



13. *Новий підхід до визначення фізико-механічних параметрів сталей неруйнівними методами / О. М. Карпаш, І. А. Молодецький, І. С. Кісіль, М. О. Карпаш // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. — 2004. — Вип. 9. — С. 80–86.*
14. *Карпаш М. О. Обрунтування комплексного підходу до визначення фізико-механічних характеристик матеріалу металоконструкцій // Методи та прилади контролю якості. — 2004. — № 12. — С. 30–33.*
15. *Кісіль І. С., Карпаш М. О., Ващишак І. Р. Прилад для контролю фізико-механічних характеристик сталей ФМХ-1 // Те саме. — 2005. — № 14. — С. 77–80.*
16. *Эксплуатационная долговечность нефтепроводов / В. В. Курочкин, Н. А. Малюшин, О. А. Степанов, А. А. Мороз. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. — 231 с.*
17. *Гумеров А. Г., Гумеров Р. С., Гумеров К. М. Безопасность длительно эксплуатируемых магистральных нефтепроводов. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. — 310 с.*
18. *Тацакович Н. Л., Карпаш О. М., Карпаш М. О. Экспериментальне дослідження можливості визначення ударної в'язкості неруйнівним методом // Мат. 14-ї Міжн. наук.-техн. конф. ЛЕОТЕСТ-2009 «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів». — Славське, 2009. — С. 100.*

Ів.-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу

Надійшла до редакції
27.05.2009

УДК 620.112.14

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЭКРАНОВ И ПЗС-КАМЕР С НАКОПЛЕНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. А. ТРОИЦКИЙ, Н. Г. БЕЛЫЙ, В. Н. БУХЕНСКИЙ, А. В. ЛЕЩИШИН, С. Р. МИХАЙЛОВ, Н. В. СЛОБОДЯН

Предложена усовершенствованная методика расчета относительной чувствительности контроля рентгенотелевизионных систем на основе рентгеновских экранов и ПЗС-камер, которая учитывает пространственную фильтрацию изображений в системе. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований цифровой рентгенотелевизионной системы на основе рентгеновского монокристаллического экрана CsI(Tl) и ПЗС-камеры, работающей в режиме регулируемой длительности накопления изображений на матрице.

The advanced method of calculation relative sensitivity of the testing X-ray television systems on the basis of the X-ray screen and CCD-cameras, which considers a spatial filtration of images in system, is proposed. Results of theoretical and experimental researches for digital X-ray television systems on the basis of the X-ray monocrystal screen CsI(Tl) and the CCD-cameras, operated in a mode of adjustable duration of accumulation of images on a matrix, are given.

Рентгенотелевизионные системы (РТВС) эффективно применяются для неразрушающего контроля (НК) качества материалов и изделий в промышленности. Такие системы имеют преимущества как перед пленочной, так и перед беспленочной рентгенографией (комплекс «ФОСФОМАТИК») в отношении производительности и стоимости контроля. В отличие от рентгенографии РТВС позволяют также контролировать объекты как в статике, так и в динамике. Наиболее распространены в настоящее время РТВС с промежуточным преобразованием теневого рентгеновского изображения в оптическое с помощью рентгеновских экранов или рентгеновских электронно-оптических преобразователей (РЭОП). РТВС с рентгеновскими экранами имеют ряд преимуществ перед РТВС на основе РЭОП: возможность смены рентгеновского экрана, что позволяет изменять размер рабочего поля и другие параметры РТВС; простота конструкции; низкая стоимость и др. Однако низкая яркость свечения экранов требует применения

в телевизионных камерах таких РТВС высокочувствительных преобразователей свет–сигнал.

Благодаря матрицам на приборах с зарядовой связью (ПЗС-матриц) появилась возможность использовать их в РТВС в качестве преобразователей свет–сигнал. ПЗС-матрицы оказываются более предпочтительными по сравнению с передающими электронно-лучевыми трубками благодаря компактности, минимальным геометрическим искажениям за счет фиксированной геометрии раstra, отсутствию инерционности и большому сроку службы. В последние годы фирмой «Sony» разработана серия ПЗС-матриц, в которой высокая чувствительность, соизмеримая с чувствительностью таких высокочувствительных передающих трубок, как изокон и супервидикон, достигается за счет микролинзового массива на поверхности матрицы (так называемые матрицы EXview HAD CCD). РТВС на основе таких телевизионных ПЗС-камер совместно с рентгеновскими экранами могут эффективно применяться для НК подвижных объектов, обеспечивая относи-



тельную чувствительность контроля 1,7...2,5% в широком диапазоне толщины стали [1].

