

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-6-37-41>

РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМАХ ГОСТ И ISO

© **Екатерина Ивановна Косарина***, **Наталья Александровна Михайлова**, **Ольга Александровна Крупнина**,
Александр Александрович Демидов

Всероссийский НИИ авиационных материалов, Россия, 105005, Москва, ул. Радио, д. 17;

*e-mail: ekaterina-kosar@mail.ru

*Статья поступила 29 августа 2018 г. Поступила после доработки 18 марта 2019 г.
Принята к публикации 20 марта 2019 г.*

Представлены результаты сравнения режимов, параметров и средств при радиографическом контроле сварных соединений ответственного назначения с использованием российского (ГОСТ) и международного (ISO) стандартов. Сравнение проводили по таким параметрам, как чувствительность и производительность контроля, допустимая энергия излучения (влияет на формирование контраста радиационного изображения) и минимальное фокусное расстояние (определяет четкость получаемого оптического изображения). Установили, что в системе ISO требования по чувствительности выше. При этом она оценивается с использованием проволоочного индикатора, размеры элементов которого меньше, чем размеры канавок канавочного эталона чувствительности, регламентированного ГОСТ. По выбору энергии излучения в системе ГОСТ требования строже, чем по ISO. Это обеспечивает повышенную контрастность формируемого радиационного изображения. Преобразование радиационного изображения в оптическое по системе ISO осуществляется с использованием пленочных систем высокого класса оптической плотности. Как следствие, изображение преобразовывается в области больших градиентов. По ГОСТ требование по пленочным системам отсутствует, поскольку на рынке представлена отечественная пленка лишь одного класса. По минимально допустимому фокусному расстоянию требования по российскому стандарту выше, что дает возможность получать лучшую, чем по ISO, четкость радиографических снимков. Производительность контроля по ГОСТ также превышает аналогичный показатель по ISO. В итоге можно заключить, что несмотря на ряд отличий, обе системы стандартов гарантированно позволяют обнаруживать недопустимые дефекты, однако контролировать сварные соединения следует с использованием всего комплекса принятых нормативов.

Ключевые слова: радиографический контроль; чувствительность; индикаторы качества изображения; эталоны чувствительности; радиационный и оптический контраст; геометрическая нерезкость.

X-RAY CONTROL OF WELDED JOINTS ACCORDING TO GOST AND ISO SYSTEMS

© **Ekaterina I. Kosarina***, **Natalya A. Mikhaylova**,
Olga A. Krupnina, Aleksandr A. Demidov

VIAM, ul. Radio 17, Moscow, 105005, Russia; *e-mail: ekaterina-kosar@mail.ru

Received August 29, 2018. Revised March 18, 2019. Accepted March 20, 2019.

The results of comparative analysis of assessing modes, parameters and means of radiographic control of welded joints of critical duty using the Russian (GOST) and international (ISO) standards are presented. Comparison was carried out by the sensitivity of control, permissible radiation energy (affecting the formation of the contrast of the radiation image), and minimum focal length (determining the sharpness of the resulting optical image). Requirements of the ISO system for the sensitivity of control are higher, than that of the State standard specification system. The sensitivity assessment in the ISO system is carried out using the wire indicator, the dimensions of which are smaller than the dimensions of the grooves of the groove sensitivity standard, regulated by GOST. However, the choice of the radiation energy in the system requirements GOST is stricter than that in the ISO system. This provides enhanced contrast of the generated radiation image. The conversion of the radiation image into an optical one using the ISO system is carried out using film systems of a high optical density. According to the ISO requirements transformation of the radiation image to the optical one is to be carried out using film systems of the certain class. And, as a result, transformation of the radiation image to the optical occurs in the field of high gradients. GOST imposes no requirement to film systems, since there is the only one class of domestic film on the market.

The requirements to the minimum allowable focal length (GOST) are higher compared to the ISO system, which makes it possible to obtain better sharpness of radiographic images. Performance monitoring according to GOST also exceeds that of ISO. As a result, we can conclude that the quality welded joints should be monitored using the complete set of the accepted standards.

Keywords: radiographic control; sensitivity; image quality indicators; sensitivity standards; radiation and optical contrast; geometrical haziness.

