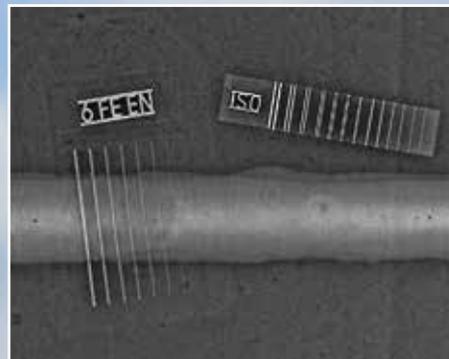


ПРИШЛО ВРЕМЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОГРАФИИ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ!



НАДЕЖНЕЕ

Мы сделали цифровую радиографию всепогодной и надежной. Холод, жара, снег или дождь — наши приборы работают в любых условиях.



БЫСТРЕЕ

Мы сократили в разы время контроля кольцевых сварных соединений труб большого диаметра через 2 стенки по сравнению с пленочной радиографией.



КАЧЕСТВЕННЕЕ

В России принят государственный стандарт на радиографический контроль сварных соединений с применением цифровых детекторов ГОСТ ИСО 17636-2.



ДЕШЕВЛЕ

Стоимость радиографического контроля с применением цифровых детекторов существенно ниже по сравнению с пленочной радиографией.

И, самое главное, Комплекс цифровой радиографии ТРАНСKAN

**РАЗРАБОТАН
И ИЗГОТОВЛЕН
В РОССИИ!**

**УБЕДИТЕЛЬНО.
ПРИБРЕСТИ!**



**Цифровая
радиография**

ООО «Цифра»

194044, Санкт-Петербург, ул. Чугунная, 20
т. +7 (812) 329-3805 info@dr-cr.ru

ООО «Центр Цифра»

115093, г. Москва, ул. Щипок, д. 18, стр. 1
т. +7 (499) 653-8409 moscow@digital-xray.ru



Параметры качества радиографических изображений сварных соединений по новым стандартам ГОСТ ISO 17636-1,2-2017

Выполнено сравнение основных параметров качества плёночных снимков по новому стандарту ГОСТ ISO 17636-1-2017 и действующему ГОСТ 7512-82. Рассмотрены отличия параметров качества цифровых изображений по новому стандарту ГОСТ ISO 17636-2-2017 от соответствующих параметров в плёночной радиографии.

V. Ya. Velichko¹

Submitted 07.08.18
Accepted 20.08.18

Radiographic Image Quality Parameters for Welded Joints According to New Standards GOST ISO 17636-1,2-2017

The main radiographic image quality parameters (optical density, geometric unsharpness, contrast sensitivity and change of penetrated thickness within an image) according to the coming into effect GOST ISO 17636-1-2017 and the existing GOST 7512-82 film radiography standards for welded joints are compared. The outdated, missing and overcomplicated requirements and regulations of the latter are revealed and discussed. Its total revision or withdrawal is proposed. The essential differences of digital image quality parameters according to the coming into effect GOST ISO 17636-2-2017 standard and the relevant parameters in film radiography are described and analyzed.

Keywords: film radiography, digital radiography, computed radiography, welded joints, optical density, geometric unsharpness, contrast sensitivity, normalized SNR, total unsharpness, penetrated thickness

ВЕЛИЧКО
Владимир Яковлевич
Директор по стандартизации ООО «Цифра», Санкт-Петербург.
Ст. научн. сотр., к. ф.-м. н., II уровень по цифровой радиографии



С 1 ноября 2018 г. вступают в силу новые межгосударственные стандарты ГОСТ ISO 17636-1-2017 [1] и ГОСТ ISO 17636-2-2017 [2] соответственно по плёночной и цифровой радиографии сварных соединений в металлических трубах и плоском прокате, идентичные стандартам ISO 17636–1,2–2013 [3, 4], предшественниками которых были стандарты по плёночному радиографическому контролю (РК) сварных соединений EN 1435–1997 [5] и ISO 17636–2003 [6]. Ранее вступившие в силу стандарты ГОСТ Р ИСО 10893-6-2016 [7] и ГОСТ Р ИСО 10893-7-2016 [8] относятся только к плёночной и цифровой рентгенографии продольных и спиральных сварных швов в стальных трубах.

В корпоративной нормативной документации российских предприятий (например, Газпрома, Транснефти и др.) по РК, как правило, имеются ссылки на требования ГОСТ 7512–82 [9], действующего стандарта РФ по плёночной радиографии сварных соединений, которому до последнего времени не было альтернативы, поэтому сопоставление требований [1, 2] и [9] становится достаточно актуальным.

РК сварных соединений включает две основных стадии: получение радио-

графического изображения объекта контроля (ОК) требуемого качества и расшифровку этого изображения с оформлением протокола контроля. Именно первая стадия фактически регламентируется в [1, 2] и [9], а уровни приёмки для любых индикаций, обнаруженных на радиограммах, в них не установлены.

1. Плёночная радиография

В современной плёночной радиографии основными количественными параметрами качества радиографического изображения ОК, определяющими возможность отнесения снимка к тому или иному классу качества (в частности, по [1]), являются минимальная оптическая плотность снимка, максимальная геометрическая нерезкость изображения (или минимальное расстояние от источника излучения ИИ до ОК), достигнутая контрастная чувствительность (по индикатору качества изображения ИКИ) и разность просвечиваемых (радиационных) толщин ОК на краях и в центре зоны контроля.

Для облегчения достижения необходимых минимальных значений этих параметров (т.е. заданных нормативными

¹ Digital Ltd, St. Petersburg, Russia; vladimir.velichko@dr-cr.ru

документами на РК) стандартами могут дополнительно регулироваться выбор источника излучения, включая его вид, размеры и энергию излучения, выбор плёночной системы, типы и расположение используемых ИКИ на ОК, минимальное количество экспозиций (снимков) для обеспечения приемлемого объёма и качества контроля стыковых сварных швов, использование усиливающих и защитных экранов.

Понятие класса контроля (А — стандартный контроль и В — улучшенный контроль), незаметно перешедшее в [1–4, 7, 8] в понятие класса качества изображения, перенесено в действующие стандарты ISO по радиографии сварных соединений из [5, 6, 10, 11]. В [9] понятие класса контроля (или качества изображения) отсутствует, хотя и имеется понятие класса чувствительности контроля. В [12] (Приложение 3) сделана попытка поставить в соответствие классы качества изображений классам чувствительности контроля по [9] (см. табл. 2 ниже), однако она не вполне корректна из-за существенного различия соответствующих значений чувствительности контроля (табл. 5).

1.1. Оптическая плотность радиографического снимка

Требования по минимальной оптической плотности снимка для классов качества изображения А и В по [1] представлены в табл. 1.

Табл. 1. Оптическая плотность радиограмм по [1] (табл. 5 в [1])

Класс	Оптическая плотность*
А	≥ 2,0**
В	≥ 2,3***

Примечания к таблице:

* Допускаются отклонения измерения на ± 0,1.

** Значение может быть уменьшено до 1,5 по согласованию между изготовителем и заказчиком.

*** Значение может быть уменьшено до 2,0 по согласованию между изготовителем и заказчиком.

Табл. 2. Классы радиографического изображения [12]

Наименование показателя	Класс радиографического изображения		
	А	В	С
Оптическая плотность изображения контролируемого участка, Б, не менее	2,0	2,3	1,5
Класс чувствительности радиографического контроля	2	1	3

Максимальные значения оптической плотности снимка по [1] зависят от используемого негатоскопа и его максимальной яркости.

При определенных условиях (см. п.5 [1]) между изготовителем и заказчиком может быть согласовано увеличение минимальной плотности до 3,0 или выбор плёночной системы более высокого класса с минимальной оптической плотностью 2,6.

