

К ВОПРОСУ О ЗАМЕНЕ РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ НА ЦИФРОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

А.Д. Жуков¹

adz2012@yandex.ru

Д.И. Галкин²

digalkin@inbox.ru

Е.А. Иванайский³

ndt_sib@mail.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

² ООО «ИКБ «Градиент», Москва, Российская Федерация

³ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Алтайский край, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен вопрос перехода от традиционной радиографии к цифровой. На основании проведенного эксперимента выявлено, что наиболее чувствительным и простым в определении показателем соответствия радиационного и видимого изображений является базовое пространственное разрешение SR_b . Чем больше значение SR_b , тем меньше влияние на качество получаемого изображения оказывают такие факторы, как несовершенство технологии и средств контроля, и тем ближе видимое изображение к радиационному аналогу. Предложено использовать данный показатель при контроле конкретного объекта, поскольку получаемое цифровое изображение столь же информативно (содержательно), как и его аналог на пленке

Ключевые слова

Цифровая радиография, пространственное разрешение, контраст, двухпроводочный эталон, нерезкость, рентгеновская пленка, цифровой детектор

Поступила в редакцию 23.03.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Одним из основных методов неразрушающего контроля, применяемых на стадии приемки готовой продукции, является радиографический метод. Радиографический контроль (РК) имеет ряд недостатков, среди которых:

- высокая себестоимость, состоящая из трудозатрат на проведение контроля, стоимости расходных материалов и мероприятий по обеспечению радиационной безопасности;
- невозможность получения мгновенного результата, так как для получения видимого изображения экспонированный снимок необходимо подвергнуть длительному процессу химико-фотографической обработки (15...30 мин);
- отсутствие рекомендаций российских нормативных документов по выбору пленочной системы (комбинация пленки и усиливающего экрана);
- малая чувствительность к плоскостным дефектам: при РК не выявляют непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания и (или) величина раскрытия менее 0,1 мм [1];
- низкое совпадение мнений специалистов при отнесении проекций несплошностей к определенному типу [2].

Совершенствование технологии РК за счет частичного устранения обозначенных недостатков является актуальной задачей. Для многих специалистов [3–5] очевидно, что ряд проблем РК можно решить, применяя цифровые детекторы, которые позволят исключить операцию химико-фотографической обработки, значительно уменьшить время экспозиции за счет более высокой квантовой эффективности детектора, получить изображение сразу после выполнения экспозиции. Однако в отличие от пленки цифровые детекторы оказывают существенное влияние на результат преобразования радиационного изображения в видимое. В этой связи при замене пленочного детектора на цифровой необходимы убедительные доказательства того, что при проведении контроля конкретного объекта получаемое цифровое изображение столь же информативно (содержательно), как и его аналог на пленке. Поэтому важной задачей является установление критериев, руководствуясь которыми можно было бы осуществить данный переход.

При цифровой радиографии основными параметрами, определяющими качество изображения, являются [6]:

- чувствительность контроля;
- нормализованное отношение сигнал/шум (SRN_n — signal to noise ratio) — аналог оптической плотности в пленочной радиографии [4];
- базовое пространственное разрешение (SR_b — basic spatial resolution), зачастую также называемое показателем разрешающей способности системы или просто разрешающей способностью.

Параметр разрешающей способности численно определяется числом раздельно различимых (разрешенных) линий, приходящихся на 1 мм детектора. Наиболее простым, согласно исследованию [3], и, как показывает практика, наиболее удобным способом оценки разрешающей способности является использование двухпроводочного (дуплексного) эталона [7]. Такой эталон представляет собой 13 пар проволок разного диаметра, впаянных в жесткий пластик (рис. 1). В каждой паре проволоочки располагаются друг от друга на расстоянии, равном их диаметру. Пары проволок в зависимости от диаметра пронумерованы от $1D$ (пара проволок наибольшего диаметра) до $13D$. Пары $1D$ — $3D$ выполнены из вольфрама, остальные — из платины. Показатель SR_b определяется



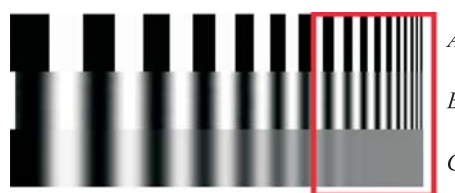
Рис. 1. Двухпроводочный (дуплексный) эталон IQI [7]

как номер последней разрешимой на изображении пары проволочек и равен половине зарегистрированной нерезкости изображения или эффективному размеру пикселя. В зависимости от радиационной толщины объекта контроля и класса контроля (основной, улучшенный) [6] устанавливают требования к минимальному значению SR_b .