Дальнейшее улучшение относительной чувствительности контроля РТВС возможно за счет перевода ПЗС-матриц в режим регулируемой длительности накопления изображений. В этом режиме теневого рентгеновского изображение контролируемого объекта преобразуется в оптическое с помощью рентгеновского экрана и накапливается на протяжении определенного времени на ПЗС-матрице телевизионной камеры (накопление происходит за счет прекращения считывания зарядов в элементах матрицы). После окончания накопления изображение считывается из матрицы за один кадр и запоминается в устройстве памяти телевизионной камеры, откуда оно выводится на монитор, а также вводится в компьютер для обработки и архивирования. В связи с этим актуальными являются теоретические и экспериментальные исследования РТВС в режиме регулируемой длительности накопления изображений в ПЗС-камере.

Теоретические и экспериментальные исследования. В качестве объекта исследований выбрана разработанная новая цифровая компьютеризированная РТВС на основе монокристаллического рентгеновского экрана из материала CsI(Tl) диаметром 200 мм с телевизионной камерой на матрице EXview HAD CCD фирмы «Sony» типа ICX429ALL формата 1/2" (размер диагонали 8 мм) с количеством активных светочувствительных элементов 752×582 [2]. Камера работает как в вещательном стандарте разложения изображения (625 строк, 25 кадров/с, развертка чересстрочная), так и в режиме регулируемой длительности накопления изображений на ПЗС-матрице (продолжительность накопления до 2048 кадров, длительность кадра 40 мс). Камера оснащена вариообъективом Computar T4Z2813 с относительным отверстием 1:1,3 и фокусным расстоянием 2,8...12 мм. Для переноса изображения с рентгеновского экрана на вход телевизионной камеры используется угловая оптическая приставка с зеркалом.

Изображение контролируемого объекта наблюдается на 17" мониторе типа HITRON HM1723С. Для ввода изображений в компьютер используется высокоскоростное устройство ввода через интерфейс USB 2.0, которое обеспечивает возможность наблюдения и записи изображений на компьютере в реальном времени (частота кадров 50 Гц, формат кадра 720×576). Имеется также возможность записи в компьютер отдельных кадров изображения с высоким разрешением в формате 1440×1152. Управление всеми режимами телевизионной камерой (длительность накопления на ПЗС-матрице, коэффициент усиления видеосигнала, уровень черного и др.) осуществляется с компьютера через интерфейс RS-232.

Для просвечивания контролируемых объектов использовали новый рентгеновский аппарат «ЭКСТРАВОЛЬТ-350» производства ЗАО «ТЕСТ-РОН» (г. Санкт-Петербург, Россия) с двухфокусной металлокерамической рентгеновской трубкой MB 350 фирмы «Tales Electron Devices» (Франция). Для контроля были применены соединенные сваркой стальные пластины толщиной 10, 20 и 30 мм. Измерение относительной чувствительности контроля выполняли с помощью канавочных (Fe-1, Fe-2) и проволоочных (Fe-2 и Fe-3) эталонов чувствительности. Стальные пластины с эталонами чувствительности размещали в непосредственной близости у экрана. Расстояние между анодом рентгеновской трубки и экраном составляло 350 мм.

В работе [1] предложена методика теоретического расчета относительной чувствительности контроля РТВС, которая обеспечивает удовлетворительное согласование рассчитанных значений и экспериментальных данных для канавочных эталонов чувствительности. Однако для проволоочных эталонов теоретическая чувствительность, рассчитанная по предложенной методике, оказывается несколько выше по сравнению с чувствительностью, измеренной экспериментально. Это объясняется тем, что при расчетах не учитывалась пространственная фильтрация изображений в РТВС, которая оказывает наибольшее влияние на снижение чувствительности именно для проволоочных эталонов. Поэтому методика [1] была усовершенствована путем учета пространственно-частотных характеристик (ПЧХ) узлов, входящих в РТВС (рентгеновского экрана, схемы формирования теневого рентгеновского изображения контролируемого объекта, ПЗС-камеры).

