



ЭОП или телевизионная матрица: аспекты эффективности применения

А. В. Медведев¹, А. В. Гринкевич², С. Н. Князева³

¹ ОАО «Ростовский оптико-механический завод, Ростов Великий, Ярославская обл., Россия

² ЗАО «ЭВС», Москва, Россия

³ ОКБ ОАО «Ростовский оптико-механический завод», Ростов Великий, Ярославская обл., Россия

В статье рассмотрены аспекты двух конструктивных решений для многоспектральных приборов. Решения даны в виде комбинации взаимодополняющих друг друга каналов: тепловизионного канала с каналом на телевизионном сенсоре и тепловизионного канала с каналом, построенным на электронно-оптическом преобразователе. Приведены методы повышения эффективности каждой комбинации согласованных наблюдательных систем с расширенными границами применимости в различных условиях внешних воздействий.

Ключевые слова: многоспектральный прибор, тепловизионный канал, телевизионный канал, электронно-оптический преобразователь.

Статья получена: 27.02.2020

Принята к публикации: 09.04.2020

ВВЕДЕНИЕ

Расширенные возможности и многофункциональность многоканальных многоспектральных оптико-электронных систем наблюдения сегодня обсуждаются достаточно широко. Непременной и самой популярной составной частью таких систем становятся тепловизионные (ТПВ) наблюдательные каналы, способные функционировать независимо от внешней освещенности.

Image Intensifier Tube or Television Matrix: Aspects of Application Efficiency

A. V. Medvedev¹, A. V. Grinkevich², S. N. Knyazeva³

¹ Rostov Optical and Mechanical Plant OJSC (ROMZ OJSC), Rostov Veliky, Yaroslavl Region, Russia.

² ZAO EVS, Moscow, Russia.

³ Design Bureau of OJSC Rostov Optical and Mechanical Plant, (OJSC ROMZ), Rostov the Great, Yaroslavl Region, Russia.

The article discusses aspects of two design solutions for multispectral instruments. The solutions are given in the form of a combination of mutually complementary channels: a thermal imaging channel with a television sensor channel and a thermal imaging channel with a channel built on an electron-optical converter. The methods for increasing the efficiency of each combination of coordinated observing systems with extended limits of applicability in various conditions of external influences are given.

Key words: multispectral device, thermal imaging channel, television channel, image intensifier tube.

Received on: 27.02.2020

Accepted on: 09.04.2020

INTRODUCTION

The advanced capabilities and multifunctionality of multichannel multispectral optoelectronic observation systems are widely discussed today. An indispensable and most popular component of such systems is thermal imaging (TI) observation channels that can function regardless of ambient light.

This interest is understandable. Possessing a high detection probability, TIs provide almost unconditional identification of objects with a positive thermal contrast against the background of the general image of the surrounding environment. When the temperature of an object is higher than the temperature of the background, then the probability of its detection remains even if its image occupies

Этот интерес вполне объясним. Обладая высокой вероятностью обнаружения, ТПВ обеспечивают практически безусловное выделение объектов с положительным тепловым контрастом на фоне общего изображения окружающей обстановки. Когда температура объекта выше температуры фона, то вероятность его обнаружения сохраняется даже при условии, когда его изображение занимает площадь, меньшую площадки одного элемента фотоприемника. Причина кроется в том, что интегральный поток излучения, попадающий на этот единственный элемент, формирует сигнал, достаточный для выделения объекта на температурном фоне окружающей обстановки.

Дистанционные возможности такого точечного обнаружения сильно нагретых предметов могут выходить далеко за пределы, рассчитанные на основе критериев Джонсона. При этом возможность обнаружения будет в значительной мере определяться энергетическими характеристиками объекта. Это позволяет обнаруживать его на дистанциях, значительно превышающих расчетные значения.

Отметим, что ТПВ-системы проявляют значительные преимущества по сравнению с классическими приборами ночного видения (ПНВ) на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Это проявляется в обнаружении объектов на дистанциях, почти в 4 раза больших, чем дистанции опознавания. В то время как в ПНВ на ЭОП дистанции обнаружения могут превышать дистанции опознавания всего лишь в $\sim 1,5-2$ раза.

Не секрет, что тепловая сигнатура объектов сильно зависит не только от состояния самого объекта, но и от внешних условий: тепловое изображение в дождливую погоду будет отличаться от изображения в сухое время из-за маскирующего воздействия воды и грязи. В этих условиях объект и фон могут иметь одинаковую температуру, то есть изображение будет обладать нулевым тепловым контрастом. Такие условия не позволят обнаружить объект даже на близких дистанциях, независимо от разрешения изображения.

Расчетная зависимость дальности обнаружения от теплового контраста квадратных объектов в виде квадрата различной площади [1] представлена на рис. 1. Расчет проведен для метеорологической дальности видимости (МДВ) 20 км и отношения сигнал/шум 3,2. При этом для чистоты эксперимента при расчете использовались данные объективов, имеющих идентичные характеристики по фокусным расстояниям, светосиле и пропусканию.

an area smaller than the area of one element of the photodetector. The reason lies in the fact that the integral radiation flux falling on this single element generates a signal sufficient to highlight the object against the temperature background of the surrounding environment.

The remote sensing capabilities of such pinpoint detection of highly heated objects can go far beyond those calculated based on Johnson's criteria. In this case, the possibility of detection will be largely determined by the energy characteristics of the object. This allows it to be detected at distances significantly exceeding the calculated values.

It should be noted that TI systems show significant advantages in comparison with classical night vision devices (NVDs) based on image intensifier tubes (IIT). This is manifested in the detection of objects at distances that are almost 4 times greater than the identification distance. Whereas in night vision devices on image intensifier tubes, the detection distances can exceed the identification distances by only ~ 1.5 to 2 times.