Введение

Безопасность эксплуатации авиационной техники определяется отсутствием дефектов в ее узлах и деталях [1, 2]. Поскольку невозможно создать абсолютно бездефектную продукцию, особо ответственные изделия подвергают полному контролю. При этом, как правило, используют неразрушающие методы, среди которых широко распространен рентгенографический контроль [3, 4].

Выявляемость дефектов рентгенографическим методом в большой степени зависит от режимов, параметров и применяемых средств контроля. Вместе с тем существующая система стандартов по радиационным методам неразрушающего контроля (НК) в настоящее время требует дальнейшего совершенствования, в том числе и потому, что существенно повысились требования к качеству выпускаемой продукции [5].

Сейчас в России действует система государственных стандартов по радиационному контролю сварных соединений [7–9]. Предусмотрено введение в действие международного стандарта ISO 17636-1-2017 [6].

Цель работы — сравнение регламентов радиографического контроля ответственных изделий (авиационной техники, включая узлы и агрегаты авиационных двигателей, и др.) по системам ГОСТ и ISO.

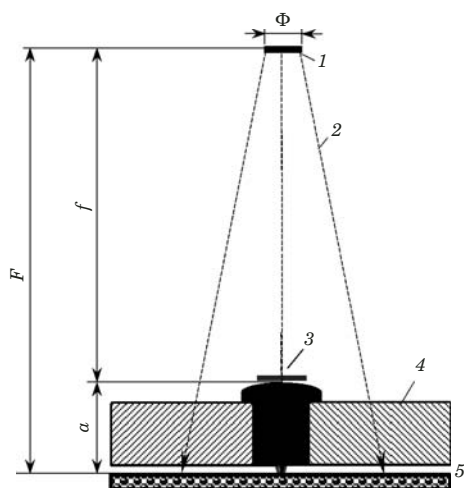


Рис. 1. Схема контроля: 1 — ИИ; 2 — рентгеновское излучение; 3 — ИКИ (ЭЧ); 4 — ОК; 5 — кассета с радиографической пленкой (Φ — фокусное пятно ИИ; F , f , a — расстояния ИИ — пленка, ИИ — ОК и ОК — пленка)

Сравнение режимов, параметров и средств контроля

Качество радиографического контроля зависит от его чувствительности — минимального дефекта, видимого на снимке. По величине допустимого дефекта в системе ГОСТ регламентированы три класса чувствительности. Контроль по 1-му классу требует наибольшей чувствительности и распространяется на объекты ответственного назначения. В системе ISO качество регламентировано двумя классами: *A* и *B* (по классу *B* контролируют особо ответственные изделия, все остальные — по классу *A*). Для оценки чувствительности в системе ГОСТ используют эталоны чувствительности (ЭЧ), в ISO — индикаторы качества изображения (ИКИ).

Далее сравнительный анализ режимов, параметров и средств контроля объектов ответственного назначения приведен по 1-му классу (ГОСТ) и классу *B* (ISO) чувствительности.

Схема контроля. Основной документ при экспонировании изделий — технологическая карта контроля (ТКК). Ее разработку начинают с выбора схемы контроля — относительного расположения источника излучения (ИИ), объекта контроля (ОК), радиографической пленки и ЭЧ (ИКИ) [10].

На рис. 1 приведена схема контроля ОК из железа «через одну стенку» (ИКИ (ЭЧ) расположен со стороны источника излучения).

Данные по чувствительности контроля соединений по ГОСТ и ISO приведены в табл. 1.

Анодное напряжение. На рис. 2 приведена зависимость анодного напряжения от толщины ОК вдоль оси пучка излучения. Видно, что анодное напряжение по ГОСТ значительно ниже. Это значит, что радиационное изображение, формируемое за ОК при экспонировании, будет иметь более высокий радиационный контраст K_p , находящийся в пропорциональной зависимости от линейного коэффициента ослабления μ [11]. В табл. 2 приведены значения μ_{Fe} в зависимости от анодного напряжения для железного ОК толщиной 3–20 мм.

Видно, что требования по ISO приводят к потере радиационного контраста.