Относительная чувствительность контроля РТВС определяет наименьший в направлении просвечивания относительный размер исследуемого объекта, выявляемый данной системой, и определяется для случая использования проволоочного эталона по формуле: $K_d = (d/H_{kz}) \cdot 100\%$, где d — наименьший диаметр выявленной проволоки; H_{kz} — толщина контролируемого объекта.

Как показано в работе [1], дефект может быть с некоторой вероятностью обнаружен, если его яркостный контраст k_B превышает (в предельном случае равен) пороговому контрасту $k_{пор}$. Поэтому для определения минимального размера дефекта, который может быть обнаружен системой, необходимо построить зависимости яркостного и порогового контрастов от размера дефекта и найти их точку пересечения.

Для определения k_B и $k_{пор}$ использовали следующие формулы:

$$k_B = K_s M(v), \quad (1)$$



$$k_{\text{пор}} = \sqrt{\frac{\Psi_{\text{пор}}^2}{(T_i/T_{EX})(\Omega/A_{CCD})} M^2(\nu) K_N^2 + k_\nu^2}, \quad (2)$$

где K_S — зарядовый контраст изображения; $M(\nu)$ — ПЧХ РТВС; ν — пространственная частота, которая соответствует поперечным размерам дефекта; $\Psi_{\text{пор}}$ — пороговое отношение сигнал/шум; T — время интегрирования зрительным анализатором; T_{EX} — длительность кадра накопления; Ω — площадь дефекта, приведенная к поверхности ПЗС-матрицы; A_{CCD} — площадь светочувствительного элемента ПЗС-матрицы; K_N — относительная средняя флуктуация в расчете на площадь светочувствительного элемента ПЗС-матрицы за время накопления; k_ν — пороговый контраст зрительного анализатора.

В работе [1] ПЧХ $M(\nu)$ была принята равной единице, т. е. влияние ПЧХ не учитывалось. Учтем и определим ПЧХ $M(\nu)$, которая равна произведению ПЧХ схемы формирования теневого рентгеновского изображения объекта $M_p(\nu)$, ПЧХ рентгеновского экрана $M_{Csl}(\nu)$ и ПЧХ ПЗС-матрицы $M_{CCD}(\nu)$.

Для нахождения ПЧХ схемы формирования рентгеновского изображения использовали следующую формулу [3]:

$$M_p(\nu) = \exp(-\pi^2 \nu^2 R_T^2), \quad (3)$$

где $R_T = \frac{\sqrt{2} f \beta_0}{6}$ — эффективный радиус рентгеновского изображения точечного дефекта, равный расстоянию от центра изображения до точки, в которой интенсивность излучения уменьшается в e раз; f — размер фокуса рентгеновской трубки (равный в нашем случае $f = 3,5$ мм); $\beta_0 = D/(F - D)$ — коэффициент увеличения фокуса рентгеновской трубки; D — расстояние между объектом и рентгеновским монокристаллическим экраном, которое принималось равным толщине контролируемого объекта; F — расстояние между фокусом рентгеновской трубки и рентгеновским монокристаллическим экраном ($F = 35$ см).

ПЧХ ПЗС-матрицы определяется следующим образом [4]:

$$M_{CCD}(1/n_L) = \{(2n_L/\pi) \sin[\pi/(2n_L)]\}^2 \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2/n_L}, \quad (4)$$

где α_1 и β_1 рассчитываются по формулам:

$$\alpha_1 = \sum_{m=1}^{2n_L} \cos\{\pi[(2m-1)/(2n_L) + \Delta_0/L_y]\} \cos[\pi(2m-1)/(2n_L)],$$

$$\beta_1 = \sum_{m=1}^{2n_L} \cos\{\pi[(2m-1)/(2n_L) + \Delta_0/L_y]\} \sin[\pi(2m-1)/(2n_L)],$$

где n_L — количество элементарных ячеек ПЗС-матрицы, которые умещаются на полупериоде L_y входного светового сигнала; m — номер элементарной ячейки; Δ_0 — начальный фазовый сдвиг входного сигнала (в наших расчетах принят равным нулю, так как мы берем худший возможный случай).

При этом, чтобы получить ПЧХ конкретной ПЗС-матрицы аргумент функции M_{CCD} необходимо умножить на $L_{py} \delta$ (δ — коэффициент уменьшения оптической системы, в нашем случае $\delta = 30,4$). ПЧХ рентгеновского монокристаллического экрана из материала CsI(Tl) $M_{Csl}(\nu)$ взята из работы [5] и интерполирована кубическими сплайнами.