При использовании многоплёночного способа с расшивкой отдельных плёнок, оптическая плотность каждой плёнки по [1] должна соответствовать табл. 1 (или табл. 5 в [1]). Если требуется использовать при просмотре двойную плёнку, оптическая плотность каждой плёнки должна быть не ниже, чем 1,3.

По п. 6.2 [9] «оптическая плотность изображений контролируемого участка шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5» независимо от заданного класса чувствительности РК. Кроме того, «уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности не должно превышать 1,0».

Максимальная оптическая плотность снимка по [9] определяется максимальной яркостью освещённого поля негатоскопа (п. 6.1).

В методических рекомендациях [12] в Приложении 3 предложены альтернативные нормы по минимальной оптической плотности снимка, аналогичные требованиям [1] для классов А и В, табл. 2.

Таким образом, из приведённых данных следует, что нормы [1] по минимальной оптической плотности радиографического снимка более жёсткие, чем в [9], и в [1] отсутствуют ограничения на вариации оптических плотностей по снимку.

1.2. Геометрическая нерезкость изображения

Так как радиографическая плёнка как детектор излучения имеет незначительную собственную (внутреннюю) нерезкость по сравнению с геометрической нерезкостью, определяющей конечными размерами фокусного пятна рентгеновского (или размерах изотопного) ИИ и фактическими геометрическими параметрами схемы просвечивания, то в плёночной радиографии принимается во внимание только геометрическая нерезкость.

Геометрическая нерезкость изображения U_g , мм, определяется по формуле:

$$U_g = db/f; \tag{1}$$

где d — размер фокусного пятна рентгеновского или изотопного ИИ, мм;

b — расстояние от поверхности ОК со стороны ИИ до плёнки, мм;

f — расстояние от ИИ до поверхности ОК со стороны ИИ, мм.

Так как U_g обратно пропорциональна f при заданных d и b , то требования по U_g могут быть легко переведены в нормы по f , если выбор f должен определяться только требованиями к геометрической нерезкости.

В [1] явные требования по U_g отсутствуют, а нормируется расстояние f , мм, которое должно соответствовать универсальным для всех схем просвечивания сварных швов и простым эмпирическим формулам:

$$f/d \geq 7,5b^{2/3} \tag{2}$$

для класса качества изображения А;

$$f/d \geq 15b^{2/3} \tag{3}$$

для класса качества изображения В.

Если $b < 1,2t$, где t — номинальная толщина ОК, то b в формулах (2) и (3) должно заменяться на t . Минимальные расстояния f могут быть также легко определены по номограмме в [1], построенной в соответствии с формулами (2) и (3). Совершенно естественно, что для более высокого класса качества изображения В формула (3) даёт большее расстояние f , чем (2) для класса А.

Расстояния f и b и толщина ОК t показаны, например, для различных схем просвечивания кольцевых стыковых сварных швов на рис. 1, как это определено в [1]. Подобная детализация схем просвечивания в [9] отсутствует, что затрудняет правильную интерпретацию норм [9] по геометрической нерезкости и расстояниям f .

С учетом формул (2) и (3) получаем из (1) для U_g :

$$U_g \leq b^{1/3}/7,5 \tag{4}$$

для класса качества изображения А;

$$U_g \leq b^{1/3}/15 \tag{5}$$

для класса качества изображения В.

Как видно из формул (4) и (5), неявно нормируемая в [1] максимальная геометрическая нерезкость зависит только от расстояния b от поверхности ОК со стороны ИИ до плёнки, которое в общем случае не обязательно должно быть равно толщине ОК t , то есть плёнка по [1] не обязательно должна вплотную прилегать к сварному соединению, хотя её и необходимо «помещать» максимально близко к объекту.

В соответствии с п. 5.1 в [9] «геометрическая нерезкость изображений

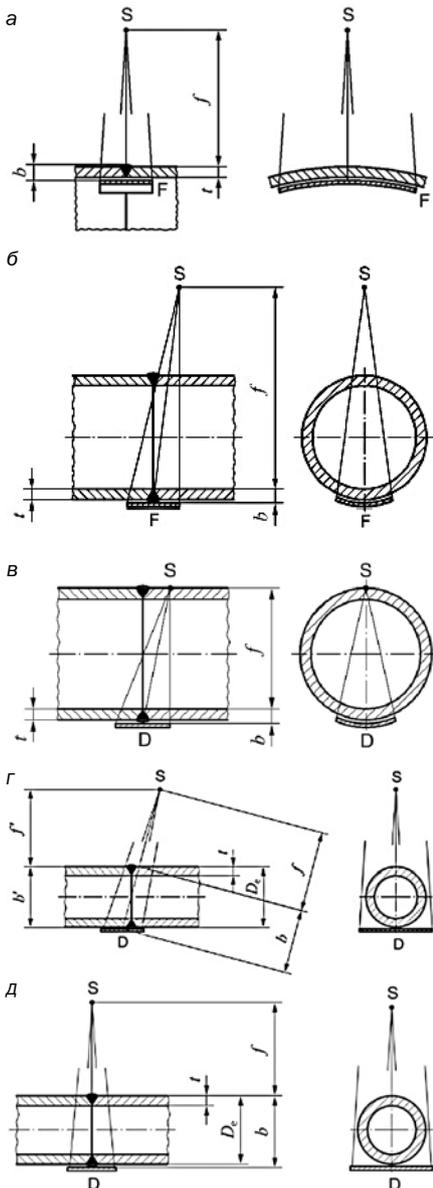


Рис. 1. Геометрические параметры различных схем просвечивания стыковых кольцевых сварных швов по [1]: а — через одну стенку (SWE-SWI); б — через две стенки (DWE-SWI, одно изображение); в — через две стенки (DWE-SWI, одно изображение); г — через две стенки (DWE-DWI, два изображения) «на эллипс»; д — через две стенки (DWE-DWI, два изображения)

дефектов на снимках при расположении плёнки вплотную к контролируемому сварному соединению не должна превышать половины требуемой чувствительности контроля при чувствительности до 2 мм и 1 мм — при чувствительности более 2 мм». Отметим, что данное условие и все нормы по минимальным расстояниям f в табл. 1 Приложения 4 [9] не допускают расположение плёнки на расстоянии от сварного соединения, так что для всех указанных в [9] схем просвечивания сварных соединений на чертежах 4–6, для

которых $b > t$, в рамках [9] не могут быть корректно рассчитаны минимальные расстояния f , в отличие от [1]. В связи с этим положение п. 4.9 в [9] о том, что «расстояние от контролируемого сварного соединения до радиографической плёнки должно... в любом случае не превышать 150 мм», а также допускаемое в п. 6.8 расстояние H между обращённой к плёнке поверхностью сварного соединения и плёнкой представляются неуместными.

Требования [1] и [9] по U_g для случая расположения плёнки вплотную к контролируемому сварному соединению (то есть $b \approx t$) показаны на рис. 2¹. Видно, что требования [9] по геометрической нерезкости для класса чувствительности 1 превосходят соответствующие нормы обоих классов А и В [1] лишь для толщин ОК менее 20 мм, а при больших толщинах уступают нормам класса В [1]. Для класса чувствительности 2 требования [9] по геометрической нерезкости более жёсткие, чем для класса качества А [1], при толщинах ОК до 70 мм.

Однако по п. 5.5 в [9] фактически допускается в 2 раза большая геометрическая нерезкость при панорамном просвечивании сварного шва всего лишь при отсутствии ИИ с достаточно малым размером фокусного пятна.

По п. 7.6 в [1] также допускается уменьшение минимального расстояния f от ИИ до ОК (то есть, увеличение максимальной геометрической нерезкости) при расположении ИИ внутри ОК до 20–50% (и даже более при согласовании между исполнителем и заказчиком работ) при условии соблюдения требований по чувствительности РК.

