

СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ ЭОП 3-го ПОКОЛЕНИЯ И МАТРИЦЫ ДЛЯ БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

Валерий Русланович Степанов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (999)463-19-71, e-mail: Stepanov-VR2018@sgugit.ru

Дмитрий Михайлович Никулин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)344-29-29, e-mail: dimflint@mail.ru

В ходе проведенной работы был проведен анализ производящихся дневно-ночных приборов. Анализ показал, что в данном сегменте преобладают приборы на основе ПЗС-матриц, но приборы данного типа не могут в полной мере называться ночными приборами, так как чувствительность используемых в их конструкциях матриц не позволяет вести наблюдение без подсветки при естественной ночной освещенности равной 10^{-3} лк. Известно, что ИК-подсветка является сильным демаскирующим фактором. Обеспечить приемлемое качество изображения при естественной ночной освещенности могут ЭОП. Но использование ЭОП в дневно-ночных приборах имеет ограничения. При длительном воздействии повышенной освещенности, фотокатод ЭОП быстро приходит в негодность, из-за чего при разработке дневно-ночного прибора необходимо предусматривать защиту ЭОП от дневного света. Таким образом было принято решение использовать в качестве приёмника изображения в ночном канале КМОП-матрицу. Что в свою очередь решает сразу несколько проблем. При использовании фотоприёмника пропадает необходимость в механическом переключении между каналами, так как отсутствует опасность засветки. Также спектральный диапазон чувствительности КМОП-матриц гораздо разнообразнее чем у ПЗС-матриц и ЭОП, что позволяет подобрать оптимальный диапазон частот и отказаться от подсветки при нормальной ночной освещенности.

В данной статье проведено сравнение расчетной дальности обнаружения прибора на основе ЭОП 3 поколения с прибором, в котором в качестве приёмника изображения используется КМОП-матрица.

Ключевые слова: дальность обнаружения прибора, прибор ночного видения, электронно-оптический преобразователь, КМОП-матрица.

COMPARISON OF THE CALCULATED WORKING RANGE OF THE THIRD GENERATION EOS AND MATRIX FOR NEAR IR RANGE

Valery R. Stepanov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (999)463-19-71, e-mail: Stepanov-VR2018@sgugit.ru

Dmitry M. Nikulin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)344-29-29, e-mail: dimflint@mail.ru

In the course of work on the master's thesis the analysis of daytime and night-time devices was carried out. The analysis showed that devices based on CCD-matrixes prevail in this segment, but the devices of this type cannot be fully called night devices, because the sensitivity of the matrixes used in their designs does not allow to observe without illumination at natural night illumination of 10-3 lux. It is known that IR illumination is a strong unmasking factor. EOS can provide acceptable image quality in natural nightlight. But their use in day-night devices has limitations. Under prolonged exposure to high light, the photocathode of EOS quickly becomes unusable, so when developing a day-night device must provide EOS protection from daylight. Thus it was decided to use CMOS-matrix as an image receiver in the night channel. This, in turn, solves several problems at once. When using the photoreceiver there is no need for mechanical switching between the channels, as there is no danger of light. Also the spectral range of sensitivity of CMOS-matrixes is much more various than that of CCD and EOS that allows to pick up an optimum range of frequencies and to refuse illumination at normal night illumination.

In this article a comparison of the calculated range of detection of the device on the basis of EOS of 3 generation with the device in which as the image receiver CMOS-matrix is used.

Key words: instrument range, night vision device, image intensifiers, CMOS matrix.

Введение

Одна из главных характеристик оптико-электронных приборов (ОЭП), показывающая его практическое применение – максимальная дальность действия. В современных приборах ночного видения (ПНВ), на данную характеристику совместно с оптической схемой, влияет используемый в приборе светочувствительный элемент или фотоприемник (фотоприемное устройство). В качестве фотоприемных устройств в ПНВ используют: электронно-оптические преобразователи (ЭОП), ПЗС или КМОП-матрицы.

Установка тех или иных фотоприемных устройств в ПНВ, в значительной степени зависит от назначения и области применения прибора.