It is no secret that the thermal signature of objects strongly depends not only on the state of the object itself, but also on external conditions: the thermal image in rainy weather will differ from the image in dry time due to the masking effect of water and dirt. Under these conditions, the object and background can have the same temperature, that is, the image

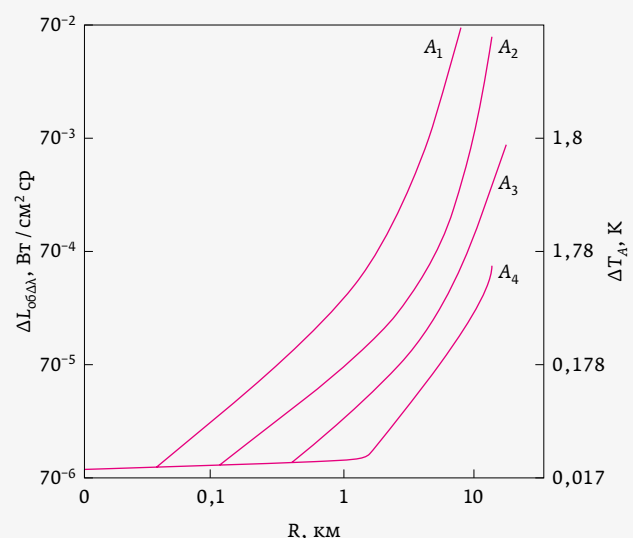


Рис. 1. Расчетная зависимость дальности обнаружения от теплового контраста квадратного объекта

Fig. 1. Calculated dependence of the detection range of the thermal contrast square of the first object

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ

Для оценки эффективности ТПВ-прибора принято использовать значение теплового контраста 1,5 К. В стандартных условиях применения приборов реальные контрасты не превышают (0,8–0,9) К.

На рис. 2 приведены известные зависимости дальности до объекта от отношения сигнал/шум при различных значениях температурного контраста для малоразмерных целей типа беспилотных летательных аппаратов площадью $A=(0,25-0,5)$ м². Результаты получены при следующих исходных условиях: дисперсный состав воздуха соответствует континентальному умеренному поясу в летний сезон; спектральный диапазон 8–12 мкм; МДВ=20 км; прибор с матрицей фирмы OPGAL формата 640×480 элементов с размером пиксела 17×17 мкм со значением эквивалентной шуму разности температур (ЭШРТ) не более 50 мК и объективом с фокусным расстоянием 210 мм и светосилой 1:1. Превышение температуры объекта над температурой окружающего фона в значительной степени определяет вероятность обнаружения объекта, и анализ зависимостей (см. рис. 2) это подтверждает.

Особенность обнаружения и сопровождения воздушных объектов связана с необходимостью обеспечить величину сигнал/шум не менее 6 единиц. Эта величина является пороговой характеристикой тепловизионного автомата захвата воздушных объектов на различных дальностях (см. рис. 2: точечная пунктирная линия). При равенстве температур объекта и фона (тепловой контраст равен нулю) ТПВ-системы не могут обнаружить цель на любых дистанциях.

Действительно, дважды в сутки объекты без внутренних источников тепла проявляют нулевой средний тепловой контраст с окружающей средой. Это обусловлено различной тепловой инерцией и различными законами нагрева или охлаждения приборных корпусов и фона – полуограниченного массива грунта.

Однако вероятность обнаружения и опознавания определяется не средним тепловым контрастом, а величиной контраста Дойла [2]: $\Delta T_{RD} = \sqrt{\Delta T_R^2 + \sigma_{\Delta T}^2}$, где ΔT_R – средний по площади объекта тепловой контраст;

will have zero thermal contrast. Such conditions will not allow detecting an object even at close distances, regardless of the image resolution.

The calculated dependence of the detection range on the thermal contrast of square objects in the form of a square of different areas [1] is shown in Fig.1. The calculation was carried out for a meteorological visibility range (MVR) of 20 km and a signal-to-noise ratio of 3.2. At the same time, for the purity of the experiment, the calculations used the data of lenses with identical characteristics in terms of focal lengths, luminosity and transmission.

METHODS FOR ASSESSING THE PERFORMANCE OF THE DEVICES

To assess the efficiency of a TI device, it is customary to use a thermal contrast value of 1.5K. Under standard conditions of using the devices, real contrasts do not exceed (0.8–0.9) K.

Figure 2 shows the known dependences of the distance to the object on the signal-to-noise ratio at various values of the temperature contrast for small targets such as unmanned aerial vehicles with an area of $A=(0.25-0.5)$ м². The results were obtained under the following initial conditions: the dispersed air composition corresponds to the continental temperate zone in the summer season; spectral range 8–12 μm; MVR=20 km; a device with an OPGAL matrix of 640×480 elements with a pixel size of 17×17 μm with an noise equivalent temperature difference (NETD) no more than 50 mK and a lens with a focal length of 210 mm and aperture ratio of 1:1. The excess of the object temperature over the ambient background temperature largely

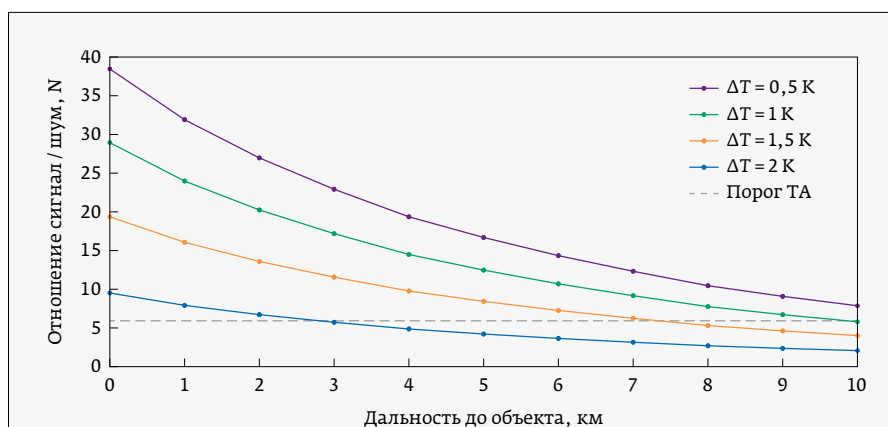


Рис. 2. Зависимость дальности до объекта от величины параметра «сигнал/шум» для объектов с различными тепловыми контрастами

Fig. 2. Dependence of the distance to the object on the value of the "signal / noise" parameter for objects with different thermal contrasts

$\sigma_{\Delta T}$ – среднеквадратическое отклонение вариаций контраста по площади объекта. На практике мы имеем $\sigma_{\Delta T} > 0$ и $\Delta T_{RD} \neq 0$.