Отметим, что минимальные расстояния f определяются в [9] (по несколько сложным формулам в табл. 1 Приложения 4 для разных схем просвечивания) не только требованиями к максимальной геометрической нерезкости изображения, но и другими факторами, указанными в п. 5.1 [9], в том числе, ограничением на вариации оптической плотности на снимке. Поэтому эти расстояния для отдельных схем просвечивания могут быть существенно больше, чем минимальные значения f , определённые по формулам (2) и (3) [1] или исходящие только из требований [9] по геометрической нерезкости, а фактическая геометрическая нерезкость меньше, чем показано на рис. 2. Так,

¹ В отличие от [9], в [1] в расчётах просвечиваемых толщин используются номинальные значения толщин ОК без учёта допусков и высот усиления сварного шва (прим. автора).

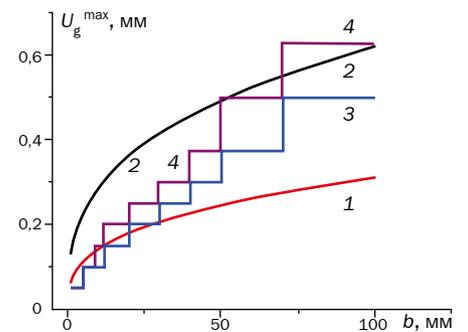


Рис. 2. Зависимость максимальной геометрической нерезкости радиографического изображения U_g от расстояния b , мм, от поверхности ОК со стороны ИИ до плёнки; здесь $b \approx t$, где t — номинальная (по [1]) или радиационная (по [9]) толщина ОК: 1 — класс В по [1], 2 — класс А по [1], 3 — класс чувствительности 1 по [9], 4 — класс чувствительности 2 по [9] (для схемы просвечивания DWE-DWI: $b \approx D_c$)

например, для схемы просвечивания труб через одну стенку по черт. 5а [9] минимальное значение f получается на 40% больше, чем для схемы 5б с другой кривизной ОК, но для одной и той же толщины стенки ОК. Кроме того, во избежание ошибок необходимо обратить внимание на то, что для схем просвечивания через две стенки по черт. 5г и 5д в [9] и рис. 2б в [12] расстояние f измеряется от ИИ до ближайшей к ИИ поверхности сварного соединения, в отличие от [1] (см. здесь рис. 1б, 1в).

В целом можно заключить, что нормы [1] и [9] по максимальной геометрической нерезкости изображения сравнимы, но минимальные расстояния f , определённые по [9], могут быть существенно больше, чем это получается по формулам (2) и (3) из [1]. Формулы для определения минимальных значений f в [9] излишне сложные, учитываемые в них факторы не поддаются проверке (за исключением схем просвечивания по черт. 4, 5в, 5е, 5ж, 5з, 6).

Альтернативные формулы для минимальных расстояний f и разных схем просвечивания сварных швов предложены в [12]. Однако уже то, что для схем просвечивания кольцевых сварных швов (см. рис. 2а,в в [12]) эти формулы для более высоких классов качества изображения вопреки здравому смыслу дают меньшие расстояния f (см. п. 7.5 в [12]), в отличие от [1], позволяет усомниться в корректности использованных расчётных моделей.

1.3. Контрастная чувствительность

Для измерения контрастной чувствительности изображения в [1] предусмотрено использование проволочных

или ступенчатых с отверстиями ИКИ по ISO 19232-1 [13] и ISO 19232-2 [14], соответственно, из которых только проволочные ИКИ по [13] могут быть сопоставимы с проволочными ИКИ по [9], хотя и не являются им идентичными. При измерениях чувствительности ИКИ (включая проволочный) должны располагаться предпочтительно со стороны ИИ рядом со сварным швом на основном металле в центре зоны контроля [1].

В [1] сформулированы требования по чувствительности РК для различных просвечиваемых толщин металлических ОК и классов качества изображения А и В, причем дифференцированно в зависимости от схем просвечивания и положения ИКИ на ОК. В табл. 3 в качестве примера приведены требования [1] по чувствительности контроля для схемы просвечивания через 1 стенку.

Табл. 3. Минимальные параметры чувствительности контроля по проволочным ИКИ для класса качества изображения А (просвечивание через одну стенку, проволочный ИКИ на ОК со стороны ИИ) [1]

Класс качества изображения А	
Номинальная толщина t , мм	Номер проволочки ИКИ (диаметр, мм)
до 1,2 включ.	W18 (0,063)
св. 1,2 до 2,0 включ.	W17 (0,08)
св. 2,0 до 3,5 включ.	W16 (0,10)
св. 3,5 до 5,0 включ.	W15 (0,125)
св. 5,0 до 7,0 включ.	W14 (0,16)
св. 7,0 до 10,0 включ.	W13 (0,20)
св. 10,0 до 15,0 включ.	W12 (0,25)
св. 15,0 до 25,0 включ.	W11 (0,32)
св. 25,0 до 32,0 включ.	W10 (0,40)
св. 32,0 до 40,0 включ.	W9 (0,50)
св. 40,0 до 55,0 включ.	W8 (0,63)
св. 55,0 до 85,0 включ.	W7 (0,80)
св. 85,0 до 150,0 включ.	W6 (1,00)
св. 150,0 до 250,0 включ.	W5 (1,25)
св. 250,0	W4 (1,60)

Несколько более высокие требования установлены в [1] для класса качества изображения В.

Для схем просвечивания через одну стенку с установкой ИКИ со стороны плёнки в [1] нет нормативов чувствительности, хотя такая ситуация бывает при расположении ИИ внутри трубы, а плёнки — снаружи, когда нет доступа внутрь трубы для установки ИКИ. Казалось бы, это является упущением данной редакции стандарта. Однако не исключено, что в п. 6.7 [1], где рассматривается возможность расположения ИКИ как со стороны ИИ, так и со стороны плёнки для экспозиций, выполняемых в соответствии с пп. 7.1.6

и 7.1.7 (схема просвечивания DWE-DWI, см. далее), допущена ошибка, и вместо пп. 7.1.6 и 7.1.7 должна быть ссылка на пп. 7.1.4 и 7.1.5. Если учесть эту возможность, то в п. 6.7 [1] предложена достаточно универсальная норма, связанная с получением контрольного снимка с изображениями двух ИКИ, расположенных на ОК со стороны ИИ и плёнки, который используется для обоснования значений чувствительности контроля при установке ИКИ со стороны плёнки.

Для экспозиций через две стенки с получением одного или двух изображений кольцевого сварного шва в [1] нормированы чувствительности контроля в зависимости от просвечиваемых толщин для обоих классов качества А и В как при установке ИКИ со стороны ИИ, так и со стороны плёнки (табл. В.5–В.12 Приложения В [1]). При этом регламентировано, что если ИКИ устанавливается со стороны плёнки (как и для схем просвечивания через одну стенку при необходимости), то рядом с ним следует поместить свинцовую литеру F, и это должно быть зафиксировано в протоколе контроля.

В стандартах EN и ISO по РК сварных соединений для схем просвечивания через две стенки минимальная чувствительность контроля всегда выбирается по двойной номинальной толщине стенки. Это следует, например, в [1] из того, что в табл. В.5–В.12 Приложения В чувствительность контроля нормируется для просвечиваемой толщины стенки, а не для номинальной толщины, как в табл. В.1–В.4 для схем просвечивания через одну стенку. Совершенно определённые формулировки имеются об этом требовании в [7] (п. 6.3) и [8] (п. 7.3). Иная норма имеется в стандартах ASTM (США), а именно, что «при использовании методов просвечивания через две стенки с двумя изображениями ИКИ должен выбираться, исходя из двойной толщины стенки ОК», а «при использовании методов просвечивания через две стенки с одним изображением ИКИ должен выбираться, исходя из толщины одиночной стенки ОК» [15] (п. 6.12).

