	0,025	0,025	0,025
0,4	0,4	0,4	0,4
0,05	0,05	0,05	0,05
0,4	0,4	0,4	0,4
0,05	0,05	0,05	0,05
3,4	3,4	3,4	3,4

^a Значения b не должны быть меньше, чем b_{\min} из Таблицы F.1 в практической схеме контроля в зависимости от базового пространственного разрешения с учетом формул (F.2) и (F.3)

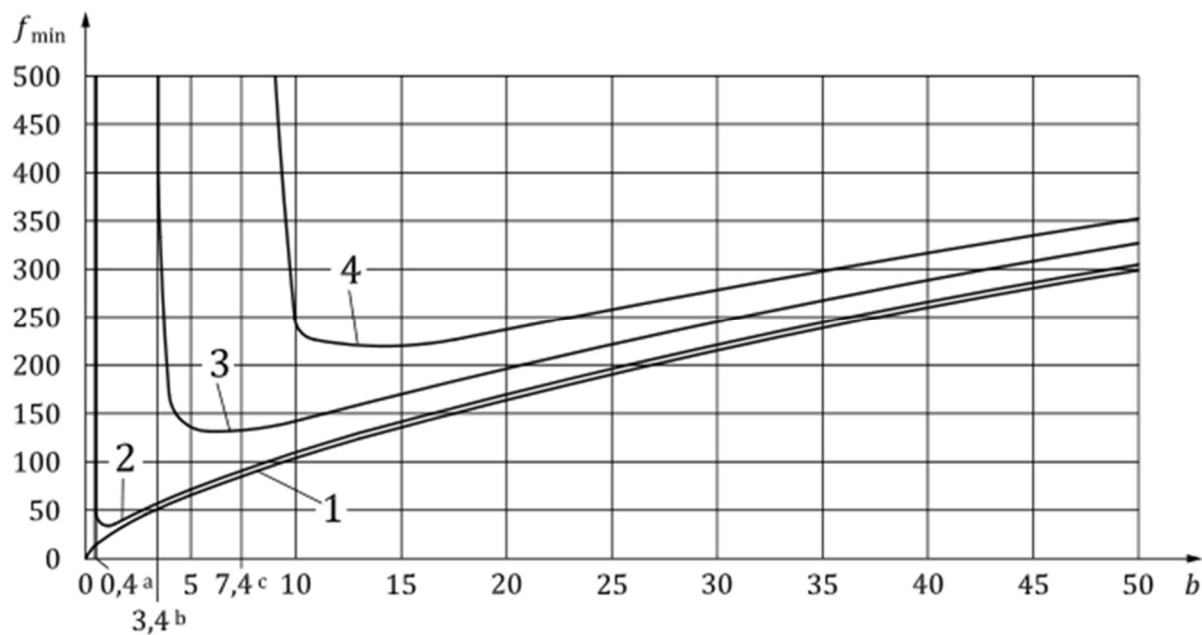
Если должна быть достигнута нерезкость, сравнимая с получаемой при пленочной радиографии (ISO 17636-1), то расстояние f_{\min} рекомендуется увеличить по сравнению со значениями, полученными по формулам (1) или (2) (и по рисунку 21), с помощью формул (F.4) и (F.5), если соблюдены условия формул (F.2) или (F.3) (без увеличения).

Для класса контроля А:

$$f_{\min} = d \sqrt{\frac{b^2}{(b^{2/3} / 7,5^2) - (2 SR_b^{\text{detector}})^2}} \quad (\text{F.4})$$

$$f_{\min} = d \sqrt{\frac{b^2}{(b^{2/3} / 15^2) - (2 SR_b^{\text{detector}})^2}} \quad (\text{F.5})$$

На рисунках F.1 и F.2 показаны примеры по требуемому увеличению значений f_{\min} в зависимости от нерезкости детектора и расстояния b от объекта до детектора для класса контроля А и класса контроля В, с целью добиться равных значений нерезкости, как требуется для пленочной радиографии по ISO 17636-1.