Перечисленные составляющие ПЧХ, рассчитанные для условий проведенных нами экспериментов, а также результирующая ПЧХ РТВС $M(\nu) = M_p(\nu) M_{CCD}(L_{py} \delta \nu) M_{Csl}(\nu)$, приведены на рис. 1.

Для расчета используемых в формулах (1) и (2) K_S и K_N использовали математическую модель преобразования сигналов в РТВС на основе рентгеновского экрана и ПЗС-матрицы, подробно описанную в работе [1]. Модель учитывает процесс формирования теневого рентгеновского изображения контролируемого объекта, физические принципы функционирования сцинтилляционных преобразователей излучения и приборов с зарядовой связью. На основе сформированной таким образом модели можно определить количество накопленных в элементарной ячейке ПЗС-матрицы электронов, которое соответствует разностному сигналу от дефекта в просвечиваемом объекте Q_s/q (полезному сигналу) и количество накопленных электронов, соответствующее фоновому сигналу (сигналу от бездефектного участка) Q_ϕ/q . Затем K_S и K_N определяют по формулам:

$$K_S = \frac{(Q_s/q)}{(Q_\phi/q)}, \quad (5)$$

$$K_N = \frac{1}{\sqrt{Q_\phi/q}}. \quad (6)$$

Другие величины, входящие в формулу (2), определены следующим образом. Площадь дефекта, приведенная к поверхности ПЗС-матрицы $\Omega = d^2/\delta^2$, где d — диаметр проволочного эталона. Площадь светочувствительного элемента ПЗС-матрицы ICX-429ALL $A_{CCD} = L_{py} L_{pz} = 8,6 \times 8,3$ мкм². Длительность одного кадра накопления $T_{EX} =$

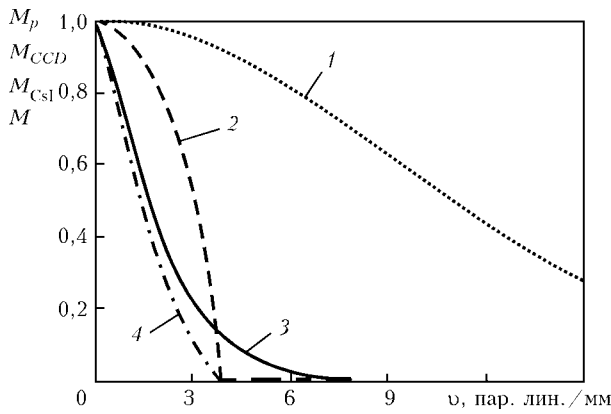


Рис. 1. ПЧХ схемы формирования рентгеновского изображения $M_p(\nu)$ (1) при $D = 10$ мм, ПЗС-матрицы $M_{CCD}(\nu)$ (2), рентгеновского монокристаллического экрана из материала CsI(Tl) $M_{CsI}(\nu)$ (3) и результирующая ПЧХ РТВС $M(\nu)$ (4)

= 40 мс. Время интегрирования зрительным анализатором $T_i = 0,1$ с, пороговый контраст $k_v = 2\%$, пороговое отношение сигнал/шум $\psi_{por} = 3$ [6, 7]. В соответствии с [6] для проволоки проволочного эталона пространственная частота составляет $\nu = \frac{1}{2,5d}$.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований. Теоретический расчет относительной чувствительности проводили для тех же условий (анодный ток и анодное напряжение рентгеновской трубки, другие перечисленные выше параметры), при которых проводили экспериментальные исследования с использованием проволочных эталонов чувствительности.