В [9] имеются следующие требования, касающиеся чувствительности РК:

- «2.8. Для определения чувствительности контроля следует применять проволочные, канавочные или пластинчатые эталоны чувствительности»;
- «3.5. Эталоны чувствительности следует устанавливать на контролируемом участке со стороны, обращённой к источнику излучения»;

- «3.6. Проволочные эталоны следует устанавливать непосредственно на шов с направлением проволоки поперёк шва»;
- «3.10. При невозможности установки эталонов со стороны источника излучения при контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий через две стенки с расшифровкой только прилегающего к плёнке участка сварного соединения, а также при панорамном просвечивании допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты с плёнкой»;
- «6.3. Чувствительность контроля (наименьший диаметр выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона, наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона, наименьшая толщина пластинчатого эталона, при которой на снимке выявляется отверстие с диаметром, равным удвоенной толщине эталона), не должна превышать значений, приведённых в табл. 6» (здесь табл.4).

Табл. 4. Чувствительность РК, мм, в зависимости от радиационной толщины ОК по [9] (табл. 6 из [9])

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

Примечание. При использовании проволочных эталонов чувствительности значения 0,30; 0,60; 0,75 и 1,50 мм заменяются значениями 0,32; 0,63; 0,80 и 1,60 мм.

В соответствии с определением радиационной толщины, из табл. 4 следует, что по [9] для схем просвечивания через две стенки требуемая чувствительность РК должна соответствовать удвоенной толщине стенки, как и в [1].

Применение канавочных ИКИ является спецификой исключительно российских стандартов. Имеющаяся практика их использования показывает, что с их помощью можно получать более

Табл. 5. Сравнение требований ГОСТ 7512–82 [9] и ISO 17636-1-2013 [1] по чувствительности РК (просвечивание через одну стенку, проволочный ИКИ на ОК со стороны ИИ)

Радиационная/просвечиваемая толщина, мм	Требуемая чувствительность по [9] для классов чувствительности, мм			Требуемая чувствительность по [1] для классов РК, мм	
	1	2	3	A	B
1	0,10	0,10	0,20	0,063 (W18)	0,05 (W19)
3	0,10	0,10	0,20	0,10 (W16)	0,08 (W17)
5	0,20	0,20	0,32	0,125 (W15)	0,10 (W16)
10	0,20	0,32	0,40	0,20 (W13)	0,16 (W14)
15	0,32	0,40	0,50	0,25 (W12)	0,20 (W13)
20	0,32	0,40	0,50	0,32 (W11)	0,20 (W13)
25	0,40	0,50	0,63	0,32 (W11)	0,25 (W12)
30	0,40	0,50	0,63	0,40 (W10)	0,25 (W12)
35	0,50	0,63	0,80	0,63 (W9)	0,32 (W11)

Для схем просвечивания через две стенки соотношение чувствительностей РК по [1] и [9] аналогично (см. далее).

высокие значения чувствительности РК, чем при помощи проволочных ИКИ, для одного и того же ОК.

Можно отметить, что в перечисленных нормах [9] фактически предполагается, что использование ИКИ всех трёх типов эквивалентно, то есть обеспечивает получение одних и тех же значений чувствительности контроля, вопреки имеющейся практике применения канавочного ИКИ. Кроме того, не предусмотрены поправки, которые необходимо вносить в значения чувствительности при расположении ИКИ на ОК со стороны плёнки, если его по какой-то причине нельзя установить со стороны ИИ, отсутствуют требования о необходимости наличия специальных маркировочных знаков, устанавливаемых при расположении ИКИ со стороны плёнки. Все это создает возможности для произвольного манипулирования параметром контрастной чувствительности в рамках [9].

В табл. 5 приведены сравнительные данные по требуемой чувствительности РК из [1] и [9], из которых следует, что требования [9] значительно уступают нормам [1], если сравнивать класс чувствительности 1 по [9] и класс B по [1], а также класс чувствительности 2 по [9] и класс A по [1].

1.4. Разность просвечиваемых (радиационных) толщин ОК на краях и в центре зоны контроля

Данный параметр, используемый в [1], определяет количество радиограмм для полного контроля прямолинейных плоских и изогнутых сварных швов и минимальное количество экспозиций, обеспечивающее приемлемые объём и качество контроля кольцевых стыковых сварных швов.

В соответствии с [1] для класса качества изображения A разность просвечи-

ваемых толщин на краях и в центре радиограммы не должна превышать 20%, а для класса B — 10%. Естественно, что при этом минимальное количество экспозиций больше для класса B, чем для класса A.

Диаграммы для определения минимального требуемого количества экспозиций для труб наружным диаметром D_e более 100 мм при просвечивании через одну и две стенки схематично показаны на рис. 3 для класса качества изображения A [1]. Аналогичные диаграммы имеются в [1] для класса B.

В [9] имеются формулы для расчёта минимального количества экспозиций для схем экспонирования труб через 1 (рис. 3а) и 2 стенки (рис. 3б) (табл. 2 Приложения 4 в [9]), причём критерий выбора требований по минимальному количеству экспозиций явно не сформулирован.

Результаты сравнения требований [1] и [9] для схем просвечивания через одну и две стенки представлены в табл. 6 и 7 для нескольких типоразмеров труб при расположении ИИ на минимальном

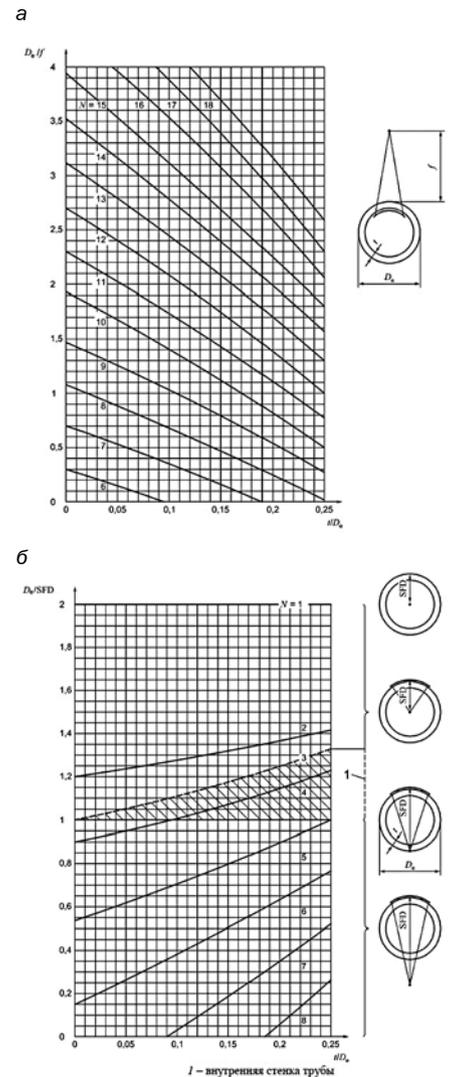


Рис. 3. Минимальное количество экспозиций N: а — при просвечивании через одну стенку с источником излучения снаружи (для класса A) как функция отношений t/D_e и D_e/f ; б — при эксцентрическом просвечивании с источником излучения внутри, а также при просвечивании через две стенки (для класса A) как функция отношений t/D_e и D_e/SFD

Табл. 6. Сравнение требований [1] и [9] по чувствительности РК и минимальному количеству экспозиций при просвечивании кольцевых стыковых сварных швов через одну стенку (схема просвечивания рис. 3а; диаметр фокусного пятна 3 мм; проволочный ИКИ со стороны ИИ; в скобках указаны результаты расчётов по [12])

Типоразмер трубы, $D_e \times t$, мм	$f_{мин}$ по [9], мм	ГОСТ 7512–82 [9]				ГОСТ ISO 17636-1-2017 [1]			
		1 класс чувствительности		2 класс чувствительности		Класс B		Класс A	
		Макс. чувствительность, мм	Миним. кол-во экспозиций						
114×7	295	0,2	6	0,2	6	0,125	10 (10)	0,16	7 (7)
159×7	295	0,2	6	0,2	6	0,125	10 (10)	0,16	8 (8)
219×7	295	0,2	6	0,2	6	0,125	11 (11)	0,16	8 (8)
325×10	420	0,2	6	0,32	6	0,16	11 (11)	0,2	8 (8)
426×13	341	0,32	7	0,4	7	0,2	13 (14)	0,25	9 (9)

