

УДК 681.7

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Белохвостик Е. В.<sup>1</sup>, Жук М. А.<sup>2</sup>, Кузнецик В. О.<sup>1</sup><sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>УП «НТЦ «ЛЭМТ»

Минск, Беларусь

**Аннотация.** Описаны, используемые в настоящее время, методы оценки энергетических и функциональных параметров приборов ночного видения.

**Ключевые слова:** прибор ночного видения, электронно-оптический преобразователь, принцип действия, эффективность.

## EVALUATION OF ENERGY AND FUNCTIONAL PARAMETERS OF NIGHT VISION DEVICES

Belokhvostik E. V.<sup>1</sup>, Zhuk M. A.<sup>2</sup>, Kuznechik V. O.<sup>1</sup><sup>1</sup>Belarusian National Technical University<sup>2</sup>UE «STC «LEMT»

Minsk, Belarus

**Abstract.** The methods currently used for assessing the energy and functional parameters of night vision devices are described.

**Keywords:** night vision device, image intensifier tube, operating principle, efficiency.

Адрес для переписки: Белохвостик Е. В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: belokhvostikk7@gmail.com.

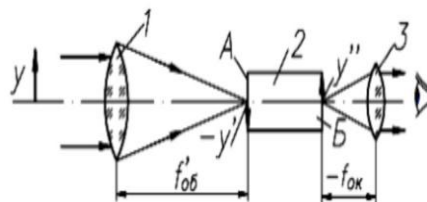
Приборы ночного видения (ПНВ) представляют собой сложные оптоэлектронные системы, предназначенные для визуализации объектов в условиях низкой освещенности.

ПНВ делятся по виду представления сигнала на аналоговые и цифровые, по принципу работы на активные и пассивные, по конструкции – на монокуляры, бинокуляры и псевдобинокуляры, очки, по назначению – приборы наблюдения и прицелы [1].

Современные ПНВ используют электронно-оптические преобразователи (ЭОП), тепловизионные сенсоры и цифровые алгоритмы обработки изображений. Эффективность ПНВ определяется совокупностью энергетических, оптических и сигнально-шумовых характеристик, которые подлежат количественной оценке [2].

Функционирование ПНВ основано на преобразовании фотонного потока, отраженного от наблюдаемого объекта, в электронный сигнал с последующим усилением и визуализацией. Ключевым элементом является ЭОП, работающий по принципу фотоэлектрического эффекта с последующим лавинным усилением и люминесцентной реконструкцией изображения. Идущие от объекта  $y$  ИК-лучи попадают в объектив 1 ЭОП на рисунке 1 и создают невидимое изображение  $y'$  в ИК области спектра на фотокатоде  $A$  ЭОП 2, которое затем преобразуется с помощью ЭОП в видимое  $y''$  на экране  $B$ , т.е. оптическое изображение с одним спектральным составом преобразуется в оптическое изображение с другим спектральным составом (с переходом через промежуточное электронное изображение), которое рассматривают через окуляр 3 прибора.

ЭОП одновременно выполняет роль оборачивающей системы, поэтому его линейное увеличение  $\beta_{\text{ЭОП}}$  является величиной отрицательной и обычно  $\beta_{\text{ЭОП}} = 1^x$ .



1 – объектив, 2 – ЭОП, 3 – окуляр, A – фотокатод, B – экран,  $y$  – размер объекта,  $y'$  – размер изображения объекта на фотокатоде ЭОП,  $y''$  – размер изображения объекта на экране ЭОП

Рисунок 1 – Схема ПНВ

Видимое увеличение  $\Gamma$  всей оптико-электронной системы ПНВ определяется из соотношения

$$\Gamma = \frac{f'_{\text{об}}}{f'_{\text{ок}}} \beta_{\text{ЭОП}}. \quad (1)$$

Так как  $\beta_{\text{ЭОП}}$  – величина отрицательная, то ПНВ формирует прямое изображение.

Эффективность ПНВ определяется рядом технических характеристик, среди которых ключевыми являются: разрешающая способность, отношение сигнал/шум и коэффициент совершенства. Каждый из этих параметров оказывает прямое влияние на качество визуализации, дальность обнаружения объектов и устойчивость прибора к фоновым помехам. Для комплексной оценки ПНВ необходимо рассмотреть указанные характеристики более подробно, начиная с разрешающей способности как базового критерия пространственной избирательности прибора.

Разрешающая способность измеряется числом штрихов, видимых раздельно на 1 мм длины фотокатода. В центре поля зрения ЭОП разрешающая способность достигает 50 линий на 1 мм и несколько снижается к краям поля [3].