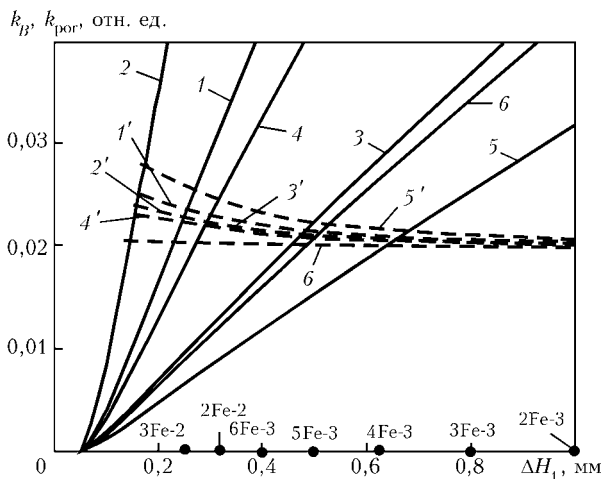


Рис. 2. Зависимости контраста выходного сигнала ПЗС-камеры k_B (сплошные линии) и порогового контраста k_{por} (штриховые) от размера дефекта ΔH_1 для проволочных эталонов Fe-2 и Fe-3: 1 — $H_{kz} = 10$ мм, $U_A = 160$ кВ, $I_A = 10$ мА, $N_k = 1$; 2 — $H_{kz} = 10$ мм, $U_A = 100$ кВ, $I_A = 8$ мА, $N_k = 64$; 3 — $H_{kz} = 20$ мм, $U_A = 240$ кВ, $I_A = 8$ мА, $N_k = 1$; 4 — $N_{kz} = 20$ мм, $U_A = 140$ кВ, $I_A = 10$ мА, $N_k = 32$; 5 — $N_{kz} = 30$ мм, $U_A = 260$ кВ, $I_A = 8$ мА, $N_k = 1$; 6 — $N_{kz} = 30$ мм, $U_A = 200$ кВ, $I_A = 10$ мА, $N_k = 64$ (характеристики, номер которых помечен штрихом, обозначают соответствующее k_{por})

На рис. 2 показаны рассчитанные по описанной методике графики зависимостей контраста выходного сигнала ПЗС-камеры и порогового контраста от размера дефекта (диаметра проволочного эталона). Как видно из рисунка, контраст выходного сигнала ПЗС-камеры практически линейно возрастает с увеличением размера дефекта (диаметра проволоки). При этом угол наклона k_B тем меньше, чем больше толщина контролируемого образца и чем выше напряжение на аноде трубки. Значение порогового контраста k_{por} тем выше, чем меньше общее количество квантов, которое создает изображение. Таким образом, видно, что k_{por} уменьшается при увеличении площади дефекта (диаметра проволоки), а также при увеличении количества кадров накопления. Наблюдаемые закономерности характеристик рис. 2 согласуются с известными принципами формирования рентгеновского изображения [3].

Минимальный размер дефекта, который может быть обнаружен РТВС при конкретных параметрах режима работы, определяется точкой пересечения и соответствующего ему k_{por} . Расчетное значение относительной чувствительности РТВС определяли по наименьшему диаметру проволочного эталона, для которого выполняется критерий $k_B \geq k_{por}$ (ближайшее со стороны больших размеров значение диаметра эталона относительно точки пересечения соответствующих кривых на рис. 2).

В таблице приведены результаты экспериментальных исследований относительной чувствительности РТВС при контроле образцов различной толщины H_{kz} для различных режимов работы системы (анодное напряжение U_A и анодный ток рентгеновской трубки I_A , количество кадров накопления ПЗС-камеры N_k). Количество кадров накопления $N_k = 1$ соответствует вещательному стандарту разложения изображения. Результаты измерения относительной чувствительности контроля представлены номерами наименьшей по глубине выявленной канавки и наименьшей по диаметру выявленной проволоки с обозначением типов соответствующих эталонов чувствительности (Fe-1, Fe-2 или Fe-3). Приведены также значения чувствительности контроля по канавочному (K_k) и проволочному (K_d) эталонам. В последней колонке для проволочных эталонов приведены значения относительной чувствительности РТВС, вычисленные с помощью предложенной методики.

Как видно из таблицы, при работе ПЗС-камеры в вещательном стандарте разложения изображения ($N_k = 1$) относительная чувствительность для толщины $N_{kz} = 10$ мм составляет $K_k = 1,67\%$ и $K_d = 2,5\%$ при $U_A = 160$ кВ. При уменьшении анодного напряжения до $U_A = 100$ кВ канавки и проволоки перестают выявляться. Однако накопление на ПЗС-матрице $N_k = 64$ кадров обеспечи-