Однако в действительности встречаются неблагоприятные условия в виде, например, длительного моросящего дождя и отсутствия солнца. При этом значение $\sigma_{\Delta T}$ также приблизится к нулю, и видимость в ТПВ-канал будет практически нулевой. В этих условиях повысить эффективность прибора с ТПВ-каналом можно путем его дополнительного оснащения наблюдательным каналом на основе ЭОП или низкоуровневым телевизионным каналом.

Физический принцип работы этих обоих каналов коренным образом отличается от принципа функционирования ТПВ-канала. В его основе – эффект регистрации отраженного от целей естественного света в видимом и ближнем ИК-диапазоне. Использование такого принципа открывает целый ряд преимуществ.

В первую очередь – это более комфортные условия распознавания и идентификации по видимому изображению. Полученное изображение по сравнению с тепловизионным изображением того же масштаба имеет большее числа характерных особенностей и соответственно более высокий потенциал выделения контрастных зон. Что позволяет опознать объект и определить его принадлежность по внешним характерным признакам.

Наиболее часто конструкцию информационных каналов наблюдательных приборов строят на основе комбинации каналов на ТПВ-приемнике и видеокамере. Эти каналы по многим параметрам взаимно дополняют друг друга. При объединении в согласованную наблюдательную систему их эффективность повышается, а границы применимости прибора расширяются. Система сохраняет работоспособность даже тогда, когда в условиях внешних воздействий один из каналов становится малоэффективным.

В результате экспериментальных исследований с применением отечественного тепловизора ТТП-1 и зарубежного телевизионного прибора PZB-200 была подтверждена эффективность применения сочетания ТПВ и телевизионного (ТВ) кана-

л определяет вероятность обнаружения объекта, и анализ зависимостей (см. рис. 2) подтверждает это.

Особенностью обнаружения и сопровождения воздушных объектов является необходимость обеспечения отношения сигнал-шум не менее 6 единиц. Это значение является пороговой характеристикой тепловизионной машины для захвата воздушных объектов на различных дистанциях (см. рис. 2: пунктирная линия). Когда температуры объекта и фона равны (тепловой контраст равен нулю), ТИ системы не могут обнаружить цель на любой дистанции.

На самом деле, дважды в день, объекты без внутренних источников тепла имеют нулевую среднюю тепловую контрастность с окружающей средой. Это связано с различной тепловой инерцией и различными законами нагрева или охлаждения в различных случаях и фона, а также с ограниченной массой почвы.

Однако, вероятность обнаружения и идентификации определяется не средней тепловой контрастностью, а контрастом Доула [2]: $\Delta T_{RD} = \sqrt{\Delta T_R^2 + \sigma_{\Delta T}^2}$, где ΔT_R – средняя тепловая контрастность по площади объекта; $\sigma_{\Delta T}$ – стандартное отклонение контрастных вариаций по площади объекта. На практике, мы имеем $\sigma_{\Delta T} > 0$ и $\Delta T_{RD} \neq 0$.

Однако, в реальности существуют неблагоприятные условия в виде, например, длительного моросящего дождя и отсутствия солнца. В этом случае, значение $\sigma_{\Delta T}$ также приблизится к нулю, и видимость в ТИ канале будет практически равна нулю. В этих условиях эффективность прибора с ТИ каналом можно повысить, дополнив его каналом с ТПВ-приемником.

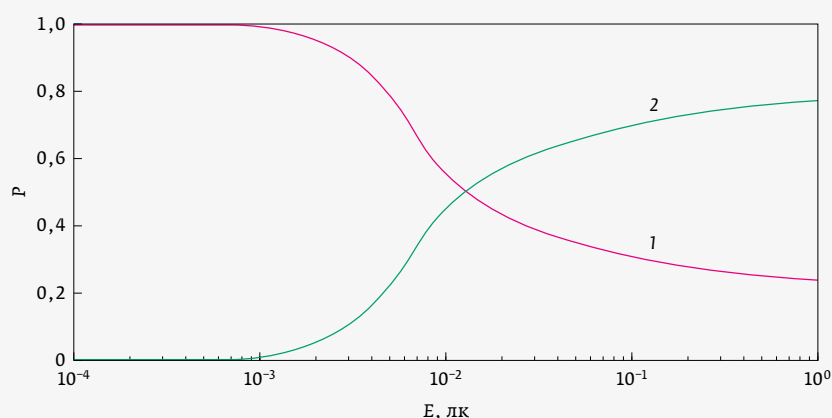


Рис. 3. Зависимость частоты использования ТПВ- и ТВ-каналов от уровня естественной освещенности местности в процессе поиска объектов (кривая 1 – ТПВ-канал; кривая 2 – ТВ-канал)

Fig. 3. Dependence of the frequency of using TI and TV channels on the level of natural illumination of the area in the process of searching for objects (curve 1 – TI channel; curve 2 – TV channel)



лов (рис. 3). При освещенности, меньшей или равной $5 \cdot 10^{-3}$ лк, дальность обнаружения ТВ-каналом резко падает, и подавляющее большинство случаев обнаружения объектов обеспечивает ТПВ-канал. Объяснение кроется в независимости работы ТПВ-канала от уровня освещенности. С повышением уровня освещенности увеличивается доля ситуаций, в которых дальность ТВ-канала оказывается выше дальности действия тепловизора. В диапазоне освещенности $(1-2) \cdot 10^{-2}$ лк эффективность обоих каналов была определена примерно одинаковой.

Полагаем, что применение дополнительно к ТВ- и ТПВ-каналам других наблюдательных каналов нецелесообразно. Поясним свое мнение: дополнительные каналы будут либо функционально дублировать основные каналы, либо эффект от их использования будет несопоставим по сравнению с издержками от их введения в систему.

СОВРЕМЕННЫЕ ЭОП И МЕТОДЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Однако следует отметить, что усилители изображения на основе ЭОП позволяют наблюдать сцены с более низкой освещенностью по сравнению с той, которую достигают обычные видеокамеры. Это связано с тем, что пороговая чувствительность телевизионных приемников уступает порогам, обеспечиваемым электронно-оптическими преобразователями. Именно поэтому технология усиления яркости изображения и сегодня сохраняет прочные позиции при производстве ночных наблюдательных приборов.