Фокусное расстояние F (расстояние от источника до преобразователя — кассеты с радиографической пленкой) (см. рис. 1) определяет гео-

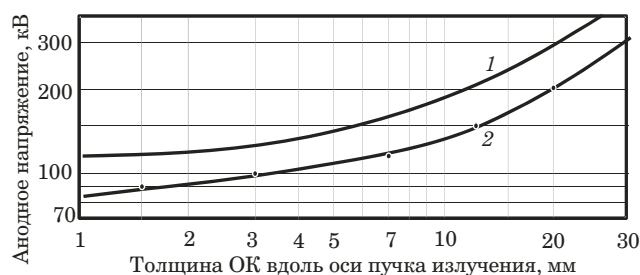


Рис. 2. Зависимость анодного напряжения от толщины ОК вдоль оси пучка излучения: 1 — ISO; 2 — ГОСТ

метрическую нерезкость u_r радиационного изображения и производительность контроля.

Для получаемого изображения

$$u_r = \frac{\Phi a}{F - a} = \frac{\Phi a}{f}.$$

По ГОСТ геометрическая нерезкость не должна превышать половины чувствительности контроля k . Учитывая, что минимальное фокусное расстояние $F_{\min} = f_{\min} + a$, при $u_r = k/2$

$$f_{\min} = \frac{2\Phi}{k} a.$$

По ISO $f_{\min}$ определяется соотношением $f_{\min}/\Phi = 15a^{2/3}$ и номограммой (рис. 3).

В табл. 3 приведены значения $f_{\min}$, рассчитанные для толщин ОК 5 – 20 мм при экспонировании ИИ с фокусным пятном $\Phi = 5,5$ мм.

Видно, что по ГОСТ минимальные фокусные расстояния выше, чем по ISO, следовательно, радиационное изображение, формируемое при экспонировании изделий по ГОСТ, будет иметь меньшую геометрическую нерезкость.

Производительность экспонирования. Поле контроля — площадь, которая при экспонировании получает одинаковую дозу излучения. Она соответствует площади круга диаметром $D = \sqrt{2F/3}$ (рис. 4).

ОК должен полностью располагаться в поле контроля. Если ОК превышает размеры поля, то

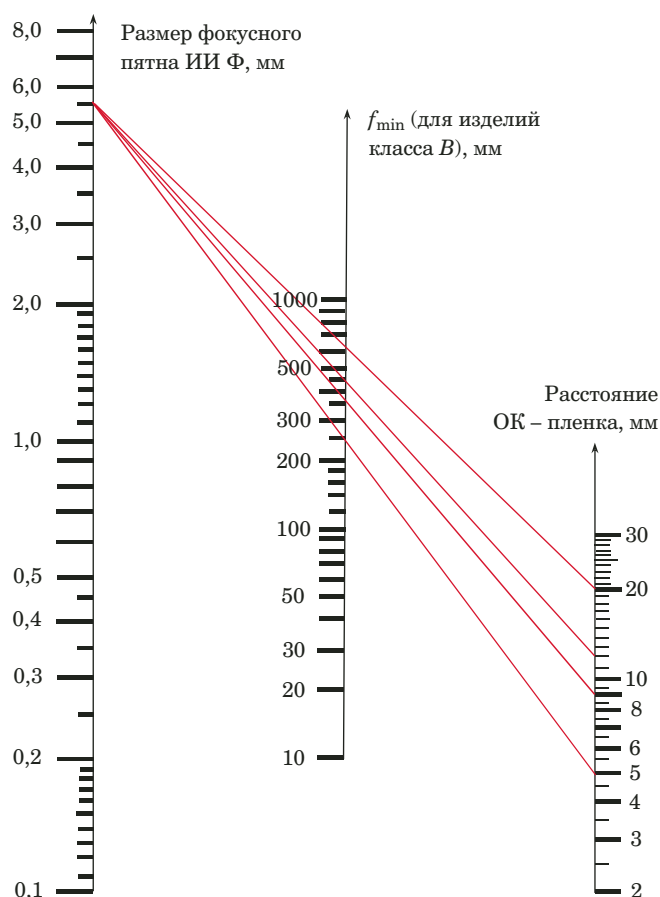


Рис. 3. Номограмма для определения $f_{\min}$ для изделий класса B (ISO)