Табл. 7. Сравнение требований [1] и [9] по чувствительности РК и минимальному количеству экспозиций при просвечивании кольцевых стыковых сварных швов через две стенки с расшивкой только задней стенки (схема просвечивания рис. 3б; диаметр фокусного пятна — 3 мм; проволочный ИКИ со стороны плёнки; SFD_{\min} — минимальное расстояние между ИИ и плёнкой, определенное по [9]; требуемая чувствительность РК для [1] и [9] взята по двойной толщине стенки; в скобках указаны результаты расчетов по [12])

Типоразмер трубы, $D_e \times t$, мм	SFD_{\min} по [9], мм	ГОСТ 7512–82 [9]				ГОСТ ISO 17636-1-2017 [1]			
		1 класс чувствительности		2 класс чувствительности		Класс В		Класс А	
		Макс. чувствительность, мм	Миним. кол-во экспозиций						
114×7	255	0,32	6	0,4	6	0,16	7 (7)	0,20	5 (5)
159×7	290	0,32	7	0,4	7	0,16	6 (6)	0,20	5 (5)
219×7	320	0,32	7	0,4	7	0,16	5–6 (6)	0,20	4 (5)
325×10	463	0,32	8	0,4	8	0,20	5–6 (6)	0,25	4 (4)
426×13	506	0,4	9	0,5	9	0,2	5 (5)	0,32	4 (4)

расстоянии от трубы, определённом по формулам табл. 1 в [9], которое больше, чем рассчитанное по [1].

Из табл. 6 видно, что при просвечивании сварного соединения через одну стенку:

- чувствительности РК по [9] больше (хуже) чувствительностей по [1] для всех выбранных типоразмеров труб, так же, как следует из табл. 5;
- минимальное количество экспозиций по [9] реально не зависит от класса чувствительности РК и существенно меньше, чем по [1], особенно для класса В, для всех выбранных типоразмеров труб, то есть в [9] используется иной, чем в [1], не указанный параметр качества изображения, влияющий на минимальное количество экспозиций;
- имеется очень хорошее согласие данных [1] и [12] по минимальному количеству экспозиций для этой схемы просвечивания.

Для схемы просвечивания через две стенки (рис. 3б) минимальные расстояния f определяются в [9] и [12], с одной стороны, и в [1], с другой стороны, по-разному, что необходимо учитывать, чтобы исключить ошибки в расчётах.

Из табл. 7 видно, что:

- формула табл. 1 в [9] для расчёта минимального расстояния f для данной схемы просвечивания для первых трёх типоразмеров труб с толщиной стенки 7 мм даёт зависимость SFD_{\min} от диаметра трубы, чего не должно быть, если бы это расстояние определялось только допустимой максимальной геометрической нерезкостью, как в [1];
- чувствительности РК по [9] в 1,5–2 раза больше (хуже) чувствительностей по [1] для всех выбранных типоразмеров труб, и это различие больше, чем для схемы просвечивания через одну стенку (табл. 6), в том числе, из-за отсутствия в [9] поправки на чувствительность РК при расположении ИКИ со стороны плёнки;
- минимальное количество экспозиций по [9] не зависит от класса чувствительности РК и больше, чем по [1], для всех выбранных типоразмеров труб, так же, как следует из табл. 5;

ствительности РК и больше, чем по [1], для всех выбранных типоразмеров труб, то есть в [9] используется иной, чем в [1], не указанный параметр качества изображения, влияющий на минимальное количество экспозиций;

- имеется очень хорошее согласие данных [1] и [12] по минимальному количеству экспозиций для этой схемы просвечивания.

1.5. Дополнительные параметры контроля, влияющие на качество радиографического изображения

1.5.1. Выбор напряжения на рентгеновской трубке или источника излучения

Для обеспечения высокой чувствительности контроля и незначительной внутренней нерезкости плёночной системы напряжение на рентгеновской трубке рекомендуется (по [1]) или требуется (по [9]) устанавливать по возможности более низким безотносительно к классу качества снимка по [1] или классу чувствительности контроля по [9]. Максимальные значения напряжения на трубке в зависимости от просвечиваемой (или радиационной) толщины показаны на рис. 4 для изделий из стали по [1] и [9] (требования [9] основаны на [16]).

Из рис. 4 видно, что требования [9, 16] в отношении напряжения на рентгеновской трубке несколько более жёсткие, чем рекомендации [1], тем более что в [1] для сталей допускается и чуть более высокое напряжение (но не более чем на 50 кВ) в случае изменения толщины ОК вдоль его сечения.

В табл. 8 приведены сравнительные данные по допустимым диапазонам просвечиваемых толщин изделий из стали для других ИИ из [1] и [9, 16] соответственно. Видно, что в [9, 16] для

Табл. 8. Допустимый диапазон просвечиваемых (радиационных) толщин стали для источников гамма-излучения и рентгеновского оборудования с энергией свыше 1 МэВ

Источник излучения	Просвечиваемая толщина w , мм, по [1]		Радиационная толщина w , мм, по [9, 16]
	Класс А	Класс В	
^{170}Tm	$w \leq 5$	$w \leq 5$	$1 \leq w \leq 20$
^{169}Yb	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$	—
^{75}Se	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$	$5 \leq w \leq 30$
^{192}Ir	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$	$5 \leq w \leq 100$
^{60}Co	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$	$30 \leq w \leq 200$
Рентгеновское оборудование с энергией от 1 до 4 МэВ включ.	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$	—
Рентгеновское оборудование с энергией свыше 4 до 12 МэВ включ.	$w \geq 50$	$w \geq 80$	—
Рентгеновское оборудование с энергией свыше 12 МэВ	$w \geq 80$	$w \geq 100$	—

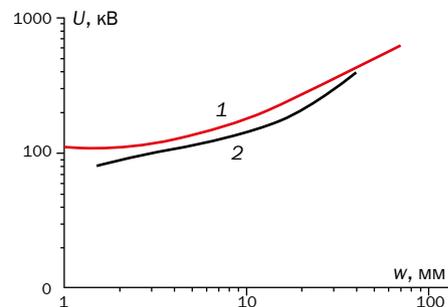


Рис. 4. Рекомендуемое максимальное напряжение U на рентгеновской трубке источников с напряжением до 1000 кВ в зависимости от просвечиваемой (радиационной) толщины w изделия из стали: 1 — по [1], 2 — по [9, 16]

некоторых ИИ нормы либо отсутствуют вообще, либо допустимые диапазоны толщине шире, чем по [1], а нормы вы по диапазонам толщин в [9] никак не связаны с требуемым качеством изображения, как в [1]. Эти пробелы [9, 16] устранены в [12], но рекомендации [12] не совпадают с нормами [1].

1.5.2. Выбор плёночной системы и металлических экранов

Выбор плёночной системы и материала и толщины металлических экранов влияет на качество радиографического изображения.

В п. 7.3 [1] содержатся детальные требования по минимальным классам плёночных систем (в соответствии с [17]) и рекомендации по выбору металлических передних и задних усиливающих экранов для классов качества изображения А и В и различных ИИ и просвечиваемых толщин, а также защитных экранов. Применение флуоресцирующих усиливающих экранов не регламентировано. Указано, что наличие обратного рассеянного излучения должно быть проверено для каждой новой схемы получения снимка посредством установки свинцовой литеры «В» позади каждой кассеты.

В [9] полностью отсутствуют нормы по использованию плёночных систем того или иного класса и имеются лишь отдельные рекомендации по применению усиливающих металлических и флуоресцирующих экранов и защитных экранов. В [12] содержатся отличающиеся от норм [1] подробные рекомендации по применению плёночных систем в соответствии с требуемым классом качества изображения, а также рекомендации по усиливающим и защитным экранам безотносительно к требуемому качеству снимка.

