

## **Метод оценки реализуемости технических требований к оптико-электронным системам ночного видения на основе электронно-оптических преобразователей пятого поколения**

*Сысоев П. А., Болдырев М. А., Лопаткин К. С.*

*Рассмотрен метод оценки реализуемости технических требований к оптико-электронным системам ночного видения на основе электронно-оптических преобразователей пятого поколения. В основу метода положена математическая модель функционирования оптико-электронных систем ночного видения на основе электронно-оптических преобразователей пятого поколения. Метод позволяет сократить материальные и временные затраты на выборе технических решений при проектировании оптико-электронных систем ночного видения.*

Одной из важнейших задач, решаемых с помощью оптико-электронных средств (ОЭС), является обеспечение возможности ведения боевых действий войск в условиях низкой освещённости. Решить данную задачу позволяют оптико-электронные системы ночного видения (ОЭСНВ). Поэтому развитию ОЭСНВ, в том числе на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП), всегда уделялось большое внимание. В последние годы развивается принципиально новый класс изделий – ЭОП 5-го поколения [1], представляющих собой по сути специализированную низкоуровневую телевизионную систему (НТВС) в миниатюрном исполнении.

Основной задачей при проектировании ОЭСНВ на основе ЭОП является выбор технических решений и основных комплектующих узлов. Они определяют эффективность применения ОЭСНВ в составе ВТ. Основным критерием оценки эффективности функционирования ОЭСНВ является дальность обнаружения цели при заданном уровне вероятности и фоноцелевой обстановки (ФЦО) [2, 3, 4, 5].

Расчётный метод оценки реализуемости технических требований на основе математической модели функционирования ОЭСНВ позволяет решить данную задачу.

Метод предназначен для проведения предварительной оценки достижения заданных параметров к ОЭСНВ на основе ЭОП 5-го поколения (далее по тексту – оценки реализуемости). Оценка достижения заданных параметров производится путём расчёта дальности обнаружения цели (дальности действия) при заданных характеристиках основных комплектующих узлов ОЭСНВ.

В основу метода положен расчёт изменения энергетических и пространственно-частотных показателей и характеристик объектов наблюдения при изменении дистанции между выбранными (заданными) типовыми объектами (целями) наблюдения и ОЭСНВ на основе ЭОП 5-го поколения и сопоставление полученных результатов расчёта с результатами исследования пороговых характеристик качества восприятия изображений операторами-наблюдателями [4, 5, 6].

Особенностью данного метода является использование в процессе выполнения расчёта реальных спектральных характеристик: энергетической освещённости объектов наблюдения  $W_{nn}(\lambda)$ , коэффициентов отражения объектов наблюдения  $P_{ob}(\lambda)$  и окружающего их фона  $P_{fn}(\lambda)$ , коэффициентов пропускания излучения атмосферой  $T_{at}(\lambda)$ , объективом прибора  $T_{os}(\lambda)$ , оптикой переноса  $T_{op}(\lambda)$  и спектральной чувствительности фотокатода ЭОП  $S_{fk4}(\lambda)$ .

Исходными данными для расчёта являются характеристики входной оптики, характеристики прибора отображения, характеристики окружающей среды, характеристики цели, характеристики фотоприёмного модуля (ФПМ) ЭОП 5-го поколения.

При расчётах используются значения спектральной энергетической освещённости, создаваемой излучением Луны и излучением звёздного ночного неба  $W_{nn}(\lambda)$ . Спектральные характеристики объектов наблюдения  $P_{ob}(\lambda)$  типичны для полевой формы защитного цвета (объект наблюдения – ростовая фигура военнослужащего) и металлической поверхности, покрытой краской ХВС-518 (объект наблюдения – танк). Спектральная характеристика фона, окружающего объект наблюдения, является типовой для травяного покрова. Спектральные характеристики коэффициента пропускания атмосферы соответствуют стандартной (нормированной) атмосфере, при которой интегральный коэффициент пропускания равен 0,8 км. Спектральная характеристика чувствительности фотокатода ЭОП на основе GaAs является типовой.

Частотно-контрастные характеристики (ЧКХ) объектива, оптики переноса, ПЗС матрицы, монитора и собственно ЭОП, используемые для расчётов, получены путём измерения соответствующих характеристик образцов, изделий и приборов. Аналитическое выражение для ЧКХ атмосферы является типовым.

На основании исходных данных расчёт дальности обнаружения производится путём последовательного вычисления нижеперечисленных параметров [6].

Пространственная частота объекта наблюдения  $N(x)$  в зависимости от расстояния между прибором и объектом в данном методе имеет вид:

$$N(x) = (2 \cdot A_{ob} \cdot F_{ob} \cdot Geo)^{-1} \cdot x, \quad (1)$$

где  $A_{ob}$  – минимальный размер объекта (м);  $F_{ob}$  – фокусное расстояние объектива (мм);  $Geo$  – коэффициент электронно-оптического увеличения ЭОП;  $x$  – расстояние между объектом наблюдения и прибором.