Одной из последних мировых новинок стал ЭОП Photonis 4G+, у которого уже налажен серийный выпуск. Прибор представляет собой доработку более ранней версии ЭОП 4G. Минимальная добротность (определяется как произведение величины «сигнал-шум» на предельную разрешающую способность в лин/мм) была увеличена до 2200 в новой модификации, т. е. более чем на 20%.

В качестве примера отечественных ЭОП с высокими характеристиками приведем герметизированные электронно-оптические преобразователи серии ЭПМ144Г (табл. 1). Преобразователи снабжены микроканальным усилением и встроенным источником питания импульсного напряжения, включающим схему автоматической регулировки яркости (АРЯ) производства АО «Катод» (г. Новосибирск). ЭОП имеют фотокатод на основе GaAs с отрицательным электронным средством, плоский или сферический экран на стеклянном диске или волоконно-оптическом элементе. Приборы

an observation channel based on an image intensifier tube or a low-level television channel.

The physical principle of operation of these two channels is fundamentally different from the principle of operation of the TI channel. It is based on the registration effect of natural light reflected from targets in the visible and near-infrared range. The use of this principle offers a number of advantages.

First of all, these are more comfortable conditions for recognition and identification in the visible image. The resulting image, in comparison with a thermal image of the same scale, has a greater number of characteristic features and, accordingly, a higher potential for highlighting contrasting zones. That allows you to identify the object and determine its belonging by external characteristic features.

Most often, the design of information channels for observation devices is based on a combination of channels on a TI receiver and a video camera. These channels complement each other in many ways. When combined into a consistent observing system, their efficiency increases, and the limits of the device's applicability expand. The system remains operational even when, under conditions of external influences, one of the channels becomes ineffective.

As a result of experimental studies using the domestic thermal imager TTP-1 and the foreign television device PZB-200, the effectiveness of using a combination of TI and television (TV) channels was confirmed (Fig. 3). When the illumination is less than or equal to $5 \cdot 10^{-3}$ lux, the detection range of the TV channel drops sharply, and the overwhelming majority of cases of object detection are provided by the TI channel. The explanation lies in the independence of the TI channel from the illumination level. As the illumination level increases, the proportion of situations in which the range of the TV channel turns out to be higher than the range of the thermal imager increases. In the illumination range $(1-2) \cdot 10^{-2}$ lux, the efficiency of both channels was determined to be approximately the same.

We believe that the use of other observation channels in addition to TV and TI channels is impractical. Let us explain our opinion: additional channels will either functionally duplicate the main channels, or the effect of their use will be incomparable in comparison with the costs of their introduction into the system.

MODERN IMAGE INTENSIFIER TUBES AND METHODS FOR THEIR IMPROVEMENT

However, it should be noted that image intensifier tubes based on image intensifier tubes make it pos-

предназначены для усиления слабых световых потоков в диапазоне длин волн от 500 до 900 нм при освещенностях от $1 \cdot 10^{-3}$ до 200 лк.

На выставке Africa Aerospace and Defence (сентябрь 2018 года) компания Photonis представила устройство ЕВСМОС, которое имеет функцию слияния изображений с двух каналов. Ночной канал устройства ЕВСМОС позиционируется Photonis, выполненным на основе электронно-оптического преобразователя, в котором микроканальная пластина (МКП) и фосфорный экран заменены специальным КМОП-фотоприемником. В настоящее время такая ночная технология на ЭОП доступна с двумя разрешениями (2 и 4 мегапиксела), что предоставляет пользователям качественное и контрастное изображение.

В связи с активными работами по совершенствованию ЭОП достаточно интересно сравнить дальность опознавания фигуры человека на контрастном фоне для каналов с ЭОП разных поколений. Обобщенные данные (табл. 2) стали результатами расчетов по стандартным методикам [3] и полевых испытаний.

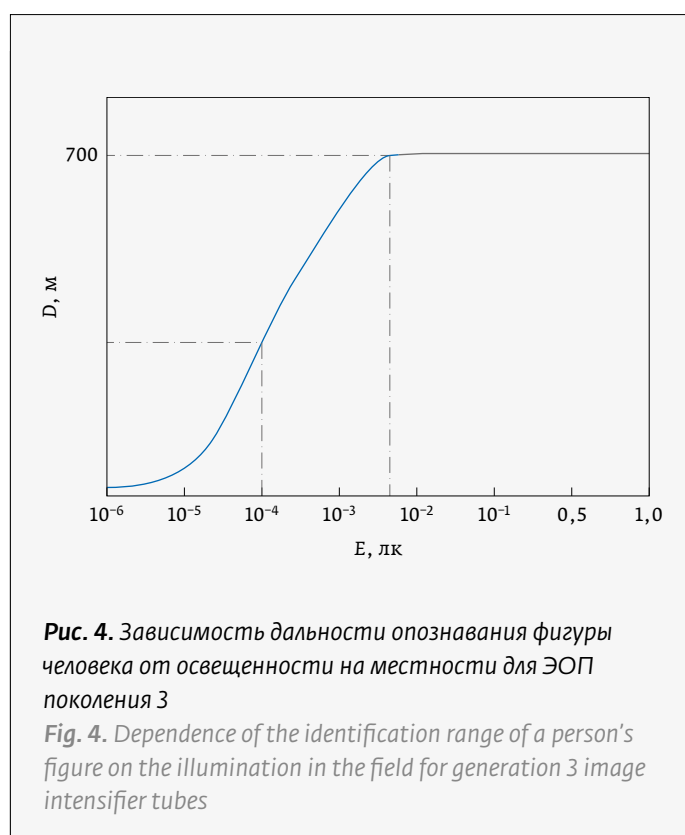
Наиболее доступны на отечественном рынке ЭОП электронно-оптические преобразователи типов ЭПМ-62Г, ЭПМ-65Г производства АО «Катод» (г. Новосибирск). ЭОП типов ЭПМ-62Г, ЭПМ-65Г представляют собой поколение III с автоматической регулировкой яркости, прямым переносом изображения, полупроводниковым фотокатодом, а также микроканальной пластиной (МКП), установленной между фотокатодом и экраном желтого свечения.