2. Цифровая радиография (ЦР)

К ЦР относятся методы (способы) РК, позволяющие получить цифровое радиографическое изображение. Новый стандарт по ЦР [2] регламентирует при-

менение для контроля сварных соединений компьютерной радиографии (КР), в которой радиографическое изображение записывается на многоцветной запоминающей люминесцентной пластине (ЗП) и считывается сканером, и прямой цифровой радиографии (ПЦР), в которой изображение регистрируется непосредственно матричным цифровым детектором.

По [2] совокупность параметров, характеризующих качество цифрового радиографического изображения и определяющих возможность отнесения снимка к тому или иному классу качества и допустимость его расшифровки, включает нормализованное отношение сигнал/шум SNR_N (или значение градации серого GV — только для КР), полную (общую, суммарную) нерезкость изображения (или базовое пространственное разрешение SR_b^{image}), контрастную чувствительность (определяемую по индикатору качества изображения ИКИ) и разность просвечиваемых (радиационных) толщин на краях и в центре зоны контроля. При этом принципиально требование, чтобы качество цифрового изображения было не хуже качества плёночного снимка.

Количественные параметры качества изображения в ЦР несколько отличаются от параметров качества плёночных снимков, как показано в табл. 9, и понимание этих различий совершенно необходимо при переходе с плёночной на цифровую радиографию.

Как видно из табл. 9, существенные различия имеются только по первым двум параметрам качества изображения в плёночной и цифровой радиографии.

Ограниченное использование стандарта [9] для ЦР сварных соединений в принципе возможно только для гибких цифровых детекторов, плотно прилегающих к поверхности сварного соединения, и лишь в части нормирования геометрической нерезкости как составляющей полной нерезкости изображения, а не минимальных расстояний f , рассчитываемых в [9] с учетом «плёночных»

факторов, контрастной чувствительности, если устаревшие требования по которой в [9] признаются удовлетворительными, и напряжения на рентгеновской трубке. Однако при наличии в РФ полноценных стандартов [1, 8] по ЦР такой подход представляется недостаточным, непрактичным и необоснованным.

2.1. Нормализованное отношение сигнал/шум для цифрового изображения

Нормализованное отношение сигнал/шум SNR_N — это аналог оптической плотности снимка в плёночной радиографии. SNR_N — отношение сигнала к шуму SNR , нормированное на базовое пространственное разрешение детектора SR_b^{det} по формуле:

$$SNR_N = SNR \cdot 88,6 / SR_b^{det}, \quad (6)$$

где $SNR = GV_{mean} / \sigma$; GV_{mean} — среднее значение GV по выделенной области изображения размером не менее 55×20 пикселей; σ — среднее значение стандартного отклонения GV по этой же области изображения; SR_b^{det} — базовое пространственное разрешение детектора, декларированное изготовителем системы ЦР или измеренное по стандартной методике (см. далее).

Нормализация (или нормирование) SNR производится с целью получения возможности сравнения качества изображений от систем ЦР с разными размерами пикселя, а также плёночной радиографии.

Значение SNR_N должно быть измерено по [2] (с помощью встроенного в программное обеспечение инструмента для определения статистических характеристик изображения) около сварного шва рядом с проволочным или ступенчатым с отверстиями ИКИ в наиболее толстой части основного металла в зоне с постоянной толщиной стенки и с постоянным значением градации серого. Измерение SNR_N для цифрового изображения не сложнее, чем определение оптической плотности плёнки. Пример требований по SNR_N в соответствии со стандартом [2] для источников

Табл. 9. Основные требования стандартов EN и ISO к качеству изображений в радиографии

Количественный параметр	Плёночная радиография по [1]	Цифровая радиография (КР, ПЦР) по [2, 8]
По экспозиции	Превышение минимальной оптической плотности снимка	Превышение минимального требуемого нормализованного отношения сигнал/шум SNR_N (или минимальной GV для КР)
Нерезкость изображения	Непревышение предельной геометрической нерезкости	Непревышение предельной полной нерезкости
Контрастная чувствительность	Получение контрастной чувствительности по ИКИ лучше минимально требуемой	Получение контрастной чувствительности по ИКИ лучше минимально требуемой
Разность просвечиваемых толщин на краях и в центре зоны контроля	Менее 10% для класса В Менее 20% для класса А	Менее 10% для класса В Менее 20% для класса А

Табл. 10. Минимальные значения SNR_N (для КР и ПЦР) при контроле сварных швов в изделиях из стали для классов качества изображений А и В [2]

Источник излучения	Просвечиваемая толщина w , мм	Минимальное значение SNR_N	
		Класс А	Класс В
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке до 50 кВ		100	150
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке от 50 до 150 кВ		70	120
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке от 150 до 250 кВ		70	100
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке от 250 до 350 кВ	$w \leq 50$	70	100
	$w > 50$	70	70
Рентгеновское оборудование с напряжением на трубке от 350 до 1000 кВ	$w \leq 50$	70	100
	$w > 50$	70	70

рентгеновского излучения приведен в табл. 10.

В [8] (п. 7.2) для продольных и спиральных сварных швов в стальных трубах требования по минимальным значениям SNR_N в основном металле проще: для класса А — 70, для класса В — 100.

Если SNR_N измеряется в зоне термического влияния или в основном металле, то приведённые в табл. 9 значения должны быть умножены на 1,4 за исключением случая, когда усиление сварного шва и его корень находятся на одном уровне с основным металлом.

Для КР в [2] допускается использование минимальных значений GV вместо SNR_N , однако соотношение между GV и SNR_N не признается универсальным и должно быть определено для каждой комбинации ЗП-сканер-параметры сканирования.

В ЦР при необходимости SNR_N в изображении может быть легко повышено путём увеличения экспозиции (в КР и ПЦР) и/или тщательной калибровки (настройки) детектора (только в ПЦР).

2.2. Полная нерезкость цифрового изображения ОК

В цифровой радиографии, в отличие от плёночной, вклад в полную нерезкость изображения $U_t = (U_g^2 + U_i^2)^{1/2}$ геометрической нерезкости U_g и собственной нерезкости детектора U_i сравнимы. Поэтому по [2] U_g и $U_i = 2SR_b^{det}$ нормируются отдельно для каждого класса качества изображения А или В, как и U_t , измеряемая с помощью двухпроводочного ИКИ по [18], установленного на ОК со стороны ИИ вблизи сварного шва под углом 2–5° к нему. Базовое пространственное разрешение изображения ОК определяется по формуле: $SR_b^{image} = U_t/2$.

В соответствии с [2] применение двухпроводочного ИКИ не обязательно при получении производственных радиограмм, для которых условия экспо-

нирования повторяются и коэффициент геометрического увеличения не превышает 1,2, и достаточно иметь контрольный снимок, демонстрирующий достигнутые U_t или SR_b^{image} .

Для измерения U_t на изображении двухпроводочного ИКИ через пары проводочек проводятся несколько поперечных профилей, которые усредняются (рис. 5), и по усреднённому профилю определяется первая пара проводочек, для которой отношение глубины впадины между пиками к высоте пиков меньше 20%. По этой паре проводочек определяется U_t и SR_b^{image} . Аналогично может быть измерено значение SR_b^{det} , только при этом двухпроводочный ИКИ помещается на детектор и проводится экспонирование в стандартном режиме без ОК в пучке излучения.

В [2] регламентируется максимальная геометрическая нерезкость изображения U_g путём нормирования минимального расстояния f от ИИ до поверхности ОК со стороны ИИ в соответствии с такими же эмпирическими формулами (2) и (3) для гибких детекторов, какие используются в плёночной радиографии, а для плоских детекторов — в соответствии с формулами (7) и (8):

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

для класса качества изображения А;

$$f/d \geq 15b/t^{1/3} \quad (8)$$

для класса качества изображения В;

где d — размер фокусного пятна, мм, рентгеновского или изотопного ИИ; b — расстояние, мм, от поверхности ОК со стороны ИИ до детектора; t — номинальная толщина ОК.