Сравнение фотоприемных устройств

При исследовании вопроса использования в ночном канале оптико-электронного прибора, в качестве фотоприемного устройства ЭОП 3-го поколения или КМОП-матрицы необходимо сравнение двух различных фотоприёмников, что является сложной задачей по ряду причин:

1) Различные физические принципы работы выбранных фотоприёмников: ЭОП усиливает поток фотонов, падающих на фотокатод, а матрицы накапливают достаточное для отклика количество энергии фотонов.

2) Использование различных единиц измерения для описания характеристик приёмников. Интегральная чувствительность ЭОП имеет размерность А/лм, тогда как у большинства матриц данная характеристика не указывается.

3) Концептуальные различия: ЭОП не имеет пикселей в своей структуре и не выводит изображение покадрово [1].

Основные технические характеристики фотоприемных устройств, определяющие их максимальную дальность действия – интегральная чувствительность, плотность темнового тока, коэффициент использования излучения.

Для сравнения рассматривается лучший ЭОП 3-го поколения, изготавливаемый на АО «Катод», основные энергетические и оптические параметры которого представлены в табл. 1 [2].

Таблица 1

Характеристики ЭОП 3го поколения

Параметр	Значение
Интегральная чувствительность, А/лм	0,002
Спектральная чувствительность (850 нм), А/Вт	0,19
Плотность темнового тока, А/см ²	5·10 ⁻¹²

Расчёт дальности действия ЭОП выполняется по известной формуле [3]:

$$L_{max} = - \frac{\ln\left(\frac{4I_T(k_{пор} + 1)}{\varphi\tau_0 q^2 k \rho_{об} E_{об}}\right)}{\beta}, \quad (1)$$

где L_{max} – дальность, м;

I_T – плотность темнового тока, А/см²;

$k_{пор}$ – пороговый контраст;

φ – интегральная чувствительность, А/лм;

τ_0 – спектральное пропускание объектива;

q – относительное отверстие;

k – коэффициент использования излучения;

$\rho_{об}$ – коэффициент альбедо объекта;

$E_{об}$ – освещённость объекта, лк;

β – показатель ослабления, м⁻¹.

Показатель ослабления среды β связан с безразмерным показателем ослабления и рассчитывается по формуле [4]:

$$\beta = \frac{4\pi k}{\lambda}, \quad (2)$$

где k – безразмерный показатель ослабления;

λ – длина волны. Расчёт проводился по методике, приведенный в [5].

Значения спектрального пропускания объектива τ_0 и относительного отверстия q соответствуют прибору, выпускаемому ООО «Катод» НМП-2ВР.

После подстановки в формулу (1), известных и стандартных величин [5], для ЭОП 3-го поколения, приведенных в табл. 2, расчетная дальность обнаружения у выбранного прибора на основе ЭОП составит около 700 м, что соответствует средней дистанции обнаружения среди приборов с ЭОП 3-го поколения.

Таблица 2

Данные для расчета дальности

Параметр	Значение
Плотность темного тока, А/см ²	$5 \cdot 10^{-14}$
Пороговый контраст	0,1
Интегральная чувствительность, А/лм	0,002
Спектральное пропускание объектива	0,95
Относительное отверстие	1:2
Коэффициент использования излучения	0,65
Коэффициент альbedo объекта	0,4
Освещённость объекта, лк	0,0001
Показатель ослабления, м ⁻¹	0,0145
Дальность, м	704

Для сравнения с ЭОП, рассматривается в качестве фотоприёмника КМОП-матрица на основе InGaAs HAMAMATSU G13393-0909W. Рабочая область данной матрицы (от 0,9 до 1,7 мкм) захватывает два диапазона электромагнитных волн – это NIR (от 0,7 до 1,4 мкм) и SWIR (от 1,4 до 3 мкм), что обеспечивает возможность ведения наблюдения в сложных метеорологических условиях [6]. Также данная матрица обладает достаточно высоким разрешением среди аналогичных матриц, высокой эффективностью преобразования энергии и высокой частотой обновления кадров. Характеристики необходимые для расчёта дальности обнаружения прибора на основе матрицы, приведены в табл. 3 [7].

