

УДК 004.056;061.68

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ
СИСТЕМ ДЛЯ ПОИСКА МАЛОРАЗМЕРНЫХ
МАЛОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕФЕКТОВ

Б. Т. БУДАИ, Б. Т. ПОРОДНОВ, И. В. МЯКУТИНА, Н. В. КАСАТКИН,
Е. Ф. ТОВКАЧ
ФГАОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. Ельцина»
Екатеринбург, Россия

В настоящее время все более актуально заблаговременное обнаружение техногенных катастроф, которые вызывают такие макродефекты, как разрывы нефте- и газопроводов, прорыв плотин, обрывы линий электропередач, коммуникационных линий связи и др. Для заблаговременного обнаружения таких катастроф все более широко применяют теле- и тепловизионные оптико-электронные системы (ОЭС), располагаемые на борту вертолетов, беспилотных летательных аппаратов, наземной и надводной техники [1]. Кроме того, становится все более актуальным автоматический поиск дефектов листового проката в реальных условиях запыленности и вибраций, когда размеры обнаруживаемых дефектов листового проката сопоставимы с дифракционными ограничениями оптического тракта и др. Эффективное функционирование ОЭС в этих условиях также сопряжено с необходимостью стабилизации поля зрения, оптимизации оптического тракта [2]. При этом, казалось бы, столь разные условия функционирования ОЭС приводят к однотипным задачам улучшения качества изображений в ОЭС.

При этом нет компактной эффективной методики выбора параметров ОЭС, обеспечивающей наилучшее качество наблюдения малоразмерных малоконтрастных деталей изображения, даже при сравнительно большом отношении сигнал/шум. В этой ситуации одни разработчики пытаются повысить контраст мелких деталей изображения путем повышения точности стабилизации линии визирования, другие борются с абберацией, третьи совершенствуют систему фокусировки и др.

Вышеназванные причины требуют создания обобщенных компактных критериев оценки правильности выбора путей повышения эффективности ОЭС. При этом и в РФ [3, с. 312], и за рубежом [4, с. 108–112] влияние внешних факторов, в первом приближении, учитывают, во-первых, в виде суммарного действия последовательности независимых линейных фильтров, определяющих импульсную характеристику (ИХ) $h_{сум}$.

формирующего фильтра; во-вторых, для простоты рассуждений переходят от анализа двумерного сигнала к анализу одномерного сигнала с ИХ

$h_{\text{сум}}(x-\tau)$. При этом сигнал на выходе тракта распространения сигнала $U_{\text{вых}}(D, x)$ представляют в виде свертки входного сигнала $U_{\text{вх}}(\tau)$ с ИХ

$$U_{\text{вых}}(D, x) = \int_{-\infty}^{\infty} U_{\text{вх}}(\tau) \cdot h_{\text{сум}}(D, x - \tau) \cdot d\tau, \quad (1)$$

а ИХ $h_{\text{сум}}(D, x - \tau)$ формирующего фильтра представляют в виде

$$h_{\text{сум}}(D, x) = K_0(D) \cdot h_{\text{см}}(x), \quad (2)$$

где $K_0(D)$ – коэффициент, определяемый законом Буггера [3, с. 74], $h_{\text{см}}(x)$ – ИХ, определяемая «смазом» изображения.

Наиболее информативны мелкие детали изображения, которые могут оказаться наиболее «смазаны». Поэтому в дальнейшем будем анализировать лишь те детали сигнала изображения (1), которые могут быть наиболее «смазаны». Тогда выражение (1) преобразуется к виду

$$U_{\text{вых}}^*(x) = \int_{-\infty}^{\infty} U_{\text{вх}}(\tau) \cdot h_{\text{см}}(x - \tau) \cdot d\tau. \quad (3)$$

Для анализа ИХ $h_{\text{см}}(x - \tau)$ в (3) вследствие центральной предельной теоремы теории вероятностей в случае двух ИХ $h_i(\tau)$ ИХ $h_{\text{см}}(x)$ удобно представить

$$h_{\text{см}}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} h_1(x - \tau) \cdot h_2(\tau) \cdot d\tau, \quad (4)$$