Экспериментальные и вычисленные значения относительной чувствительности РТВС

Пункт	U_A , кВ	I_A , мА	H_{kz} , мм	N_k	Канавочные эталоны		Проволочные эталоны		
					Номер канавки и тип эталона	K_k , % эксп.	Номер проволоки и тип эталона	K_d , % эксп.	K_d , % выч.
1	160	10	10	1	5Fe-1	1,67	3Fe-2	2,5	2,5
2	100	8	10	64	5Fe-1	1,67	3Fe-2	2,5	2,5
3	240	8	20	1	3Fe-1 6Fe-2	1,80 2,1	4Fe-3	3,15	2,5
4	240	8	20	16	4Fe-1	1,36	5Fe-3	2,5	—
5	140	10	20	32	3Fe-1	1,8	5Fe-3	2,5	1,6
6	260	8	30	1	6Fe-2	1,47	3Fe-3	2,67	2,67
7	260	6	30	16	6Fe-2 2Fe-1	1,47 1,56	4Fe-3	2,1	—
8	200	10	30	64	3Fe-1	1,25	5Fe-3	1,67	1,67

вает ту же чувствительность, что и при $U_A = 160$ кВ. Изображения, полученные после накопления, являются более качественными из-за отсутствия на них шумов. На рис. 3 приведено изображение сварного соединения, полученного после накопления в ПЗС-камере $N_k = 64$ (режимы соответствуют п. 2 таблицы).

Наилучшая относительная чувствительность контроля для толщины стали $H_{kz} = 20$ мм, достигнутая в вешательном стандарте разложения, составила $K_k = 1,8$ % и $K_d = 3,15$ % при $U_A = 240$ кВ (п. 3 таблицы). Накопление $N_k = 16$ при том же анодном напряжении улучшает чувствительности контроля K_k с 1,8 до 1,36 % и K_d с 3,15 до 2,5 %. Снижение анодного напряжения до $U_A = 140$ кВ в вешательном стандарте разложения приводит к резкому ухудшению чувствительности (канавки и проволоки эталонов практически не выявляются). Однако накопление на ПЗС-матрице $N_k = 32$ кадров обеспечивает такую же чувствительность K_k , как при $U_A = 240$ кВ, а также улучшает чувствительность контроля K_d до 2,5 % по сравнению с $U_A = 240$ кВ. Соответствующее изображение сварного соединения приведено на рис. 4 (п. 5 таблицы).

Аналогичная закономерность наблюдается также для толщины $H_{kz} = 30$ мм. Чувствительность контроля, достигнутая в вешательном стан-

дарте разложения, составила $K_k = 1,47$ % и $K_d = 2,67$ % при $U_A = 260$ кВ. Накопление на ПЗС-матрице $N_k = 16$ кадров улучшает чувствительность K_d с 2,67 до 2,1 %. А при снижении анодного напряжения до $U_A = 200$ кВ накопление $N_k = 64$ кадров позволяет достичь чувствительности контроля $K_k = 1,25$ % и $K_d = 1,67$ % (п. 8 таблицы), что превосходит чувствительность, полученную при анодном напряжении $U_A = 260$ кВ.

Из таблицы видно, что расчетные оценки согласуются с экспериментальными данными значительно лучше, чем в работе [1], где не учитывалась пространственная фильтрация. В работе [1] для проволочных эталонов наблюдалось только одно совпадение из шести экспериментов с двумя камерами, а усовершенствованная методика расчета относительной чувствительности дала четыре совпадения в шести случаях.

Перевод ПЗС-камер РТВС в режим регулируемой длительности накопления изображений позволяет также эффективно применять малогабаритные импульсные рентгеновские аппараты и проводить контроль в полевых условиях и труднодоступных местах. Так, при работе РТВС с импульсным аппаратом МИРА-2Д была достигнута чувствительность контроля 2,5 % при просвечивании стали толщиной 10 мм и накоплении на ПЗС-матрице 256 кадров.

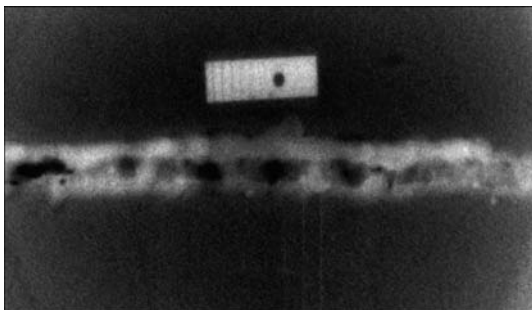


Рис. 3. Изображение сварного соединения (режимы соответствуют п. 2 таблицы)