Формулы (2, 3) и (7, 8) применимы к ЦР только тогда, когда SR_b^{det} намного меньше, чем следует из формул (11, 12), см. далее.

Расстояния f и b и толщина ОК t показаны, например, для различных схем просвечивания кольцевых стыковых сварных швов с использованием плоских детекторов по [2] на рис. 6.

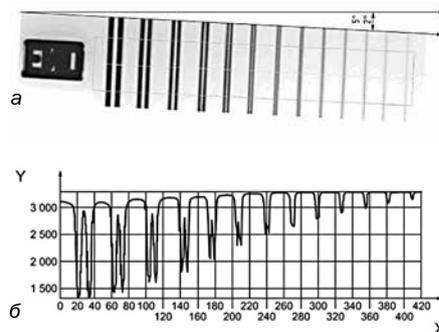


Рис. 5. Определение полной нерезкости изображения с помощью двухпроводочного ИКИ: а — изображение ИКИ на радиограмме (ИКИ на ОК со стороны ИИ); б — профиль ИКИ, усреднённый, как минимум, по 21-й линии

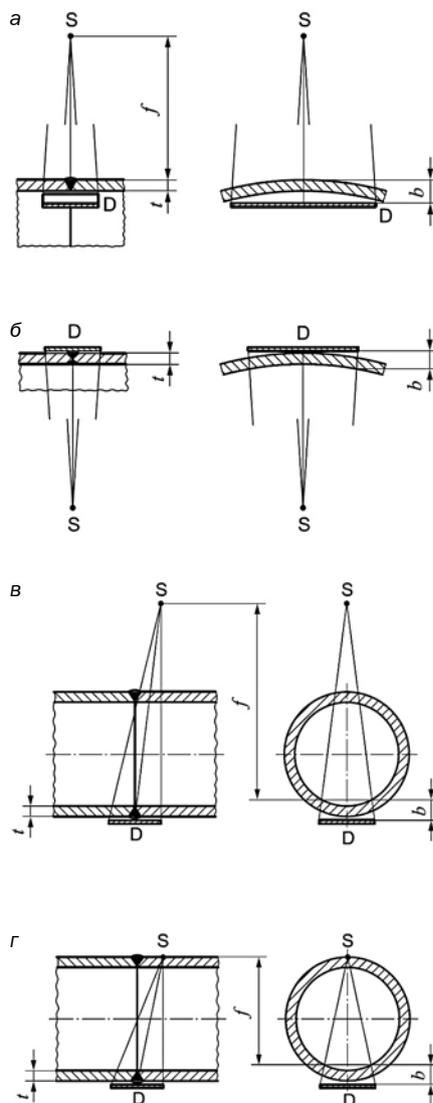


Рис. 6. Геометрические параметры различных схем просвечивания стыковых кольцевых сварных швов при использовании плоских детекторов по [2]: а, б — через 1 стенку (SWE-SWI); в, г — через 2 стенки (DWE-SWI, 1 изображение)

Для схемы просвечивания DWE-DWI геометрические параметры определяются так же, как и на рис. 1г и 1д.

Формулы (7), (8) и (1) дают:

$$U_g \leq t^{1/3}/7,5 \text{ для класса А; (9)}$$

$$U_g \leq t^{1/3}/15 \text{ для класса В. (10)}$$

Сравнение с формулами (4) и (5) показывает, что для плоских детекторов установлен более жёсткий норматив по U_g , чем для гибких детекторов, так как в ЦР, как правило, $b > t$. Формулы (2, 3) и (7, 8) позволяют рассчитывать соответствующие минимальные расстояния f для всех реальных схем просвечивания, включая схемы с геометрическим (проекционным) увеличением.

Собственная нерезкость всех цифровых детекторов $U_i = 2SR_b^{det}$ ограничивается в [2] в соответствии с формулами:

$$2SR_b^{det} < b^{1/3}/7,5 \text{ (11)}$$

для класса качества изображения А;

$$2SR_b^{det} < b^{1/3}/15 \text{ (12)}$$

для класса качества изображения В.

Формулы (11) и (12) для U_i фактически совпадают с формулами (4) и (5) для U_g в плёночной радиографии.

Требования по максимальным значениям U_t и SR_b^{image} для всех схем просвечивания сварных соединений приведены в табл. В.13, В.14 [2]. При этом для схемы просвечивания кольцевых сварных швов через 2 стенки с расшифровкой только ближайшей к детектору стенки (DWE-SWI), требуемое значение U_t выбирается по номинальной толщине одной стенки, а не по просвечиваемой толщине (см. Примечание «а» к табл. В.13, В.14), в отличие от контрастной чувствительности, которая в этом случае выбирается по двойной номинальной толщине стенки.

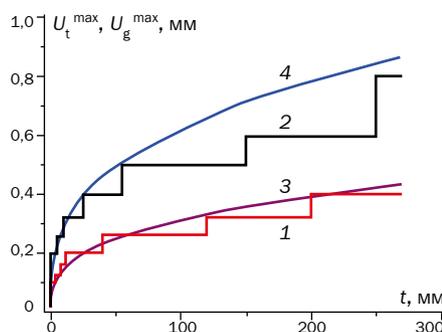


Рис. 7. Зависимости максимальных значений полной нерезкости U_t^{max} и геометрической нерезкости U_g^{max} радиографического изображения от номинальной толщины t ОК для ЦР с использованием плоских детекторов [2]: 1 — U_t^{max} для класса В; 2 — U_t^{max} для класса А; 3 — U_g^{max} для класса В; 4 — U_g^{max} для класса А. Для схемы просвечивания DWE — DWI: $t \approx D_o$

На рис. 7 показаны требования [2] по максимальным значениям U_t и U_g для систем с плоскими цифровыми детекторами. Видно, что эти требования не вполне адекватны, так как $U_t^{max} \leq U_g^{max}$. Чтобы выполнить нормативы по U_t для обоих классов качества изображения при фиксированном значении $U_i = 2SR_b^{det}$, соответствующем формуле (11) или (12), необходимо иметь U_g значительно меньше максимального значения по формуле (9) или (10), то есть существенно увеличить расстояние f или иметь детектор с U_i значительно меньше, чем следует из формул (11) или (12), и выбрать расстояние f в соответствии с формулами (7, 8). Если такие варианты невозможны, в частности, из-за недостаточной резкости детектора, то могут быть использованы схема просвечивания с геометрическим увеличением и/или принцип компенсации II в [2, 8].

Действительно, при использовании геометрического увеличения полная нерезкость изображения выражается формулой: $U_t = (1/v)[U_g^2 + (2SR_b^{det})^2]^{1/2}$, где v — коэффициент геометрического увеличения, $v = (f + b)/f$. При увеличении v до нескольких единиц соответственно может быть уменьшено значение U_t (и SR_b^{image}) до нужного нормативного уровня. Необходимым условием для этого является применение ИИ с малым размером фокусного пятна (обычно менее 1 мм), обеспечивающее получение приемлемого значения U_g . Правильность выбора коэффициента v должна быть доказана с помощью двухпроволочного ИКИ, изображение которого должно быть на всех производственных радиограммах.

В соответствии с принципом компенсации II в [2, 8], для каждой одной (или двух) недостающей пары проволочек двухпроволочного ИКИ при измерении U_t допускается компенсация путём улучшения показателя чувствительности по ИКИ на одну (или две) проволочку или ступеньку с отверстием. Это может

быть достигнуто путем увеличения SNR_N в изображении.

Если оба этих метода не позволяют получить необходимые значения контрастной чувствительности и U_t , то данная система ЦР не может быть использована для контроля.

