



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 проволочных (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 проволочных 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 проволочных 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 проволочного 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;  $\nu$  — пространственная частота, которая соответствует поперечным размерам дефекта;  $\Psi_{\text{пор}}$  — пороговое отношение сигнал/шум;  $T$  — время интегрирования зрительным анализатором;  $T_{EX}$  — длительность кадра накопления;  $\Omega$  — 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;  $k_\nu$  — 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  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  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;  $\Delta_0$  — 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  $L_{py} \delta$  ( $\delta$  — 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)  $Q_\phi/q$ . 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  $A_{CCD} = L_{py} L_{pz} = 8,6 \times 8,3$  мкм<sup>2</sup>. Длительность одного кадра накопления  $T_{EX} =$

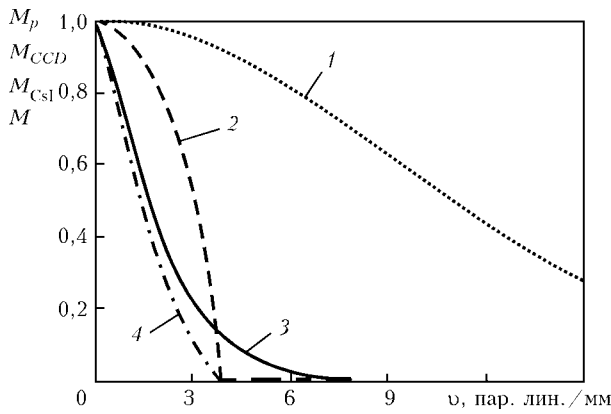


Рис. 1. ПЧХ схемы формирования рентгеновского изображения  $M_p(\nu)$  (1) при  $D = 10$  мм, ПЗС-матрицы  $M_{CCD}(\nu)$  (2), рентгеновского монокристаллического экрана из материала CsI(Tl)  $M_{CsI}(\nu)$  (3) и результирующая ПЧХ РТВС  $M(\nu)$  (4)

= 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.

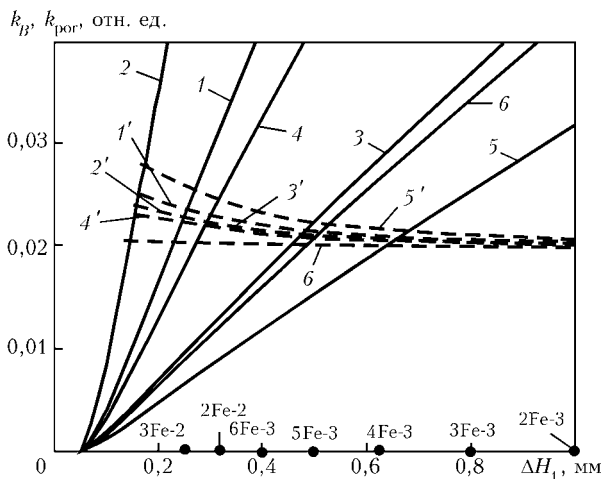


Рис. 2. Зависимости контраста выходного сигнала ПЗС-камеры  $k_B$  (сплошные линии) и порогового контраста  $k_{por}$  (штриховые) от размера дефекта  $\Delta H_1$  для проволочных эталонов Fe-2 и Fe-3: 1 —  $H_{kz} = 10$  мм,  $U_A = 160$  кВ,  $I_A = 10$  мА,  $N_k = 1$ ; 2 —  $H_{kz} = 10$  мм,  $U_A = 100$  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.

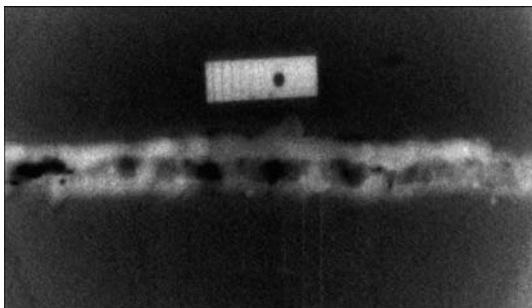


Рис. 3. Изображение сварного соединения (режимы соответствуют п. 2 таблицы)

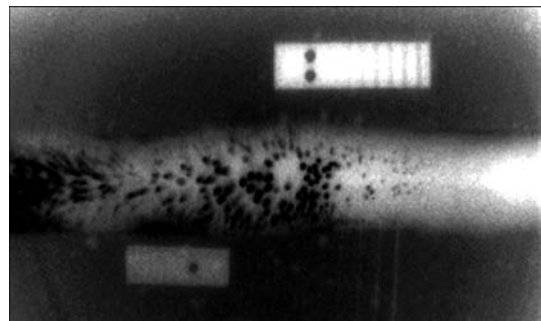


Рис. 4. Изображение сварного соединения (режимы соответствуют п. 5 таблицы)

**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.

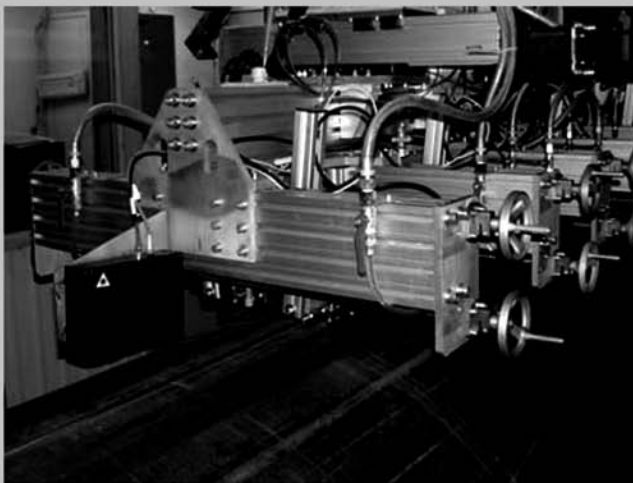
Применение режима регулируемой длительности накопления изображений в ПЗС-камерах позволяет проводить контроль в полевых условиях и

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  $\pm 0.5$  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.