его разбивают на участки и проводят их последовательное экспонирование. Чем больше фокусное расстояние, тем больше размер поля и меньше количество участков. При этом производительность контроля возрастает, несмотря на то, что при большом фокусном расстоянии продолжительность экспонирования увеличивается. Временные затраты на контроль складываются из собственно продолжительности экспонирования $t_{\text{эксп}}$, длительности подготовки ОК к экспонированию $t_{\text{подг}}$ и установки его в положение просвечивания, а также установки ограничи-

Таблица 1. Абсолютная чувствительность, по ГОСТ и ISO

Радиационная толщина в месте установки ЭЧ (ИКИ), мм	Абсолютная чувствительность, мм	
	ГОСТ	ISO
До 1,5	0,1	0,05
1,5 – 2,5	0,1	0,063
2,5 – 4,0	0,1	0,08
4,0 – 6,0	0,1	0,10
6,0 – 8,0	0,2	0,125
8,0 – 12	0,2	0,16
12 – 20	0,3	0,20
20 – 30	0,4	0,25

Таблица 2. Значения линейного коэффициента ослабления μ_{Fe} в зависимости от анодного напряжения

Толщина ОК из железа, мм	ГОСТ		ISO	
	Минимальное значение анодного напряжения, кВ	μ_{Fe} , см ⁻¹	Минимальное значение анодного напряжения, кВ	μ_{Fe} , см ⁻¹
3	80	9,42	110	6,00
6	120	4,67	150	2,92
9	140	3,25	180	2,20
12	150	2,92	200	1,95
20	200	1,95	280	1,25

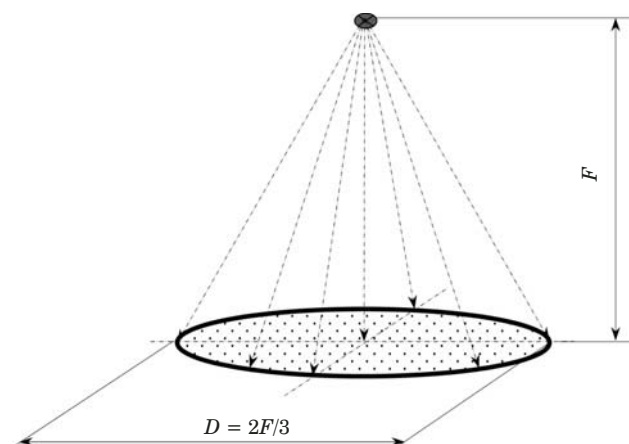


Рис. 4. Поле контроля

тельных меток, знаков, ЭЧ (ИКИ), кассеты с радиографической пленкой. При расчете трудоемкости принято считать, что $t_{\text{подг}} = (3 - 6)t_{\text{эксп}}$. Сравнение производительности контроля по ГОСТ и ISO показывает, что в первом случае она выше.

Таблица 3. Минимальное расстояние ИИ — ОК, мм, по ГОСТ и ISO

Толщина ОК из железа, мм	ГОСТ	ISO
5	550	225
9	495	350
12	660	425
20	733	600

Таблица 4. ПС, используемые при радиографическом контроле по ISO

Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	Толщина ОК из железа, мм	Класс ПС
До 100	До 1,0	С3
100 – 150	1,0 – 6,5	С3
150 – 250	6,5 – 18	С4

Таблица 5. Размеры предельно допустимых дефектов для сварных соединений

Толщина свариваемых элементов, мм	Диаметр поры (включения), мм		Суммарная длина дефектов на любые 100 мм сварного соединения, мм	
	ГОСТ	ISO	ГОСТ	ISO
До 3,0	0,2	≤0,6	2,0	≤3,0
3,0 – 5,0	0,3	0,6 – 1,0	3,0	≤3,0
5,0 – 8,0	0,4	1,0 – 1,6	4,0	≤3,0
8,0 – 11	0,5	1,6 – 2,2	5,0	≤3,0
11 – 14	0,6	2,2 – 2,8	6,0	≤3,0
14 – 20	0,8	2,8 – 4,0	8,0	≤3,0
20 – 26	1,0	4,0 – 5,2	10,0	≤3,0

