

РАЗРАБОТКА ИНТРОСКОПОВ ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

В. И. ГОРБУНОВ, Д. И. СВИРЯКИН, А. Н. КОЛУПАЕВ, В. Ф. ПЕТУШЕНКО,
В. И. ЧАНЦЕВ

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института
электронной интроскопии)

Анализ отношения сигнал/шум (ψ) в системах радиационных интроскопов показывает, что для повышения их чувствительности прежде всего необходимо стремиться к повышению коэффициентов передачи первых ступеней системы, так как уменьшение отношения сигнал/шум, происходящее в первых ступенях, не может быть скомпенсировано в последующих ступенях. Поэтому выбор типа и параметров радиационного преобразователя интроскопа оказывает существенное влияние на чувствительность интроскопа в целом. Контрастная чувствительность, выражаемая величиной, обратной минимальному контрасту, регистрируемому оператором, разрешающая способность и число заметных градаций яркости ограничиваются шумами или отношением сигнал/шум [1, 2, 3] всей системы.

Наибольшее число различных градаций m яркости изображения на выходе системы в интервале яркостей $V_{\min} \div V_{\max}$ при наличии порогового контраста $K_{\text{пор}}$ выражается следующей формулой:

$$m = \frac{1}{\ln(1 + K_{\text{пор}})} \cdot \ln \frac{V_{\max}}{V_{\min}}. \quad (1)$$

Отношение $\frac{V_{\max}}{V_{\min}}$ связано с оптическим контрастом следующим образом:

$$\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + K_{\text{опт}}}{1 - K_{\text{опт}}},$$

поэтому формулу [1] можно записать в виде

$$m = \frac{\ln \frac{1 + K_{\text{опт}}}{1 - K_{\text{опт}}}}{\ln(1 - K_{\text{пор}})}. \quad (2)$$

Вместе с тем взаимосвязь между количеством передаваемых системой градаций яркости и величиной отношения сигнал/шум ψ для случая полной независимости шумов от сигнала имеет вид [2, 5]

$$m \approx \frac{1}{p\sqrt{2}} \psi, \quad (3)$$

где p — коэффициент, характеризующий превышение сигнала над шумом, необходимое для надежного обнаружения сигнала в шумах, и оп-

ределяемый свойствами зрения, природой флуктуационных помех и яркостью изображения.

Приравнивая между собой правые части равенств (2) и (3), получаем

$$K_{\text{опт}} = \frac{(1 + K_{\text{пор}})^{\psi/p} \sqrt{2} - 1}{(1 + K_{\text{пор}})^{\psi/p} \sqrt{2} + 1}. \quad (4)$$

Эта формула справедлива для суперортиконов и других передающих трубок, в которых вносимые извне шумы больше шумов, непосредственно связанных с сигналом. При вероятности обнаружения 85% $p = \sqrt{2}$, тогда

$$K_{\text{опт}} = \frac{\sqrt{(1 + K_{\text{пор}})^{\psi} - 1}}{\sqrt{(1 + K_{\text{пор}})^{\psi} + 1}}. \quad (5)$$

В общем случае оптический контраст не равен радиационному контрасту K_p и связь между ними определяется соотношением [6]

$$K_{\text{опт}} = \gamma K_p, \quad (6)$$

где γ — градиент световой характеристики системы.

Отсюда

$$K_p = \frac{\sqrt{(1 + K_{\text{пор}})^{\psi} - 1}}{\gamma \sqrt{(1 + K_{\text{пор}})^{\psi} + 1}}. \quad (7)$$

Формулы (2) и (5) показывают: чем выше значение ψ системы при известном пороговом контрасте зрения оператора, тем большее число яркостных градаций может воспроизвести радиационный интроскоп и тем меньший оптический контраст изображения допустим на выходном экране.

Из формулы (7) следует: а) чем больше величина γ , тем меньший радиационный контраст различим на выходном экране интроскопа; б) для правильной передачи полутонов при просвечивании объектов, обеспечивающих высокий радиационный контраст, система должна обладать высоким отношением сигнал/шум.

Величина ψ системы определяется в основном первыми ступенями. Следовательно, для повышения чувствительности интроскопов нужно стремиться к повышению величины ψ степени преобразования пространственно-модулированных радиационных потоков в видимое изображение или электрические сигналы. Кроме того, при построении схем интроскопов необходимо использовать минимально возможное число ступеней преобразования и передачи информации, так как любое вновь вводимое в схему звено вносит свой вклад в повышение шумов и снижение величины ψ системы в целом.