f_{\min} минимальное расстояние от источника до объекта контроля, мм

b расстояние от объекта контроля до детектора, мм

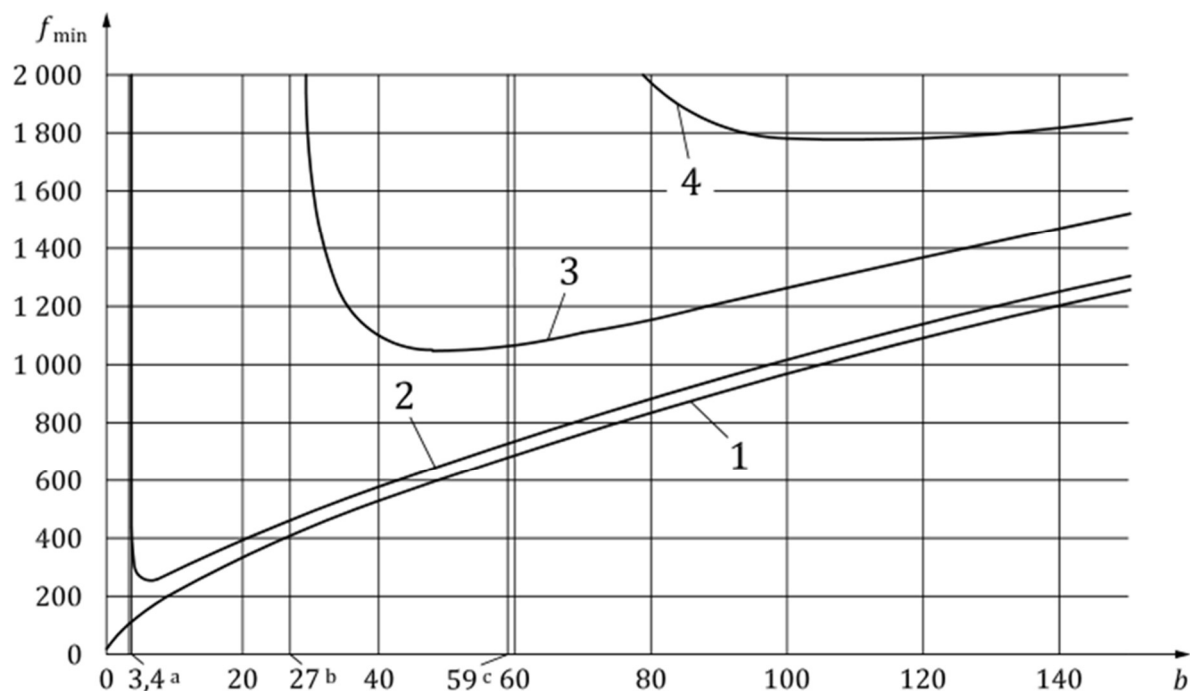
- 1 пленка с показателем $SR_b^{\text{detector}} < 10$ мкм
- 2 детектор с показателем $SR_b^{\text{detector}} = 50$ мкм
- 3 детектор с показателем $SR_b^{\text{detector}} = 100$ мкм
- 4 детектор с показателем $SR_b^{\text{detector}} = 130$ мкм

a $b_{\min} = 0,4$ мм

b $b_{\min} = 3,4$ мм

c $b_{\min} = 7,4$ мм.

Рисунок F.1. График зависимости значений f_{\min} от значений b для пленок и детекторов с разными показателями нерезкости u_d для класса контроля А



f_{\min} минимальное расстояние от источника до объекта контроля, мм

b расстояние от объекта контроля до детектора, мм

- 1 пленка с показателем $SR_b^{\text{detector}} < 10$ мкм
- 2 детектор с показателем $SR_b^{\text{detector}} = 50$ мкм
- 3 детектор с показателем $SR_b^{\text{detector}} = 100$ мкм
- 4 детектор с показателем $SR_b^{\text{detector}} = 130$ мкм

a $b_{\min} = 3,4$ мм

b $b_{\min} = 27$ мм

c $b_{\min} = 59$ мм.

Рисунок F.2. График зависимости значений f_{\min} от значений b для пленок и детекторов с разными показателями нерезкости u_d для класса контроля В

Приложение G

(справочное)

Выбор рекомендованного напряжения на рентгеновской трубке по рис. 20

Как показано на рис. 20, напряжение на рентгеновской трубке выбирается по-разному, для значений w в диапазоне от 0 до 10 мм и в диапазоне $w > 10$ мм (см. таблицу G.1). Требования к увеличенному напряжению на рентгеновской трубке были внесены в 70-е годы с учетом разницы в толщинах между основным материалом и сварным швом в диапазоне $w < 10$ мм. Это позволяет проводить радиографический контроль сварного шва и основного материала одной плёнкой без требования по использованию многоплёночного способа.