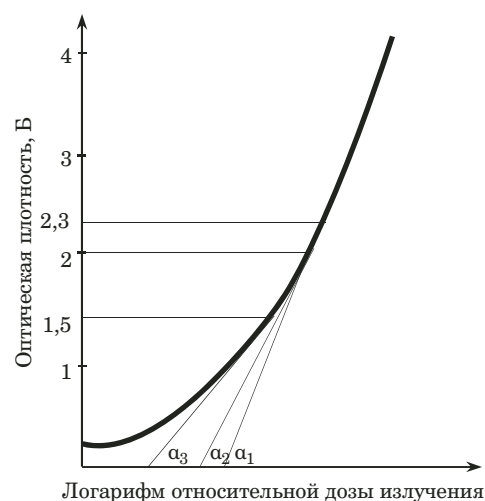


Рис. 5. Характеристическая кривая радиографической пленки

Пленочные системы. Пленочная система (ПС) по ISO представлена шестью классами (С1 – С6): от высокой контрастности (С1) до повышенной чувствительности к излучению (С6). Свойства ПС определяются зависимостью оптической плотности от логарифма дозы излучения — характеристической кривой. При этом показатель контрастности ПС (градиент g) — тангенс угла наклона α характеристической кривой к оси абсцисс при заданной оптической плотности (рис. 5). Чем выше оптическая плотность, тем выше g .

Контраст оптического изображения K_o связан с градиентом ПС g соотношением [12]

$$K_o = K_p g,$$

где K_p — контраст радиационного изображения.

Отсюда следует, что изображения на рентгенограммах с повышенной оптической плотностью обладают лучшим оптическим контрастом, поскольку градиент ПС g растет с увеличением оптической плотности.

По требованиям ISO оптическая плотность радиографических снимков должна составлять не менее 2,3 Б. Помимо этого, стандарт регламентирует при контроле использовать высококонтрастные ПС классов С3 и С4 (табл. 4) [13]. Градиент ПС составляет: $g_{2,3(C3)} = 5,22$ и $g_{2,3(C4)} = 5,22$.

ГОСТ не регламентирует класс ПС. При контроле во всем диапазоне анодных напряжений применяют радиографическую пленку РТ5Д, соответствующую классу С4 [14]. Минимальная допустимая оптическая плотность рентгенограмм составляет 1,5 Б, градиент ПС $g_{1,5(C4)} = 3,63$.

Таким образом, при контроле по ISO для класса С3 контраст оптического изображения возрастает в 1,46, а для С4 — в 1,41 раза.

Допустимость дефектов. В табл. 5 приведены размеры предельно допустимых дефектов для сварных соединений по ГОСТ и ISO [15].

Заключение

Проведенные исследования по сравнению систем стандартов ГОСТ и ISO при радиографическом НК сварных соединений ответственных изделий показали, что несмотря на ряд отличий в выборе режимов, параметров и средств контроля обе системы близки и гарантируют обнаружение недопустимых дефектов. Необходимо, однако, отметить, что осуществлять НК следует с учетом всего комплекса принятых нормативных документов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каблов Е. Н.** Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» / *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1. С. 3 – 33.
2. **Каблов Е. Н.** Ключевая проблема — материалы. / *Тенденции и ориентиры инновационного развития России*. — М.: ВИАМ, 2015. С. 458 – 464.
3. **Каблов Е. Н.** Материалы нового поколения — основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России / *Интеллект и технологии*. 2016. № 2(14). С. 16 – 21.
4. **Оспенникова О. Г., Лукин В. И., Афанасьев-Ходыкин А. Н. и др.** Перспективные разработки в области высокотемпературной пайки жаропрочных сплавов / *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 144 – 158.
5. **Оспенникова О. Г.** Итоги реализации стратегических направлений по созданию нового поколения жаропрочных литейных и деформируемых сплавов и сталей за 2012 – 2016 гг. / *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 17 – 23.
6. ISO 17636-1-2013. Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Ч. 1. Методики рентгено- и гаммаграфического контроля с применением пленки. — М.: Стандартинформ, 2018. — 34 с.
7. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод Государственные и международные стандарты в области неразрушающего контроля. — М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004.
8. ГОСТ 20426-82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения. — М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004.
9. ГОСТ 23055-78. Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля. — М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004.
10. **Степанов А. В., Косарина Е. И., Евтюхова О. С. и др.** Алгоритм разработки технологических карт радиографического контроля в соответствии с европейскими нормами EN / *Контроль. Диагностика*. 2013. № 2. С. 27 – 32.
11. **Демидов А. А., Степанов А. В., Турбин Е. М. и др.** О режимах рентгеновского контроля, обеспечивающих формирование радиационных изображений с заданным контрастом / *Авиационные материалы и технологии*. 2016. № 4. С. 80 – 85.
12. **Добромислов В. А.** Радиационные методы неразрушающего контроля. — М.: Машиностроение, 1999. — 104 с.
13. **Степанов А. В., Косарина Е. И., Саввина Н. А.** Сравнение требований рентгеновского контроля и качества рентгенографических снимков в европейских нормах и российских стандартах / *Вестник МЭИ*. 2011. № 4. С. 85 – 89.
14. **Косарина Е. И., Степанов А. В., Саввина Н. А.** Радиографические технические пленки РТ-К и РТ-7Г. Результаты их испытания / *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 1. С. 37 – 42.
15. ISO 10675-2008. Неразрушающий контроль сварных швов — уровни приемки для радиографического контроля. Ч. 1. Сталь, никель титан и их сплавы. — М.: Стандартинформ, 2016. — 16 с.