На рис. 1 приведены усредненные кривые относительной чувствительности ($\Delta d/d$ %, где Δd — обнаруживаемый перепад толщины, d — толщина) некоторых типов интроскопов от толщины просвечиваемых стальных изделий. Цифрой 1 обозначена кривая, характеризующая интроскоп, построенный по схеме: источник рентгеновского излучения — объект просвечивания — рентгеновский электронно-оптический преобразователь (ЭОП) — оптика — видикон — видеоканал — кинескоп. В этом и других интроскопах, кривые чувствительности (2, 3) которых приведены на рисунке, в качестве источника излучения использована рентгеновская установка РУП 150/300-10. Анодное напряжение на рентгеновской трубке устанавливается оптимальным, исходя из толщины стального поглотителя. Для определения чувствительности использовался эталон № 2 с канавками по ГОСТ 7512-55. В интроскопе, чувстви-

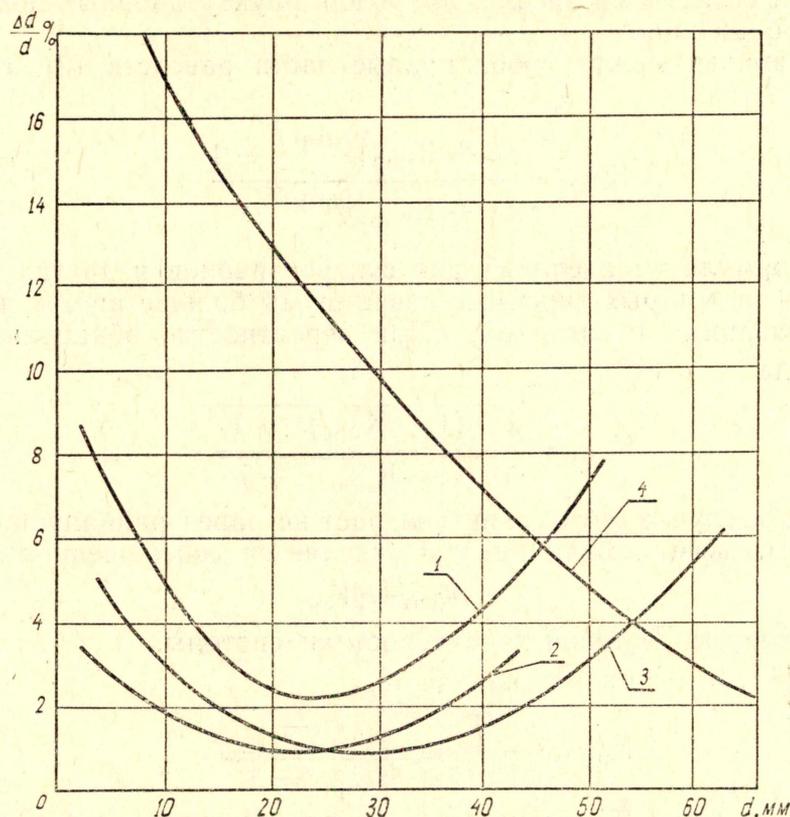


Рис. 1. Кривые относительной чувствительности некоторых типов интроскопов: 1 — интроскоп, построенный по схеме: источник рентгеновского излучения — объект просвечивания — оптика — видикон — видеоканал — кинескоп; 2 — интроскоп, в котором в качестве преобразователя и канала передачи информации использован прибор РУ-135 со специальной светосильной бинокулярной оптикой; 3 — интроскоп, в котором узел преобразования проникающего излучения содержит монокристалл CsI(Tl) , объектив «Электрон-1» и суперизокон; 4 — бетатронный интроскоп, использующий малогабаритный бетатрон ПМБ-6.

тельность которого выражена кривой — 1, рентгеновский ЭОП типа РУ-135 устанавливался вплотную к объекту просвечивания, и изображение с его выходного экрана с помощью оптической системы (двух сопряженных объективов Ю-3) передавалось на фотомишень видикона ЛИ-422-1, где преобразовалось в электрические сигналы и по видеоканалу передавалось на кинескоп. На экране кинескопа оператор наблюдал полученное теневое рентгеновское изображение в незатемненном помещении. Этот интроскоп обладает сравнительно низкой чувствительностью, но удобен в эксплуатации благодаря простоте и надежности рентгеновского ЭОПа и промышленной телевизионной установке ПТУ-27М и отсутствию специальной радиационной защиты, так как передающая телевизионная камера с рентгеновским ЭОПом и пульт управления установкой разнесены на значительное расстояние.