Связь требований в [2] по полной нерезкости и контрастной чувствительности изображения для схемы просвечивания через одну стенку и ряда отдельных толщин ОК показана в табл. 11, из которой следует, что если ввести требование к полной нерезкости изображения в ЦР типа того, что используется в [9] в отношении геометрической нерезкости, которая не должна превышать половины чувствительности РК, то в рамках [2] оно будет невыполнимо.

2.3. Контрастная чувствительность

Этот количественный параметр определяется как в плёночной радиографии [1], так и в ЦР [2], с помощью эталонов чувствительности (ИКИ), устанавливаемых на ОК предпочтительно со стороны ИИ. Все нормативы контрастной чувствительности в плёночной радиографии по [1] и ЦР по [2] одинаковы, включая дифференциацию параметров в зависимости от схем просвечивания и типы ИКИ и их расположение на ОК (см. п. 1.3).

2.4. Разность просвечиваемых толщин объекта контроля на краях и в центре зоны контроля

В плёночной радиографии по [1] и ЦР по [2] этот параметр качества изображений сварных соединений определяется одинаково, идентичны и диаграммы для определения минимального количества экспозиций при контроле стыковых кольцевых сварных соединений в трубах (как в п. 1.4). Пробелом в [2] является отсутствие обоснования применимости диаграмм для определения минимального количества экспозиций при использовании плоскостных детекторов в Приложении А.

Табл. 11. Максимальная полная нерезкость U_t и максимальная контрастная чувствительность изображения ОК по проволочному ИКИ [2]

Номинальная толщина ОК, мм	Максимальная полная нерезкость U_t , мм		Максимальная контрастная чувствительность, мм	
	Класс А	Класс В	Класс А	Класс В
5	0,20	0,125	0,125	0,1
7	0,26	0,125	0,16	0,125
10	0,26	0,16	0,20	0,16
15	0,32	0,20	0,25	0,20
25	0,32	0,20	0,32	0,25
32	0,40	0,20	0,40	0,32

2.5 Дополнительные параметры контроля, влияющие на качество радиографического изображения

2.5.1. Выбор напряжения на рентгеновской трубке или источника излучения

Для обеспечения высокой чувствительности контроля в ЦР [2,8] напряжение на рентгеновской трубке ИИ с напряжением до 1000 кВ рекомендуется устанавливать по возможности более низким безотносительно к классу качества снимка, как в плёночной радиографии, и иметь SNR_N в цифровом изображении как можно выше. Рекомендуемые максимальные значения напряжения являются наилучшими для плёночной радиографии, для изделий из стали они были показаны на рис. 4.

При КР в [2] для контроля по классу В крупнозернистые ЗП рекомендуется применять при напряжении на рентгеновской трубке примерно на 20% меньше, чем при плёночной радиографии. Мелкозернистые ЗП высокого разрешения могут экспонироваться при напряжениях на рентгеновской трубке в соответствии с рекомендациями для плёночной радиографии или при значительно более высоких, если SNR_N достаточно увеличено.

В связи с возможностью достижения больших значений SNR_N в результате тщательной калибровки (настройки) детектора при использовании ПЦР достаточное качество цифрового изображения может быть получено при значительно более высоких напряжениях, чем рекомендуемые в плёночной радиографии (в соответствии с принципом компенсации I).

Для радионуклидных и мощных рентгеновских ИИ рекомендации [2] по выбору диапазонов просвечиваемых толщин материалов для обоих классов контроля в ЦР такие же, как и для плёночной радиографии [1].

2.5.2. Выбор металлических экранов и защита от рассеянного излучения

В [2] регламентировано применение передних (в том числе, многослойных) металлических экранов только для КР. Из-за наличия защитного слоя на ЗП усиливающий эффект таких экранов незначителен и может быть получен лишь при плотном контакте экрана с ЗП. Из-за возможного повреждения ЗП при таком контакте более целесообразно применение передних металлических экранов лишь в качестве фильтров низкоэнерге-

тичного рассеянного излучения, выходящего из ОК и ухудшающего качество изображения, так как чувствительность ЗП к такому излучению очень высока. В [2] приведены рекомендуемые материалы и толщины передних экранов для различных источников излучения.

Защита от обратно рассеянного излучения также очень актуальна для КР. Она достигается с помощью защитных свинцовых или многослойных экранов, расположенных сзади каждой кассеты с ЗП. По [2] наличие обратно рассеянного излучения должно контролироваться с помощью свинцовой литеры В, установленной позади каждой кассеты, как и в плёночной радиографии.

Выводы

1. Сравнение нового стандарта ГОСТ ISO 17636-1-2017 и действующего ГОСТ 7512-82 по плёночной радиографии сварных соединений показывает, что отдельные требования ГОСТ 7512-82 устарели и не соответствуют современному уровню плёночной радиографии (по минимальной оптической плотности снимка, чувствительности контроля и др.), имеются пробелы в нормах (в части поправок на требуемую чувствительность контроля при расположении индикаторов качества изображения со стороны плёнки, рекомендуемых классов плёночных систем, использования специальных маркировочных знаков), критерий выбора требований по минимальному количеству экспозиций при просвечивании кольцевых стыковых сварных швов явно не сформулирован.
2. Усложнённая расчётная модель параметров качества радиографического изображения, положенной в основу ГОСТ 7512-82, затрудняет коррекцию одиночных параметров стандарта, и целесообразно рассмотреть вопрос о его переработке в целом с приведением в соответствие с современным уровнем плёночной радиографии и восполнением имеющихся пробелов или отмене.
3. Новый стандарт по цифровой радиографии сварных соединений ГОСТ ISO 17636-2-2017 содержит простую в применении, хотя и не идеальную, систему требований к основным параметрам качества цифрового радиографического изображения на основе мирового опыта, которые могут быть легко внедрены в практику промышленных предприятий.

Литература

1. ГОСТ ISO 17636-1-2017. Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 1. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением плёнки. — М.: Стандартинформ, 2018.
2. ГОСТ ISO 17636-2-2017. Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов. — М.: Стандартинформ, 2018.
3. ISO 17636-1-2013. Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 1. X- and gamma-ray techniques with film.
4. ISO 17636-2-2013. Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 2. X- and gamma-ray techniques with digital detectors.
5. EN 1435-1997. Non-destructive examination of welds. Radiographic examination of welded joints.
6. ISO 17636-2003. Non-destructive testing of welds. Radiographic testing of fusion-welded joints.
7. ГОСТ Р ИСО 10893-6-2016. Трубы стальные бесшовные и сварные. Часть 6. Радиографический контроль сварных швов для обнаружения дефектов. — М.: Стандартинформ, 2016.
8. ГОСТ Р ИСО 10893-7-2016. Трубы стальные бесшовные и сварные. Часть 7. Цифровой радиографический контроль сварных швов для обнаружения дефектов. — М.: Стандартинформ, 2016.
9. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. — М.: Стандартинформ, 2008.
10. EN 444-1994. Non-destructive testing. General principles for radiographic examination of metallic materials by X- and gamma-rays.
11. ISO 5579-2013. Non-destructive testing. Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma rays. Basic rules.
12. СДОС-1-2008. Методические рекомендации о порядке проведения радиационного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2008.
13. ISO 19232-1-2013. Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 1: Determination of the image quality value using wire-type image quality indicators.
14. ISO 19232-2-2013. Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 2: Determination of the image quality value using step/hole-type image quality indicators.
15. ASTM E 1742-08. Standard Practice for Radiographic Examination.
16. ГОСТ 20426-82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения. — М.: Издательство стандартов, 1982.
17. ISO 11699-1-2008. Non-destructive testing. Industrial radiographic film. Part 1: Classification of film systems for industrial radiography.
18. ISO 19232-5-2013. Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Part 5: Determination of the image unsharpness value using duplex wire-type image quality indicators.

Статья получена 7 августа 2018 г.,
в окончательной редакции — 20 августа