Оценить дальность опознавания фигуры человека на контрастном фоне для канала с отечественным ЭОП (например, типа ЭПМ-62Г) можно по расчетному графику (рис. 4). Безусловно, для канала с ЭОП условия наблюдения будут в основном определяться уровнем естественной ночной освещенности (ЕНО). При ее снижении значения дальности обнаружения и распознавания будут уменьшаться вплоть до полной потери видимости.

Таблица 1. Основные технические характеристики ЭПМ-144Г

Table 1. Main technical characteristics of EPM-144G

Параметры Parameters	Значение Value
Интегральная чувствительность фотокатода, мкА/лм, не менее Integral photocathode sensitivity, $\mu\text{A}/\text{lm}$, minimum	1800
Спектральная чувствительность фотокатода на длине волны 850 нм, мА/Вт, не менее Spectral sensitivity of the photocathode at a wavelength of 850 nm, mA/W, minimum	170
Коэффициент преобразования при освещенности $2 \cdot 10^{-5}$ лк Conversion factor at illumination of $2 \cdot 10^{-5}$ lx	$6 \cdot 10^4$
Предел разрешения, штр/мм Resolution limit, lines/mm	60
Разрешение при освещенности 200 лк, штр/мм Resolution at illumination of 200 lux, lines/mm	36
Входной эквивалент темного тока, мклк Input equivalent of dark current, μlx	0,25
Отношение «сигнал/шум» Signal to noise ratio	23
Коэффициент передачи контраста на пространственных частотах: – 2,5 штр/мм – 7,5 штр/мм – 15 штр/мм	Contrast transmission coefficient at spatial frequencies: – 2.5 lines/mm – 7.5 lines/mm – 15 lines/mm
	0,90 0,78 0,58





В этом случае оценка дальности видения базируется на основной геометрической формуле дальности приборов, использующих ЭОП: $D = b/\alpha_{\Sigma}$, где b – размер элемента разложения, необходимый для обнаружения или опознавания, м; α_{Σ} – суммарная разрешающая способность канала ПНВ.

В общем случае суммарная угловая разрешающая способность прибора зависит от ЕНО и ряда составляющих и определяется как:

$$\alpha_{\Sigma} = \sqrt{\alpha_{\text{стр.}}^2 + \alpha_{\text{гл.пр.}}^2 + \alpha_{\text{эл.}}^2},$$

где $\alpha_{\text{стр.}}$ – структурная угловая разрешающая способность прибора, зависящая от параметров оптической системы прибора и учитывающая его геометрические несовершенства; $\alpha_{\text{гл.пр.}}$ – предельная угловая разрешающая способность глаза, приведенная к фотокатоду ЭОП; $\alpha_{\text{эл.}}$ – предельная разрешающая способность фотокатода ЭОП, обусловлена флуктуацией потока электронов (фотоэлектронов).

Расчетные данные подтверждены результатами натуральных испытаний, расхождение между расчетными и фактическими значениями дальностей опознавания (табл. 2) не превышает 10–15%.

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРИБОРОВ

Так же как объединение в одном приборе ТПВ- и ТВ- каналов комбинация тепловизионного канала и канала на ЭОП дает возможность постро-

сible to observe scenes with lower illumination compared to that achieved by conventional video cameras. This is due to the fact that the threshold sensitivity of television receivers is inferior to the thresholds provided by electron-optical converters. That is why the technology for enhancing the brightness of the image today retains its strong position in the production of night observation devices.

One of the latest world novelties is the Photonis 4G+ image intensifier tube, which has already been in serial production. The device is a revision of an earlier version of the 4G image intensifier tube. The minimum quality factor (defined as the product of the «signal-to-noise» value by the limiting resolution in lines/mm) was increased to 2200 in the new modification, i. e. more than 20%.

As an example of domestic image intensifier tubes with high characteristics, let us cite sealed image intensifier tubes EPM144G series (Table 1). The transducers are equipped with microchannel amplification and a built-in pulse voltage power supply, which includes an automatic brightness control (ABC) circuit produced by Katod JSC (Novosibirsk). Image intensifier tubes have a photocathode based on gallium arsenide GaAs with negative electronic affinity, a flat or spherical screen on a glass disk or a fiberoptic element. The devices are designed to amplify weak light fluxes in the wavelength range from 500 to 900 nm at illumination levels from $1 \cdot 10^{-3}$ to 200 lux.

At Africa Aerospace and Defense (September 2018), Photonis unveiled EBCMOS, which has dual channel

Таблица 2. Дальность опознавания фигуры человека

Table 2. Human figure recognition range

Условия Conditions	Освещенность, лк Illumination, lx				
	0,1 (полная Луна) 0.1 (full moon)	0,05 (половина Луны) 0.05 (half moon)	0,01 (четверть-Луны) 0.01 (quarter moon)	0,001 (звездное небо) 0.001 (starry sky)	0,0001 (облачное звездное небо) 0.0001 (cloudy starry sky)
Без прибора ночного видения, м Without night vision device, m	230	130	45	–	–
Поколение I, м Generation I, m	300	200	150	100	50
Поколение II, м Generation II, m	630	630	590	390	145
Поколение III, м Generation III, m	810	810	770	530	200



Рис. 5. Пример объединения двух каналов: слева – тепловизионное изображение; справа – изображение с большей детализацией благодаря комплексированию с ЭОП

Fig. 5. Example of combining two channels: on the left – a thermal image; on the right – an image with greater detail due to integration with the image intensifier

ения эффективной наблюдательной системы, позволяющей использовать преимущества каждого из каналов в определенных условиях при меняющихся внешних параметрах наблюдения. На рис. 5 продемонстрировано, как возрастают возможности ориентирования на местности в конкретных внешних условиях наблюдения при совмещении тепловизионного изображения с изображением от ночного канала на ЭОП.

Изложенные соображения легли в основу создания двухканальных малогабаритных приборов наблюдения, в конструкции которых применены наиболее простые решения для комбинации двух каналов. В этой связи интересна оптическая схема окуляра с призмой кубиком, позволяющим производить комплексирование изображения с экрана ЭОП и тепловизионного изображения с микродисплея при одновременном включении ЭОП и микродисплея (рис. 6), защищенная патентом RU2690044 C2 [4].