Кривая, помеченная цифрой 2, снята с помощью интроскопа, в котором в качестве преобразователя и канала передачи информации использован прибор РУ-135 со специально разработанной для этого интроскопа светосильной бинокулярной оптикой, повысившей чувствительность и обеспечивающей передачу изображения с выходного экрана РУ-135 к глазам оператора. Оптическая система выполнена в виде колена и наряду с кабиной, обшитой свинцовыми листами, обеспечивает

надежную защиту оператора. Недостатком является то, что такой интроскоп нельзя применять в труднодоступных и опасных местах и для контроля больших толщин стали. Эти недостатки устранены в рентгенотелевизионном интроскопе, где узел преобразования проникающего излучения в электрические сигналы содержит сцинтилляционный монокристалл CsI(Te) толщиной 5 мм и диаметром 150 мм, светосильный объектив переноса изображения «Электрон-1» и передающую телевизионную трубку суперизокон, обладающую при освещенности на фотокатоде 10^{-3} лк отношением сигнал/шум не менее 30. Вся телевизионная часть этого интроскопа построена на промышленной телевизионной установке ПТУ-101. Фокусное расстояние 300 мм, эталон № 2 размещен перед объективом просвечивания, а монокристалл — вплотную к задней стенке объекта. Сравнительно высокая световая чувствительность и большая величина ψ суперизокона, хорошее использование светового потока, излучаемого монокристаллом CsI(Te), позволили достигнуть чувствительности рентгенографических пленок. Кривая 3 показывает, что область оптимальных толщин по стали для этого интроскопа лежит в пределах 15—35 мм, а удовлетворительный рентгеновский контроль стальных изделий можно вести до 60 мм. Дальнейшее увеличение толщины приводит к такому снижению яркости свечения сцинтилляционного кристалла, что чувствительность суперизокона оказывается недостаточной, и контраст изображения на экране кинескопа установки ПТУ-101 становится ниже порогового.

Стальные изделия больших толщин можно контролировать с помощью бетатронов. Теневое изображение получается по схеме предыдущего интроскопа, но при условии замены рентгеновского аппарата бетатроном и тонкого монокристалла CsI(Te) более толстым. Кривая 4 снята с помощью бетатронного интроскопа, использующего малогабаритный бетатрон ПМБ-6 (максимальная энергия 6 Мэв, мощность дозы 0,3 р/мин на расстоянии 1 м), монокристалл CsI(Te) толщиной 10 мм и диаметром 150 мм, оптику переноса — объектив «Ю-9» с насадочной линзой +2 и установку ПТУ-101 с суперизоконом в передающей камере. Расстояние от мишени до объекта просвечивания равнялось 250 мм, монокристалл размещался вплотную к задней стенке, а эталон № 4 ГОСТ 7512-55 — со стороны передней стенки объекта.

Ход кривой 4 говорит о том, что оптимальными толщинами стали для жесткого тормозного излучения бетатрона являются толщины более 60 мм, однако при толщинах более 60 мм мощность дозы излучения за объектом падает настолько, что яркость свечения монокристалла становится недостаточной для нормальной работы суперизокона.

Результаты этих исследований позволяют надеяться, что использование в таком интроскопе суперизокон, обладающих высокими чувствительностью и отношением сигнал/шум, более светосильной оптики и блоков накопления и перезаписи телевизионной информации даст возможность контролировать стальные изделия с толщиной стенок до 100—120 мм. Увеличение мощности дозы бетатронного излучения на один — два порядка приведет к возрастанию контролируемых толщин до 250—300 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Халфин. Влияние флуктуационных помех на интервал яркости (контрастности) телевизионных изображений. «Радиотехника», 1952, № 4.
2. В. И. Соколов, С. Б. Гуревич. Влияние шумов на различность градаций яркости. «Техника кино и телевидения», 1958, № 14.
3. Н. П. Красильников. Помехоустойчивость телевизионных устройств. М., Госэнергоиздат, 1961.
4. Д. С. Лебедев, И. И. Цуккерман. Телевидение и теория информации. М.-Л., «Энергия», 1965.
5. G. A. Hay. The Brat. j. of. Radiology, vol. 31, N 371, 1958, p—p 611—618.
6. В. А. Добромыслов, С. В. Румянцев. Радиационная интроскопия. М., Атомиздат, 1972.