Чтобы понять, почему параметру SR_b уделяется значительное внимание, проследим, каким образом изменяется качество получаемого изображения при уменьшении значения разрешающей способности.

Реальный объект, представляющий собой комбинацию специальных полос и щелей различной ширины, через которые проходит ионизирующее излучение, приведен на рис. 2 (зона А). Зоны В и С — проекции объекта А, получаемые при экспонировании на разных фокусных расстояниях.

Рис. 2. Изменение разрешающей способности при экспонировании на разных фокусных расстояниях. Красным прямоугольником отмечена зона наименьшего размера полос/щелей (зона наибольшего значения разрешающей способности) [8]



В зоне В отчетливо различима область с наибольшим пространственным разрешением (или область наименьшего размера полос — отмечена красным прямоугольником), тогда как в зоне С, изображение которой получено при меньшем фокусном расстоянии, в той же области, отображение полос и щелей практически не различимо. Более того, для зон В и С при движении слева направо, т. е. в сторону уменьшения размеров полос и щелей, происходит увеличение равномерности распределения оптической плотности. При этом чем меньше ширина линии, тем меньше ее контраст с фоном. В результате достигается ситуация, при которой граница между объектом и фоном перестает быть различимой — изображение достигает порога контрастной чувствительности глаза и объект на снимке невозможно различить. Таким образом, разрешающая способность определяет не только различимость близко расположенных объектов на снимке, но и отображает величину контраста между каждым отдельным объектом и фоном, характеризует количество полезной информации, которая может быть извлечена при контроле (информативность). Аналогичное влияние на качество изображения для несплошностей с малыми поперечными размерами (не превышающими размеров фокусного пятна) оказывает и нерезкость [9].

Связь нерезкости и разрешающей способности установлена в работе [10]:

$$USR = 1,3 \dots 1,5, \quad (1)$$

где U — нерезкость; SR — разрешающая способность.

При пленочной радиографии в практическом отношении определяющей является геометрическая нерезкость. Формирование геометрической нерезкости изображения несплошности при просвечивании изделия проникающим излуче-

нием аналогично формированию области полутени при освещении источником видимого света непрозрачного объекта. От регламентированных допустимых значений геометрической нерезкости зависит выбор геометрических условий просвечивания: схемы контроля, фокусного расстояния (расстояния источник — изделие), размеров (количества) контролируемых за одну экспозицию участков изделия [9]. Согласно [1], значение геометрической нерезкости не должно превышать половины чувствительности контроля, что определяет требования к минимальному расстоянию от источника излучения до объекта контроля f_{\min} . При проведении РК с расстояний $f \geq f_{\min}$ потеря информативности теневого изображения вследствие увеличения нерезкости/ухудшения разрешающей способности является незначительной и допустимой. Таким образом, контроль показателей разрешающей способности при соблюдении требований [1] является нецелесообразным. Основным показателем качества изображения при использовании радиографической пленки является чувствительность контроля, определяемая как наименьший размер элемента эталона чувствительности, выявляемого на снимке.

При экспонировании на пленку с расстояний $f < f_{\min}$ происходит градиционное выравнивание изображения, что обуславливает существенную потерю информативности. В соответствии с (1) аналогичное преобразование изображения наблюдается при экспонировании на цифровые детекторы с различными частотно-контрастными характеристиками (функция передачи модуляции МТФ). Именно эта функция характеризует, насколько хорошо локальные всплески интенсивности излучения сохраняются при оцифровке, и определяет максимальное значение разрешающей способности, которое может быть достигнуто при использовании цифрового детектора. Для демонстрации влияния цифровых детекторов на информативное содержание изображения авторы провели эксперимент по последовательному экспонированию на пленку объекта, содержащего несплошности, с расстояний $f < f_{\min}$.