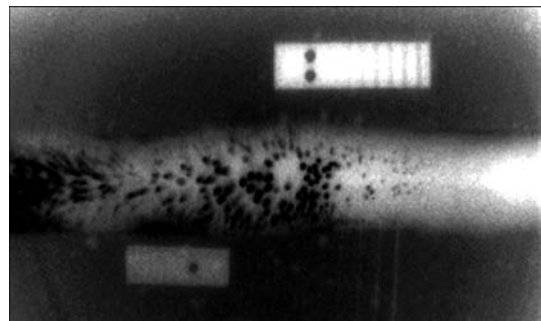


Рис. 4. Изображение сварного соединения (режимы соответствуют п. 5 таблицы)



Выводы

Предложенная усовершенствованная методика расчета относительной чувствительности рентгенотелевизионных систем учитывает процесс формирования теневого рентгеновского изображения контролируемого объекта, физические принципы функционирования сцинтилляционных преобразователей излучения и приборов с зарядовой связью, пространственную фильтрацию изображений в системе и позволяет с достаточной точностью оценивать характеристики создаваемых рентгенотелевизионных систем на основе рентгеновских экранов и ПЗС-камер.

Перевод ПЗС-камер в режим регулируемой длительности накопления изображений позволяет улучшить относительную чувствительность РТВС, повысить качество получаемых изображений за счет устранения шумов и существенно снизить необходимую мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на ее входе.

Применение режима регулируемой длительности накопления изображений в ПЗС-камерах позволяет проводить контроль в полевых условиях и

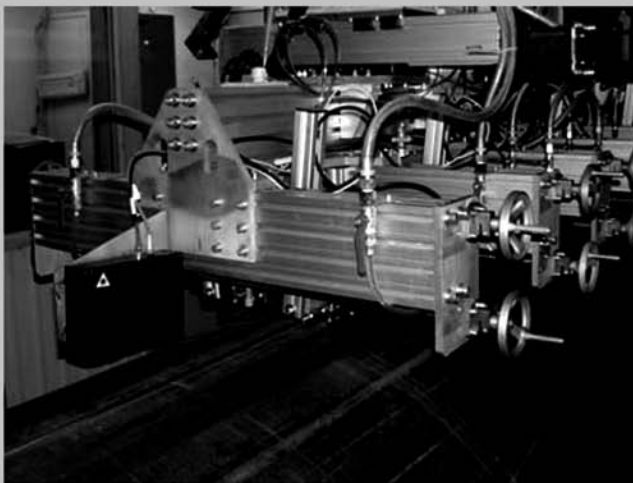
труднодоступных местах с использованием малогабаритных импульсных рентгеновских аппаратов.

1. *Относительная чувствительность рентгенотелевизионных систем на основе высокочувствительных ПЗС-камер и рентгеновских монокристаллических экранов* / Н. Г. Бельский, С. В. Денбовецкий, А. В. Лецишин и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2007. — № 2. — С. 34–40.
2. *Diagonal 8 mm (Type 1/2) CCD Image Sensor for CCIR B/W Video Cameras ICX429ALL* // www.sony.net.
3. *Михайлов С. П.* Моделирование теневого рентгеновского изображения контролируемого объекта в рентгеноскопических системах неразрушающего контроля // Электроника и связь. — 2002. — № 16. — С. 59–70.
4. *Носов Ю. Р., Шилин В. А.* Основы физики приборов с зарядовой связью. — М.: Наука, 1986. — 320 с.
5. *X-ray image intensifiers* // www.hpk.co.jp/hp2e/products/Etd/X-IE.htm.
6. *Гурвич А. М.* Физические основы радиационного контроля и диагностики. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 168 с.
7. *Роуз А.* Зрение человека и электронное зрение / Пер. с англ. — М.: Мир, 1977. — 216 с.
8. *Краткое пособие по контролю качества сварных соединений.* — Киев, Феникс, 2006. — 316 с.
9. *Пособие по радиографии сварных соединений.* — Киев: Феникс, 2008. — 312 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
Киев

Поступила в редакцию
25.05.2009

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ШВОМ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ СВАРНЫХ ТРУБ



Основная задача системы - автоматическая коррекция положения ультразвуковых датчиков относительно шва в процессе контроля. Точность слежения за швом составляет ± 0.5 мм при скорости ультразвукового контроля до 30 м/мин. Система слежения используется в составе установки АУЗК НК-360 (НК-361) на предприятии ОАО «Выксунский металлургический завод» (Россия, 2005 г.).

ИЭС им. Е.О.Патона, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11, Тел./факс (044) 287-67-11, 271-25-05, E-mail: eshapovalov@paton.kiev.ua.