Простота схемного решения окуляра обусловлена небольшим значением удаления выходного зрачка, составляющего 23 мм при фокусном расстоянии 23 мм. Угловое поле зрения составляет $\sim 42^\circ$, диаметр зрачка глаза принимается равным ~ 6 мм. На схеме изображены: входной зрачок, трехлинзовый окуляр и светоделительный кубик, пропускающий

fusion functionality. The night channel of the EBC-MOS device is positioned by Photonis made on the basis of an electron-optical converter, in which the microchannel plate (MCP) and the phosphor screen are replaced by a special CMOS photodetector. At present, such night technology on image intensifier tubes is available in two resolutions (2 and 4 megapixels), which provides users with high-quality and contrasting images.

In connection with active work on improving the image intensifier tube, it is quite interesting to compare the recognition range of a person's figure against a contrasting background for channels with image intensifier tubes of different generations. The generalized data (Table 2) became the results of calculations according to standard methods [3] and our own experiments in field tests.

The most available image intensifier tubes on the domestic market are image intensifier tubes of the EPM-62G, EPM-65G types produced by Katod JSC (Novosibirsk). Such IITs as EPM-62G, EPM-65G are generation III with automatic brightness control, direct image transfer, semiconductor photocathode, and a microchannel plate (MCP) installed between the photocathode and the yellow-green glow screen.

It is possible to estimate the identification range of a human figure against a contrasting background for a channel with a domestic image intensifier tube (for example, of the EPM-62G type) according to the calculated schedule (Fig. 4). Of course, for a channel with an image intensifier tube, the observation conditions will be mainly determined by the level of natural night illumination (NNI). With its decrease, the values of the detection and recognition range will decrease up to a complete loss of visibility.

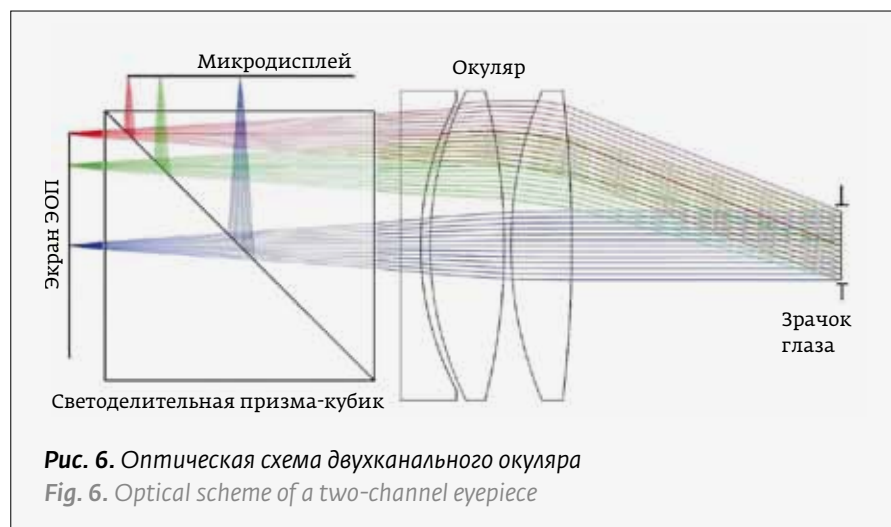


Рис. 6. Оптическая схема двухканального окуляра
Fig. 6. Optical scheme of a two-channel eyepiece

50% света от экрана ЭОП и отражающий 50% света от экрана микродисплея. Такой обычный светоделитель позволяет достаточно просто производить комбинирование изображения с экрана ЭОП и тепловизионного изображения при одновременном включении ЭОП и микродисплея. При выключении одного из каналов осуществляется наблюдение только одного из экранов - или ЭОП, или микродисплея. Приведенное схемное решение окуляра позволяет прибору работать в трех режимах: режим усиления яркости, тепловизионный режим и полностью совмещенный режим. Вариант конструктивного исполнения тепловизионно-ночного прибора наблюдения показан на рис. 7 на боковом разрезе по обоим каналам - ночному и тепловизионному, его внешний вид - на рис. 8, а параметры - в табл. 3. Конструкция включает ночной 7-линзовый объектив, электронно-оптический преобразователь типа ЭПМ62Г, тепловизионный трехлинзовый объектив

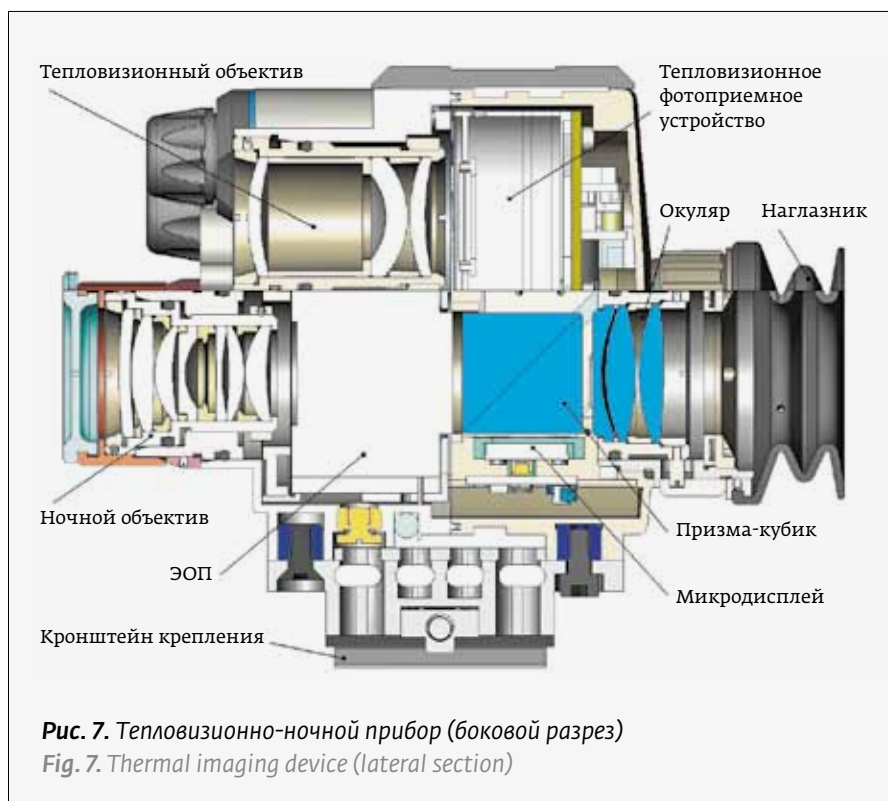


Рис. 7. Тепловизионно-ночной прибор (боковой разрез)
Fig. 7. Thermal imaging device (lateral section)