Разрешающая способность объектива совместно с ЭОП рассчитывается по формуле:

$$A' = \frac{R_{\text{ЭОП}} \cdot f'_{\text{об}}}{f'_{\text{кол}}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{ЭОП}}$  – разрешающая способность фотокатода ЭОП,  $f'_{\text{об}}$  – фокусное расстояние объектива прибора,  $f'_{\text{кол}}$  – фокусное расстояние коллиматора.

Разрешающая способность ЭОП 3 поколения составляет 60–68 штр/мм (для расчета использовали 68 штр/мм, однако с учетом снижения разрешающей способности на оптику в приборе она составляет 60 штр/мм).

Разрешающая способность ЭОП 2 поколения составляет 35–57 штр/мм (для расчета использовали 57 штр/мм, однако с учетом снижения разрешающей способности на оптику в приборе она составляет 49 штр/мм).

Фокусное расстояние объектива прибора  $f'_{\text{об}} = 25,4$  мм.

Расчет разрешающей способности монокуляра при использовании ЭОП 3го поколения

$$\alpha' = \frac{R_{\text{ЭОП}} \cdot f'_{\text{об}}}{f'_{\text{кол}}} = \frac{60 \cdot 25,4}{560} = 2,72'.$$

Расчет разрешающей способности монокуляра при использовании ЭОП 2го поколения:

$$\alpha' = \frac{R_{\text{ЭОП}} \cdot f'_{\text{об}}}{f'_{\text{кол}}} = \frac{49 \cdot 25,4}{560} = 2,22'.$$

Отношение сигнал/шум (Signal-to-Noise Ratio, SNR) отражает способность прибора выделять полезный оптический сигнал от объекта на фоне различных шумов, возникающих в процессе преобразования, усиления и визуализации.

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{сигн}}}{P_{\text{шум}}}. \quad (3)$$

Для ЭОП 2го поколения:  $\text{SNR} = \frac{2,0}{0,12} = 16,7$ .

Для ЭОП 3го поколения:  $\text{SNR} = \frac{2,5}{0,08} = 31,25$ .

Коэффициент совершенства (Figure of Merit, FOM) – это интегральный параметр,

позволяющий количественно оценить эффективность ЭОП. Он объединяет разрешающую способность и SNR:

$$\text{FOM} = R \cdot \text{SNR}. \quad (4)$$

FOM отражает способность прибора формировать четкое изображение при слабом освещении и наличии шумов.

Для ЭОП 2го поколения:  $\text{FOM} = 49 \cdot 16,7 \approx 818$ .

Для ЭОП 3го поколения:  $\text{FOM} = 60 \cdot 31,25 \approx 1875$ .

ЭОП II поколения обеспечивают умеренное качество изображения, пригодное для наблюдения при слабом лунном или звездном освещении. Однако при освещенности ниже 0,01 лк наблюдается рост шумов и снижение детализации.

ЭОП III поколения демонстрируют высокую чувствительность, низкий уровень шумов и отличную детализацию изображения. Приборы с таким FOM способны работать в условиях полной темноты (освещенность менее 0,001 лк) и обеспечивают уверенное распознавание объектов на расстоянии до 500 м.

Параметры разрешающей способности, SNR и FOM являются фундаментальными для оценки качества ПНВ. Их совместный анализ позволяет объективно сравнивать приборы разных поколений, прогнозировать их поведение в реальных условиях и выбирать оптимальные решения для конкретных задач. Повышение FOM – ключ к созданию более надежных, чувствительных и точных приборов ночного видения будущего.

#### Литература

1. Грузевич, Ю. К. Оптико-электронные приборы ночного видения / Ю. К. Грузевич. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 276 с.
2. Ришар, Ж. Характеристики систем ночного видения / Ж. Ришар. – М.: Мир, 1991. – 295 с.
3. Берковский, А. Г. Вакуумные фотоэлектронные приборы / А. Г. Берковский, В. А. Гаванин, И. Н. Зайдель. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.

УДК 535.211; 621.315.592

### ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В Ge/Si ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ

Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

**Аннотация.** Проведено моделирование термостимулированной диффузии в GeSi гетероструктурах с квантовыми точками в условиях воздействия импульсами лазеров наносекундной длительности. Определены режимы частичного и полного растворения квантовых точек.

**Ключевые слова:** диффузия, гетероструктуры, квантовые точки, лазерный импульс, кремний, германий.

### LASER-INDUCED DIFFUSION PROCESSES IN Ge/Si HETEROSTRUCTURES WITH QUANTUM DOTS

Gatskevich E. I.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Abstract.** Modeling of thermostimulated diffusion in GeSi heterostructures with quantum dots under conditions of irradiation by nanosecond laser pulses has been carried out. Modes of partial and complete dissolution of quantum dots were determined.