В качестве объекта исследования использовано сварное стыковое соединение труб диаметром 48 мм и толщиной стенки 3 мм. Материал труб — сталь 3, источник ионизированного излучения — РАП-220-5 (размер фокусного пятна 2,0 мм), параметры напряжения были выбраны согласно рекомендациям [11], сила тока на аноде и время экспонирования — согласно номограмме пленки [12]. Класс чувствительности — 2 по ГОСТ 7512–82. Экспонирование и последующая оценка проводились с учетом особенностей, описанных в [12–14], схема контроля приведена на рис. 3.

При проведении эксперимента значение информативности принимали численно равным суммарной площади регистрируемых на снимке проекций несплошностей. За базовое значение (100 %) взято значение информативности, определенное при $f_{\min} = 960$ мм ($F = 1010$ мм).

Экспериментальная зависимость информативности и показателя SR_b от фокусного расстояния, а также результаты численного моделирования изменения размеров и оптической плотности теневого изображения несплошности шириной

Рис. 3. Схема проведения контроля:
 1 — источник излучения; 2 — объект контроля;
 3 — радиографическая пленка; 4 — эталон чувствительности [13]

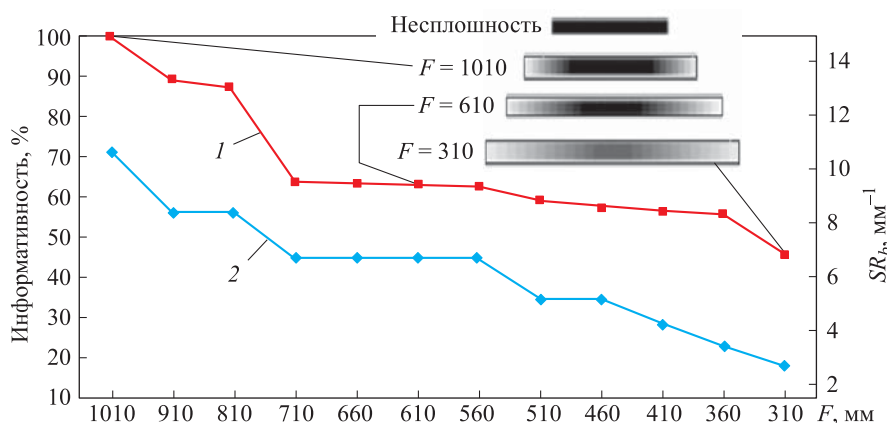
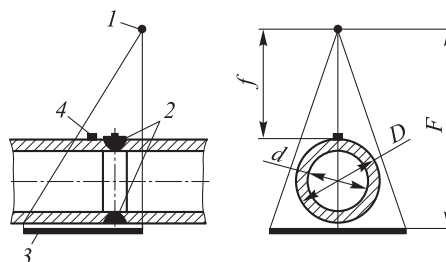


Рис. 4. График изменения информативности и показателя разрешающей способности SR_b при экспонировании на рентгеновскую пленку

0,2 мм (требуемая чувствительность контроля), приведены на рис. 4. Данная визуализация позволяет наглядно продемонстрировать, насколько значительно видоизменяется проекция изображения при увеличении нерезкости/ухудшении разрешающей способности.

Стоит отметить, что изменения показателя SR_b хорошо коррелируют с потерей информативности. Данная зависимость не выполняется для чувствительности контроля, существенных изменений которой в ходе эксперимента зафиксировано не было (рис. 5). Более того, чувствительность контроля, определенная

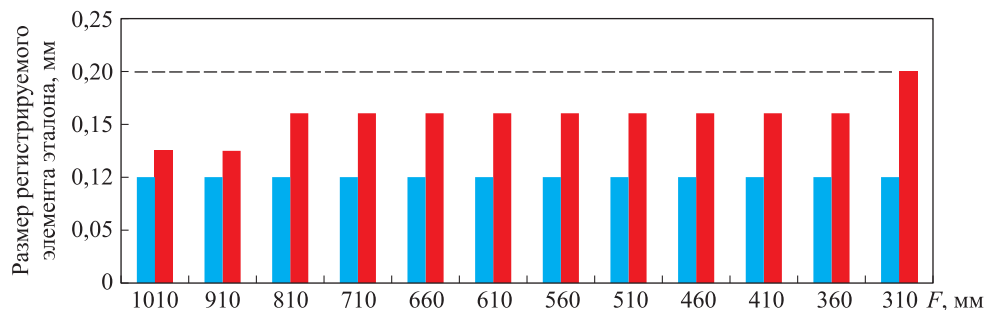


Рис. 5. Изменение чувствительности при уменьшении фокусного расстояния

по канавочному эталону, осталась без изменений даже при увеличении нерезкости более чем в 3 раза. Это связано с тем, что при определении чувствительности контроля специалист знает, где должен находиться малоконтрастный объект, что существенно облегчает его поиск.