Таблица 3

Характеристики КМОП-матрицы

Параметр	Значение
Спектральная чувствительность (1,55 мкм), А/Вт	0,8
Плотность темного тока, А/см ²	$5 \cdot 10^{-14}$
Пороговый контраст	0,1
Интегральная чувствительность, А/лм	0,45
Спектральное пропускание объектива	0,45
Относительное отверстие	0,5
Коэффициент использования излучения	1
Коэффициент альbedo объекта	0,4
Освещённость объекта, лк	0,0001
Показатель ослабления, м ⁻¹	0,0079
Дальность, м	1289

Несмотря на то, что принцип работы рассматриваемых фотоприемных устройств основан на разных физических явлениях [8], дальность обнаружения прибора на основе КМОП-матрицы, также рассчитывается по формуле (1). Дальность обнаружения прибора с выбранной КМОП-матрицей составляет около 1300 м.

Заключение

1) Дальность обнаружения прибора с выбранной КМОП-матрицей, работающей в более длинноволновой области, почти в 2 раза лучше, чем у ЭОП 3-го поколения.

2) Преимуществом КМОП-матрицы перед ЭОП является то, что она не боится засветки и может работать и днем, и ночью.

3) Известно, что в области электромагнитных излучений с длиной волны выше 0,9 мкм имеет более высокую интенсивность излучения ночного неба и более высокую разницу в коэффициентах отражения естественных и искусственных объектов [9]. Это является дополнительным преимуществом приборов с представленной КМОП-матрицей перед аналогичным прибором на основе ЭОП, работающего в спектральном диапазоне от 0,55 мкм до 0,93 мкм с максимальной чувствительностью на длине волны равной 0,85 мкм.

4) Преимуществом цифровых приёмников является наличие программного управления, что позволяет управлять характеристиками приёмника и модифицировать получаемое изображение [10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ibsen photonics: Calculating quantum efficiency from A/W [Электронный ресурс].-Режим доступа: <https://ibsen.com/technology/detector-tutorial/calculating-quantum-efficiency/>. (дата обращения: 05.04.2020).

2. Katod: Электронно-оптический преобразователь ЭПМ102Г-05-22 [Электронный ресурс].-Режим доступа: <http://katodnv.com/download/rus/3generation/stekl/> (дата обращения: 03.04.2020).

3. Разумовский И.Т. Приборы ночного видения [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=26 (дата обращения 03.04.2020)

4. Сивухин Д.В. Общий курс физики [Электронный ресурс].- Поглощение света и уширение спектральных линий / М., 2005.— Т.IV. Оптика.— С.582—583.- Режим доступа: <http://www.orenport.ru/images/doc/833/sivuhin4.pdf> (дата обращения: 05.04.2020).

5. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники[Текст]: справочник / Л. З. Криксунов. - М. : Сов. радио, 1978. - 400 с.

6. Птицын, А. Что мы видим и что не видим? [Электронный ресурс] / А. Птицын. Режим доступа: http://www.photonics.su/files/article_pdf/4/article_4650_677.pdf. (дата обращения: 10.04.2020).

7. InGaAs area image sensor G13393 [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/g13393-0909w_kmir1027e.pdf (дата обращения 05.04.2020)

8. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов [Текст]: учебник для вузов. –Изд. 6-е, перераб. и доп. –М.: Логос, 2011. –568 с.

9. Торшина И.П., Якушенков Ю.Г., Выбор приемника излучения при проектировании оптико-электронного прибора [Электронный ресурс] / И.П. Торшина, Ю.Г. Якушенков. Режим доступа:<http://www.miigaik.ru/upload/iblock/49d/49d62871c8d82888e34ef14302ff6df3.pdf> (дата обращения: 10.04.2020).

10. Бегучев В. П., Чапкевич А. Л., Филачев А. М. Электронно-оптические преобразователи. Состояние и тенденции развития [Электронный ресурс] / В. П. Бегучев, А.Л. Чапкевич, А.М. Филачев. Режим доступа: <http://applphys.orion-ir.ru/appl-99/99-2/99-2-23r.htm> (дата обращения: 10.04.2020).

© В. Р. Степанов, Д. М. Никулин, 2020