при этом ИХ $h_i(x)$ эквивалентного i -го фильтра со среднеквадратическим отклонением (СКО) σ_i представляют в гауссовоподобном виде

$$h_i(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_i}} \cdot \exp\left(-x^2 / 2 \cdot \sigma_i^2\right). \quad (5)$$

С учетом выражения (5) ИХ (4) в случае произвольного количества формирующих фильтров может быть представлена в виде

$$h_{\text{см}}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\text{см}}}} \cdot \exp\left(-x^2 / 2 \cdot \sigma_{\text{см}}^2\right), \quad (6)$$

причем с учетом [2, с. 294–298] СКО ИХ (6) можно представить

$$\sigma_{\text{см}} \approx \sqrt{\sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{диф}}^2 + \sigma_{\text{расф}}^2 + \sigma_{\text{абб}}^2 + \sigma_{\text{в.с}}^2 + \sigma_{\text{турб}}^2 + \sigma_{\text{см}}^2 + \dots}, \quad (7)$$

где $\sigma_{\text{пр}}^2, \sigma_{\text{диф}}^2, \sigma_{\text{расф}}^2, \sigma_{\text{абб}}^2, \sigma_{\text{в.с}}^2, \sigma_{\text{турб}}^2, \sigma_{\text{см}}^2$ – дисперсии, обусловленные приемником, дифракцией оптики, а также расфокусировкой, абберацией, конечной полосой тракта распространения видеосигнала, турбулентностью атмосферы, ошибкой стабилизации и др.

«Смаз» изображения, обусловленный приемником, с учетом [2, с. 295]

$$\sigma_{np} \approx \frac{l_{np}}{\sqrt{12} \cdot F}, \quad (8)$$

определяется размером элемента приемника l_{np} и фокусным расстоянием F . Поэтому он неизбежен. Также неизбежен и «смаз», обусловленный дифракцией оптики, так как он определяется средней длиной волны λ_{cp} используемого диапазона длин волн и диаметром объектива d ОЭС

$$\sigma_{диф} = C_{диф} \cdot \frac{\lambda_{cp}}{d}, \quad (9)$$

где $C_{диф}$ – коэффициент пропорциональности, обычно выбирается $C_{диф} \sim 1$ [3, с. 93], [4, с. 108–112], [5, с. 117–119].

Другие составляющие СКО (7), приводящие к «смазу» изображения в ОЭС, могут быть уменьшены по критерию малости влияния на «смаз» изображения. Если предположить, что остальные параметры СКО (7) пренебрежимо малы, то для типовой прямоугольной формы характерной детали изображения размером $l_{об}$, с учетом выражения (3) и параметров (8), (9) ИХ (6) коэффициент передачи тракта распространения сигнала изображения по «смазу» можно представить

$$K_{см} \approx \frac{l_{об} / \sqrt{12} \cdot D}{\sqrt{\frac{l_{об}^2}{12 \cdot D^2} + \frac{l_{np}^2}{12 \cdot F^2} + C_{диф}^2 \cdot \frac{\lambda_{cp}^2}{d^2}}}. \quad (10)$$

Таким образом, получены компактные соотношения (7–10), позволяющие оценить влияние каждого параметра на качество изображения. Полученные решения подтверждены математическим моделированием и экспериментальными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Будаи, Б. Т.** Анализ возможности устранения дефектов ОЭС путем выбора параметров конструкции и внешних факторов ОЭС / Б. Т. Будаи [и др.] // Дефектоскопия. – 2012. – № 7.
2. **Будаи, Б. Т.** Разработка высокоточного экологически чистого метода определения толщины листового проката / Б. Т. Будаи [и др.] // Дефектоскопия. – 2012. – № 9.
3. **Якушенков, Ю. Г.** Теория и расчет оптико-электронных приборов / Ю. Г. Якушенков. – М. : Логос, 1999. – 480 с.
4. **Ллойд, Дж.** Тепловидение: пер. с англ. / Дж. Ллойд; под ред. А. И. Горячева. – М. : МИР, 1979. – 416 с.
5. **Матвеев, А. Н.** Оптика / А. Н. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1985. – 351 с.