Можно утверждать, что с практической точки зрения частотно-контрастная характеристика детектора определяет информативность получаемого изображения, поскольку изменение контраста вследствие фильтрации радиационного изображения детектором влияет на возможность выявления несплошностей с малым раскрытием, местоположение которых заранее не известно. Последующее программное улучшение изображения не может компенсировать данное ограничение технологии цифровой радиографии.

На основании проведенного эксперимента также можно сделать вывод о том, что SR_b является показателем соответствия радиационного и видимого изображений: чем больше значение SR_b , тем меньшее влияние на качество получаемого изображения оказывают такие факторы, как несовершенство технологии и средств контроля, и тем ближе видимое изображение к его радиационному аналогу. Поэтому при переходе от пленочной к цифровой радиографии необходимо убедиться, что при цифровой радиографии достигается показатель разрешающей способности не менее значения, получаемого при использовании пленки. Значение показателя SR_b для пленки должно определяться при режимах, соответствующих наилучшим допустимым по [1] условиям экспонирования.

Таким образом, установление требований к минимальным значениям показателя разрешающей способности в зависимости от характеристик объекта контроля и применяемой при его контроле нормативно-технической документации является основной задачей, решение которой позволит обеспечить преимущество технологии пленочной и цифровой радиографии.

Выводы. 1. Показатель качества, определенный по двухпроводочному (дуплексному) эталону IQI, служит мерой информативности изображения. При использовании цифровых детекторов применение такого эталона является обязательным.

2. Для наиболее точной оценки качества получаемого изображения рекомендуется устанавливать двухпроводочный (дуплексный) эталон таким образом, чтобы получить его проекцию на краю детектора.

3. Для оценки потери информативности при использовании радиографической пленки в случае нарушения технологии контроля, регламентированной ГОСТ 7512–82, а также при использовании флуоресцирующих экранов целесообразно использовать двухпроводочный (дуплексный) эталон. Аналогичный метод можно применять для сравнения пленочных систем различного типа [15].

4. При выполнении перехода от пленочной радиографии к цифровой необходимо убедиться, что значение показателя SR_b , достигнутое с использованием цифрового детектора, не меньше аналогичного значения, определенного при экспонировании на рентгеновскую пленку. При этом базовый снимок должен

быть получен при параметрах РК (напряжение, размер фокусного пятна, фокусное расстояние, тип пленки/усиливающих экранов, длина участка контроля), соответствующих требованиям ГОСТ 7512–82 и позволяющих получить качество изображения, удовлетворяющее потребностям конкретного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 7512–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. М.: Изд-во стандартов, 1982. 19 с.
2. Алешин Н.П., Галкин Д.И. Способ повышения объективности результатов расшифровки радиографических снимков сварных соединений // Дефектоскопия. 2016. № 3. С. 18–24.
3. Ewert U., Zscherpel U., Bavendiek K. Replacement of film radiography by digital techniques and enhancement of image quality. Berlin: BAM Federal Institute for Materials Research and Training, 2007. 14 p.
4. Усачев Е.Ю., Усачев В.Е., Гнедин М.М. Исследование дефектоскопических характеристик системы «цифровой матричный детектор МТЛ — острофокусный рентгеновский аппарат» // II Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. Программа и материалы конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2015. С. 18–23.
5. Багаев К.А., Спирков А.Б., Козловский С.С. Компьютерная радиография как альтернатива технологии с использованием радиографической пленки // В мире неразрушающего контроля. 2013. № 4 (62). С. 65–70.
6. ISO 17636-2:2013 (E). Non-destructive testing of welds. Radiography testing. Part 2. X- and gamma-ray techniques with digital detectors. 2013, ISO. 52 p.
7. 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. ISO. 3 p.
8. Norman K. Understanding image sharpness. Part 1. Introduction to resolution and MTF curves // Norman Koren.
URL: <http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF.html> (дата обращения: 17.02.2017).
9. Зуев В.М., Табакман Р.Л., Удралов Ю.И. Радиографический контроль сварных соединений. СПб.: Энергоатомиздат, 2001. 148 с.
10. Дмоховский В.В. Основы рентгенотехники. М.: Медгиз, 1960. 352 с.
11. ГОСТ 20426–82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения. М.: Изд-во стандартов, 1982. 25 с.
12. Коннов В.В., Добромислов В.А., Соснин Ф.Р. Типовые методики радиационно-дефектоскопического контроля // www.viam.ru: веб-сайт.
URL: <http://viam.ru/public/files/1998/1998-2:02653.pdf> (дата обращения: 13.03.2017).
13. Гнедин М.М., Галкин Д.И., Быстрова Н.А., Усачев Е.Ю. Оценка качества сварных соединений технологических трубопроводов по результатам радиографического контроля в соответствии с ПБ 03-585-03 // www.ndtgrad.ru: веб-сайт.
URL: <http://ndtgrad.ru> (дата обращения: 12.03.2017).
14. Гнедин М.М., Галкин Д.И. Практика радиографического контроля сварных соединений технологических трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2011. № 7. С. 14–18.