REFERENCES

1. **Kablov E. N.** Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation “The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030” / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2015. N 1. P. 3 – 33 [in Russian].
2. **Kablov E. N.** Key problem — materials / *Tendencies and reference points of innovative development of Russia is pollard*. — Moscow: VIAM, 2015. P. 458 – 464 [in Russian].
3. **Kablov E. N.** Material of new generation — basis of innovations, technological leadership and national security of Russia / *Intell. Tekhnol.* 2016. N 2(14). P. 16 – 21 [in Russian].
4. **Ospennikova O. G., Lukin V. I., Afanasyev-Hodykin A. N., et al.** Perspective development in the field of the high-temperature soldering of hot strength alloys / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2017. N S. P. 144 – 158 [in Russian].
5. **Ospennikova O. G.** Results of implementation of the strategic directions on creation of new generation of heat resisting cast and deformable alloys and staly for 2012 – 2016 / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2017. N S. P. 17 – 23 [in Russian].
6. State Standard GOST ISO 17636-1-2017. Nondestructive control of welded connections. Radiographic control. — Moscow: Standartinform, 2018. — 34 p. [in Russian].
7. State Standard GOST 7512-82. Control nondestructive. Connections welded. Radiographic method the State and international standards in the field of non-destructive testing. — Moscow: Nauchno-tekhnicheskii tsentr po besopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii, 2004 [in Russian].
8. State Standard GOST 20426-82. Control nondestructive. Defectoscopic methods radiation. Scope. — Moscow: Nauchno-tekhnicheskii tsentr po besopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii, 2004 [in Russian].
9. State Standard GOST 23055-78. Control nondestructive. Welding of metals by melting. Classification of welded connections by results of radiographic control. — Moscow: Nauchno-tekhnicheskii tsentr po besopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii, 2004 [in Russian].
10. **Stepanov A. V., Kosarina E. I., Evtyukhova O. S., et al.** Algorithm of development of technological cards of radiographic control according to the European norms of EN / *Kontrol. Diagnostika*. N 2. 2013. P. 27 – 32 [in Russian].
11. **Demidov A. A., Stepanov A. V., Turbin E. M., et al.** About the modes of the x-ray control providing forming of radiation images with set contrast / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2016. N 4. P. 80 – 85 [in Russian].
12. **Dobromyslov V. A.** Radiation methods of non-destructive testing. — Moscow: Mashinostroenie, 1999. — 104 p. [in Russian].
13. **Stepanov A. V., Kosarina E. I., Savvina N. A.** Comparison of requirements of X-ray control and quality of radiographic pictures in the European norms and the Russian standards / *Vestnik MEI*. 2011. N 4. P. 85 – 89 [in Russian].
14. **Kosarina E. I., Stepanov A. V., Savvina N. A.** Radiographic technical films of RT-K and RT-7G. Results of their testing / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2012. N 1. P. 37 – 42 [in Russian].
15. ISO 10675-2008. Non-destructive testing of welded seams — acceptance levels for radiographic control. P 1. Steel, nickel titanium and their alloys. — Moscow: Standartinform, 2016. — 16 p. [in Russian].