In this case, the estimation of the range of vision is based on the basic geometric formula for the range of devices using image intensifier tubes: $D = b/\alpha_{\Sigma}$, where b is the size of the expansion element required for detection or identification, m; α_{Σ} is the total resolution of the TI channel.

In the general case, the total angular resolution of the device depends on the NNI and a number of components and is determined by the following formula:

$$\alpha_{\Sigma} = \sqrt{\alpha_{\text{стр.}}^2 + \alpha_{\text{гл.пр.}}^2 + \alpha_{\text{эл.}}^2}$$

where $\alpha_{\text{стр.}}$ is the structural angular resolution of the device, which depends on the parameters of the optical system of the device and takes into account its geometric imperfections; $\alpha_{\text{гл.пр.}}$ is the limiting angular resolution of the eye, reduced to the image intensifier tube photocathode; $\alpha_{\text{эл.}}$ is the limiting resolving power of the image intensifier tube photocathode is caused by the fluctuation of the electron (photoelectron) flux.

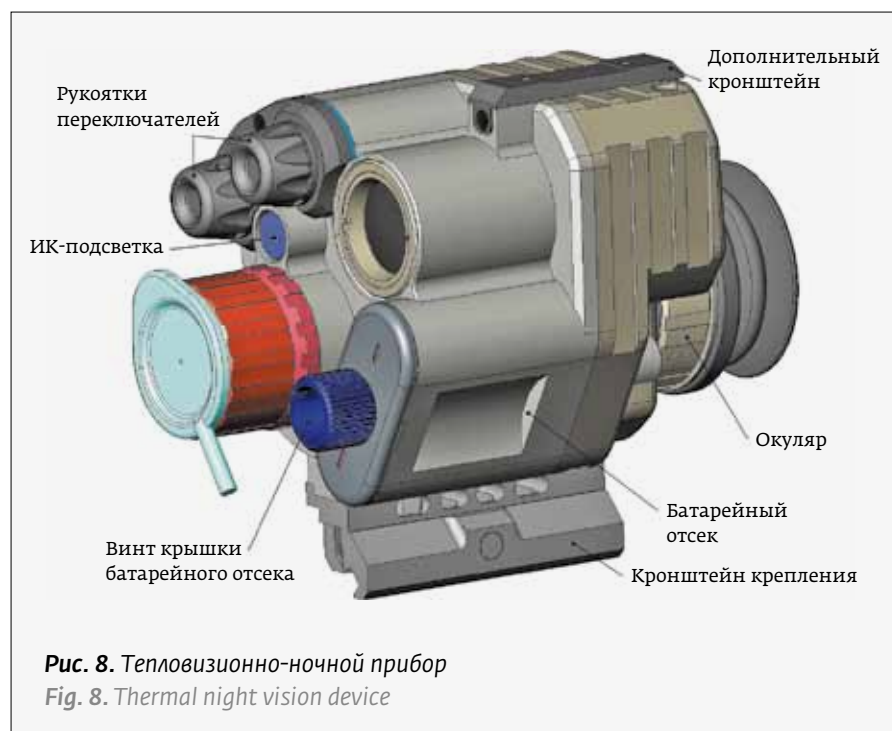


Рис. 8. Тепловизионно-ночной прибор
Fig. 8. Thermal night vision device

Таблица 3. Характеристики тепловизионно-ночного прибора

Table 3. Characteristics and thermal imaging night vision device

Параметры	Parameters	Значение Value
Оптическое увеличение, крат – ночной канал – тепловизионный канал	Optical magnification, multiplicity factor – night channel – thermal imaging channel	1,0 1,0
Геометрическое разрешение, лин/мм – ночной канал – тепловизионный канал	Geometric resolution, lines/mm – night channel – thermal imaging channel	60 114
Температурное разрешение, К	Temperature resolution, K	0,08
Поле зрения, град. – ночной канал – тепловизионный канал	Field of view, degrees – night channel – thermal imaging channel	40 36
Диоптрийная регулировка окуляра, дптр	Eyepiece diopter adjustment, diopter	±3
Диапазон рабочих температур, °С	Operating temperature range, °C	–40...60
Габаритные размеры, мм – без крепления к оружию – с креплением к оружию	Overall dimensions, mm – without attachment to weapons – with attachment to the weapon	140×88×80 140×88×102
Масса, кг	Weight, kg	0,75

ектив, тепловизионное фотоприемное устройство, микродисплей типа В1.5МДО800.600. ЦО2, трехлинзовый окуляр, наглазник окуляра, а также кронштейн крепления. Прибор наблюдения подобной конструкции является простым и надежным дневно-ночным широкоугольным прибором с однократным увеличением каналов, который обеспечивает естественное восприятие, а также ввод в поле зрения дополнительной информации.

Особенностью прибора наблюдения является наличие микродисплея, постоянно видимого в поле зрения общего окуляра через призмукубик. Это позволяет вводить в поле любые информационные знаки и тепловизионное изображение.

Небольшое расчетное удаление выходного зрачка компенсируется использованием окуляра, как простой лупы для обоих каналов. Схемное решение допускает возможность наблюдения при другом удалении глаза (больше расчетного) без дискомфорта, присущего приборам, в которых размер и удаление выходного зрачка однозначно формируются дополнительными оборачивающими оптическими системами.

Дальность опознавания человека через тепловизионно-ночной прибор подобного типа может составлять более 700 м. Специалистам известно, что большинство малогабаритных при-

The calculated data are confirmed by the results of field tests, the discrepancy between the calculated and actual values of the identification ranges (Table 2) does not exceed 10-15%.