15. Степанов А.В., Косарина Е.И., Саввина Н.А. Разработка методики по испытанию радиографических пленок с целью определения целесообразности их применения в дефектоскопии // www.viam.ru: веб-сайт. URL: <https://viam.ru/public/files/2011/2011-205840.pdf> (дата обращения: 13.03.2017).

Жуков Андрей Дмитриевич — аспирант кафедры «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Галкин Денис Игоревич — канд. техн. наук, генеральный директор ООО «ИКБ «Градиент» (Российская Федерация, 108811, Москва, Киевское шоссе, 22-й км (пос. Московский), д. 4, стр. 5).

Иванайский Евгений Анатольевич — канд. техн. наук, доцент Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (Российская Федерация, 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Жуков А.Д., Галкин Д.И., Иванайский Е.А. К вопросу о замене радиографической пленки на цифровые детекторы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2018. № 1. С. 47–56. DOI: 10.18698/0236-3941-2018-1-47-56

ON REPLACEMENT OF RADIOGRAPHIC FILM WITH DIGITAL DETECTORS

A.D. Zhukov¹

adz2012@yandex.ru

D.I. Galkin²

digalkin@inbox.ru

E.A. Ivanayskiy³

ndt_sib@mail.ru

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

² Engineering and Consulting Bureau Gradient LLC, Moscow, Russian Federation

³ Polzynov Altai State Technical University, Barnaul, Altai Region, Russian Federation

Abstract

The article introduces a new approach to traditional radiography: we suggest replacing it with digital detectors. According to the experimental data, the most reliable and the easiest way to do it is to use spatial basic resolution (SR_b) as an image quality parameter. Findings of the research show that the greater the value of SR_b , the less influence on the quality of the resulting image is caused by such factors as imperfection of technology and controls, and the closer the visible image to the radiation analogue. We suggest using SR_b parameter at specific object testing because the digital detector image has the same image quality and the same data content as provided by traditional radiographic method at the X-ray film. Novelty of this research work is that this replacement is based on the assessment of SR_b value, which could be defined by duplex wire image quality parameter used

Keywords

Digital radiography, spatial basic resolution, duplex wire image quality identifier, unsharpness, contrast ratio, replacement of traditional radiography with digital detectors

during the test. We suggest using it when monitoring a particular object, since the resulting digital image is as informative (as its analog on a film). These techniques will help not only to decrease testing time and reduce economic costs of testing but also to increase and improve image quality and safety of testing operations