Таблица G.1 — Аппроксимирующие формулы для выбора рекомендованного напряжения на трубке в соответствии с рисунком 20

	Максимальное напряжение соответствующее просвечиваемой толщине, w кВ	
	$w \leq 10$ мм	$w > 10$ мм
Медь, никель и их сплавы	$U = 120 + 9w$	$U = 48 \cdot w^{0,65}$
Сталь ^a	$U = 100 + 7,5w$	$U = 40 \cdot w^{0,64}$
Титан и его сплавы	$U = 70 + 4w$	$U = 35 \cdot w^{0,50}$
Алюминий и его сплавы	$U = 40 + 2,5w$	$U = 24 \cdot w^{0,43}$

^a При применении стали специалисты могут использовать менее точную аппроксимацию до толщины 45 мм: $U_{\text{сталь}} \approx 100 + 8w$.

Приложение ДА
(справочное)

**Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов
межгосударственным стандартам**

Т а б л и ц а ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 5576	-	*
ISO 9712	-	*
ISO 16371-1:2011	-	*
ISO 19232-1	-	*, 1)
ISO 19232-2	-	*, 2)
ISO 19232-4	-	*
ISO 19232-5	-	*
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.		

1) В Российской Федерации действует ГОСТ Р ИСО 19232-1–2024 «Контроль неразрушающий. Качество изображений на радиографических снимках. Часть 1. Определение значения показателя качества изображения с использованием индикаторов качества изображения проволоочного типа».

2) В Российской Федерации действует ГОСТ Р ИСО 19232-2–2024 «Контроль неразрушающий. Качество изображений на радиографических снимках. Часть 2. Определение значения показателя качества изображения с использованием индикаторов качества изображения типа ступень/отверстие».

Библиография

- [1] ISO 5579 Контроль неразрушающий. Радиографический контроль металлических материалов с помощью пленок и рентгеновских или гамма-лучей. Основные правила
- [2] ISO 5580 Контроль неразрушающий. Негатоскопы для промышленной радиографии. Минимальные требования)
- [3] ISO 10675 Неразрушающий контроль сварных соединений. Уровни приемки для радиографического контроля (все части)
- [4] ISO 16371-2 Неразрушающий контроль. Промышленная компьютерная радиография с фосфорными пластинами для хранения изображения. Часть 2. Общие принципы контроля металлических материалов с помощью рентгеновских или гамма-лучей
- [5] ISO 17636-1 Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 1. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением пленки
- [6] ISO 19232-3 Неразрушающий контроль. Качество изображения на радиографических снимках. Часть 3. Классы качества изображения
- [7] ISO/TS 25107:2019 Контроль неразрушающий. Программы подготовки по неразрушающему контролю
- [8] EN 12681 Литье. Радиографический контроль (все части)
- [9] EN 14784-2 Контроль неразрушающий. Промышленная компьютерная радиография с помощью фосфорных плат ЗУ. Часть 2. Основные принципы испытания металлических материалов, используя рентгеновские и гамма лучи
- [10] EN 25580 (Контроль неразрушающий – Негатоскопы для промышленной радиографии – Минимальные требования)* (ISO 5580:1985)
- [11] ASTM E1000 Стандартное руководство по рентгеновской дефектоскопии
- [12] ASTM E2002 Общепринятая методика для определения полной нерезкости изображения и базового пространственного разрешения в радиографии и рентгеноскопии

- [13] ASTM E2445 Общепринятая методика по квалификации и долгосрочной стабильности компьютерных радиологических систем
- [14] ASTM E2446 Общепринятая методика по классификации систем компьютерной радиологии
- [15] ASTM E2597 Общепринятая методика по характеристикам производства цифровых детекторных решеток
- [16] ASTM E2698 Общепринятая методика по радиологическому контролю с использованием цифровых детекторных решеток
- [17] ASTM E2736 Стандартное руководство по радиологии с использованием цифровых детекторных решеток
- [18] ASTM E2737 Общепринятая методика по оценке и долгосрочной стабильности рабочих характеристик цифровой детекторной решетки

УДК 621.774.08:620.179:006.354

ОКС 23.040.10

77.040.20

77.140.75

Ключевые слова: трубы стальные, неразрушающий контроль, радиографический метод

Руководитель организации разработчика

Негосударственное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Научно-учебный центр «Контроль и диагностика» («НУЦ «Контроль и диагностика»)

Директор НУЦ «Контроль
и диагностика»
должность

личная подпись

Н.Н. Волкова
инициалы, фамилия

Руководитель разработки
Заместитель директора по
экспертизе и инспекции
НУЦ «Контроль и диагностика»
должность

личная подпись

В.В. Луненок
инициалы, фамилия