Расстояние до объекта наблюдения  $L$  для конкретного значения пространственной частоты  $n$  на экране ОЭСНВ вычисляется по формуле:

$$L = 2 \cdot A_{ob} \cdot F_{ob} \cdot Geo \cdot n. \quad (2)$$

Влияние атмосферы на контраст описывается функцией:

$$Hat(x) = \frac{1}{1 + 0,97 \cdot (\exp(0,2 \cdot L(x) \cdot 10^{-3}) - 1)}. \quad (3)$$

Спектральная плотность мощности излучения объекта наблюдения в плоскости фотокатода описывается выражением:

$$W_{ob}(\lambda, x) = \pi \cdot W_{nn}(\lambda) \cdot We \cdot P_{ob}(\lambda) \cdot Tat(\lambda)^{x \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{D_{os}}{2 \cdot F_{ob}} \right)^2 \cdot Tos(\lambda), \quad (4)$$

где  $D_{os}$  – диаметр входного зрачка объектива (мм).

Яркость на экране ОЭСНВ, создаваемая излучением, отраженным от объекта наблюдения, описывается выражением:

$$B_{obs}(x) = S_{fkm} \cdot \frac{K_i \cdot U}{Geo^2} \cdot E_{ek} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_{ob}(\lambda, x) \cdot S_{fk4}(\lambda) \cdot Top(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

где  $S_{fkm}$  – чувствительность фотокатода ЭОП в максимуме спектральной характеристики (А/Вт);  $K_i$  – коэффициент усиления по току;  $U$  – напряжение на аноде (В);  $E_{ek}$  – светоотдача экрана ЭОП (кд/м<sup>2</sup>);  $\lambda_1, \lambda_2$  – начальная и конечная длины волны спектрального диапазона оптического излучения.

Спектральная плотность мощности излучения фона рядом с объектом наблюдения в плоскости фотокатода описывается выражением:

$$Wfn(\lambda, x) = \pi \cdot Wnn(\lambda) \cdot We \cdot Pfn(\lambda) \cdot Tat(\lambda)^{x \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{Dos}{2 \cdot Fob} \right)^2 \cdot Tos(\lambda), \quad (6)$$

где  $We$  – плотность потолка излучения ночного неба (свет звёзд) в максимуме спектральной характеристики ( $Вт/м^2$ ).

Яркость на экране ОЭСНВ, создаваемая излучением, отражённым от фона рядом с объектом наблюдения, описывается выражением:

$$Bfns(x) = Sfkm \cdot \frac{Ki \cdot U}{Geo^2} \cdot Eek \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Wfn(\lambda, x) \cdot Sfk4(\lambda) \cdot Top(\lambda) d\lambda. \quad (7)$$

Контраст объекта наблюдения на экране ОЭСНВ описывается выражением:

$$Krs(x) = \frac{Bfns(x) - Bobs(x)}{Bfns(x) + Bsh} \cdot Hat(x) \cdot Hpn(x), \quad (8)$$

где  $Hpn(x)$  – аппроксимация ЧКХ ОЭСНВ,  $Bsh$  – яркость темного фона экрана ( $кд/м^2$ ).

Пороговый контраст объекта наблюдения в функции пространственной частоты объекта наблюдения (для вероятности распознавания 0,8) описывается выражением:

$$Kps80(x) = 0,02 \cdot \frac{\exp\left(0,1 \cdot \frac{N(x)}{Gok}\right)}{\sqrt{Bfns(x)}}, \quad (9)$$

где  $Gok$  – увеличение оптики переноса (для варианта построения ФПМ ЭОП 5-го поколения с фотоно-чувствительной матрицей), крат.

Решение системы уравнений, состоящей из (8) и (9), даёт значение максимальной расчётной дальности распознавания объекта (цели) с заданной вероятностью 0,8.

На основании расчётной величины дальности действия производится оценка реализуемости технических требований к ОЭСНВ на основе ЭОП 5-го поколения путём сопоставления с требуемой дальностью действия.

### **Выводы**

Основным достоинством данного метода является снижение материальных и временных затрат на выбор технических решений при проектировании ОЭСНВ на основе ЭОП 5-го поколения.

К ограничениям применимости метода можно отнести отсутствие в математической модели функционирования ОЭСНВ функций времени накопления и выравнивания сигналов в используемых матрицах.

### **Литература**

1. Дегтярев Е. В., Хохорин А. С. Приборы ночного видения: перспективы развития компонентной базы. - Электроника: наука, технология, бизнес, 2005, № 8.
2. Аксененко М. Д., Дегтярев Е. В., Солодков А. А., Тебекин А. В. Анализ методик испытаний по дальности действия приборов ночного видения и тепловизионных приборов. - Вопросы оборонной техники, сер. 11, 1991, вып. 2(128).
3. ОТТ 7.2.14-85. Ракетно-артиллерийское вооружение Сухопутных войск. Оптико-электронные средства разведки. Типовые методики (методы) государственных испытаний. - М.: Воениздат, 1987.
4. ОСТ 3-21-70. Методика полевых и стендовых испытаний ПНВ на соответствие требованиям по дальности действия. - М.: НИИПФ, 1970.
5. Ллойд Дж. Системы тепловидения. - М.: Мир, 1978.
6. Пизюта Б. А. Расчёт дальности действия приборов ночного видения «Министерство науки, высшей школы и технической политики Российской Федерации, Новосибирский Орден «Знак почета» Институт инженеров геодезии, аэрофотосъёмки и картографии» г. Новосибирск, 1992.