Received 23.03.2017
© BMSTU, 2018

REFERENCES

- [1] GOST 7512–82. Kontrol' nerazrushayushchiy. Soedineniya svarnye. Radiograficheskiy metod [State standard 7512–82. Nondestructive testing. Welded joints. Radiography method]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1982. 19 p.
- [2] Aleshin N.P., Galkin D.I. A method for increasing the objectivity of the interpretation of weld radiographs. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 141–145. DOI: 10.1134/S1061830916030025
Available at: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1061830916030025>
- [3] Ewert U., Zscherpel U., Bavendiek K. Replacement of film radiography by digital techniques and enhancement of image quality. Berlin, BAM Federal Institute for Materials Research and Training, 2007. 14 p.
- [4] Usachev E.Yu., Usachev V.E., Gnedin M.M. Flaw-detective characteristics research of "MTL digital matrix detector — LLF X-ray apparatus" system. II *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya proizvoditeley rentgenovskoy tekhniki. Programma i materialy konferentsii* [II Russ. sci.-practice conf. of X-ray technique manufacturers. Proceedings]. Sankt-Petersburg, SPbGETU LETI Publ., 2015, pp. 18–23 (in Russ.).
- [5] Bagaev K.A., Spirkov A.B., Kozlovskiy S.S. Computer radiography as alternative to conventional radiographic film technology. *V mire nerazrushayushchego kontrolya*, 2013, no. 4 (62), pp. 65–70 (in Russ.).
- [6] ISO 17636-2:2013 (E). Non-destructive testing of welds. Radiography testing. Part 2. X- and gamma-ray techniques with digital detectors. 2013, ISO. 52 p.
- [7] 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. ISO. 3 p.
- [8] Norman K. Understanding image sharpness. Part 1. Introduction to resolution and MTF curves. Norman Koren.
Available at: <http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF.html> (accessed: 17.02.2017).
- [9] Zuev V.M., Tabakman R.L., Udralov Yu.I. Radiograficheskiy kontrol' svarnykh soedineniy [Radiographic control of joint weld]. Sankt-Petersburg, Energoatomizdat Publ., 2001. 148 p.
- [10] Dmokhovskiy V.V. Osnovy rentgenotekhniki [Fundamentals of X-ray engineering]. Moscow, Medgiz Publ., 1960. 352 p.
- [11] GOST 20426–82. Kontrol' nerazrushayushchiy. Metody defektoskopii radiatsionnye. Oblast' primeneniya [State standard 20426–82. Nondestructive testing. Methods of defectoscopy radiation. Field of application]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1982. 25 p.
- [12] Konnov V.V., Dobromyslov V.A., Sosnin F.R. Tipovye metodiki radiatsionno-defektoskopicheskogo kontrolya [Typical methods of radiation flaw-detective monitoring]. www.viam.ru: website (in Russ.).
Available at: <http://viam.ru/public/files/1998/1998-2:02653.pdf> (accessed: 13.03.2017).

[13] Gnedin M.M., Galkin D.I., Bystrova N.A., Usachev E.Yu. Otsenka kachestva svarynykh soedineniy tekhnologicheskikh truboprovodov po rezul'tatam radiograficheskogo kontrolya v sootvetstvii s PB 03-585-03 [Quality assessment of industrial pipeline welded joints based on radiographic control in accordance to PB 03-585-03]. www.ndtgrad.ru: website (in Russ.). Available at: <http://ndtgrad.ru> (accessed: 12.03.2017).

[14] Gnedin M.M., Galkin D.I. Radiographic control practice of industrial pipelines welded joints. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Occupational Safety in Industry], 2011, no. 7, pp. 14–18 (in Russ.).

[15] Stepanov A.V., Kosarina E.I., Savvina N.A. Razrabotka metodiki po ispytaniyu radiograficheskikh plenok s tsel'yu opredeleniya tselesoobraznosti ikh primeneniya v defektoskopii [Method development of radiographic films testing with the purpose of their applicability determination in nondestructive testing]. www.viam.ru: website (in Russ.). Available at: <https://viam.ru/public/files/2011/2011-205840.pdf> (accessed: 13.03.2017).

Zhukov A.D. — post-graduate student, Department of Welding and Diagnostics Technologies, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Galkin D.I. — Cand. Sc. (Eng.), general director, ECB Gradient LLC (22th km of Kiev shosse (Moskovskiy) 4, str. 5, Moscow, 108811 Russian Federation).

Ivanayskiy E.A. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Polzunov Altai State Technical University (Lenina prospekt 46, Barnaul, Altai Region, 656038 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Zhukov A.D., Galkin D.I., Ivanayskiy E.A. On Replacement of Radiographic Film with Digital Detectors. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2018, no. 1, pp. 47–56 (in Russ).

DOI: 10.18698/0236-3941-2018-1-47-56