DESIGN OF THE COMBINED DEVICES

In the same manner as TI and a TV channel are combined in one device, the combination of a thermal imaging channel and a channel on an image intensifier tube makes it possible to build an effective observation system that makes it possible to use the advantages of each of the channels in certain conditions with changing external observation parameters. Fig. 5 shows how the possibilities of orientation on the ground in specific external conditions of observation increase when combining the thermal imaging image with the image from the night channel on the image intensifier tube.

The above considerations became the basis for the creation of two-channel small-sized observation devices, in the design of which the simplest solutions for a combination of two channels were applied. In this regard, the optical scheme of the eyepiece with a prism cube is interesting, which allows the integration of the image from the image intensifier tube and the thermal image from the microdisplay while simultaneously turning on the image intensifier tube and microdisplay (Fig. 6), protected by patent RU2690044 C2 [4].

боров наблюдения должны обеспечивать обнаружение объектов на дистанциях 500–600 м и обладать максимально возможным полем зрения.

При необходимости можно отключить ввод всех изображений с микродисплея и использовать только ночной канал как полноценный пассивный наблюдательный ПНВ с естественным восприятием изображения. Для этих целей можно включить невидимую для глаза ИК-подсветку, когда условия видимости затруднены из-за крайне низкой естественной ночной освещенности.

И, хотя можно использовать только ночной режим или только универсальный пассивный режим (режим тепловизионного наблюдения с предельно возможными параметрами обнаружения), все-таки наиболее эффективным будет одновременное использование обоих каналов – ночного канала с ЭОП и тепловизионного. Остановимся на варианте конструктивного исполнения тепло-телевизионного прибора, обладающего некоторыми специфическими особенностями. Одна из них заключается в том, что прибор имеет увеличение обоих каналов большее, чем у простого наблюдательного прибора с функциями однократного прибора.

Второй особенностью является способность телевизионного канала строить изображение местности и опознавать объекты при достаточно низких уровнях естественной ночной освещенности – при звездном небе.

На рис. 9 представлен боковой разрез телевизионного канала с 5-линзовым объективом, тепловизионного канала с 3-линзовым объек-

The simplicity of the eyepiece circuit design is due to the small value of the exit pupil removal, which is 23 mm at a focal length of 23 mm. The angular field of view is $\sim 42^\circ$, the diameter of the pupil of the eye is taken to be ~ 6 mm. The diagram shows: an entrance pupil, a three-lens eyepiece and a beamsplitting cube that transmits 50% of the light from the image intensifier tube and reflects 50% of the light from the microdisplay screen. Such a conventional beam splitter makes it easy to combine the image from the image intensifier tube and the thermal imaging image while simultaneously turning on the image intensifier tube and the microdisplay. When one of the channels is turned off, only one of the screens is monitored, either an image intensifier tube or a microdisplay. The given schematic solution of the eyepiece allows the device to operate in three modes: brightness enhancement, thermal imaging mode and fully combined mode.

A variant of the design of a thermal imaging-night observation device is shown in Fig. 7 on a side section along both channels – night and thermal imaging, its appearance is shown in Fig. 8, and the parameters are in Table 3. The design includes a 7-lens night objective, an EPM62C image converter, a three-lens thermal imaging objective, a thermal imaging photodetector, a B1.5MDO800.600.CO2 microdisplay, a three-lens eyepiece, an eyepiece cup, and a mounting bracket. An observation device of this design is a simple and reliable day/night wide-angle device with a single magnification of the channels, which provides natural perception, as well as input into the field of view of additional information.

A feature of the observation device is the presence of a microdisplay, which is constantly visible in the field of view of the common eyepiece through a cube prism. This allows you to enter any information signs and thermal images in the field.

The small calculated exit pupil distance is compensated for by using the eyepiece as a simple magnifier for both channels. The circuit design allows observation at a different distance of the eye (more than the calculated one) without the discomfort inherent in devices in which the size and distance of the exit pupil are uniquely formed by additional reversing optical systems.

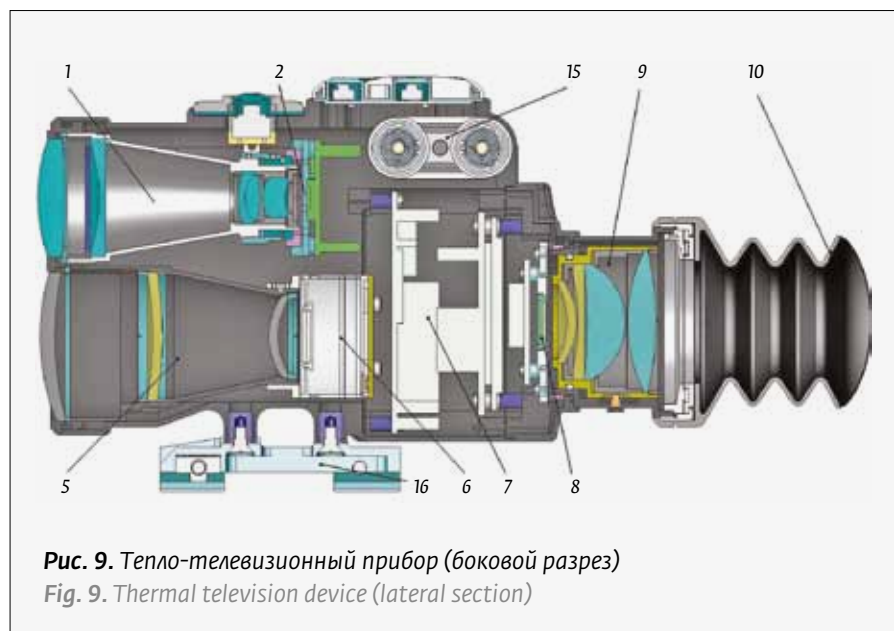


Рис. 9. Тепло-телевизионный прибор (боковой разрез)
Fig. 9. Thermal television device (lateral section)

тивом и окулярного канала с 4-линзовым окуляром (телевизионный объектив 1, телевизионный фотоприемник 2, тепловизионный объектив 5, тепловизионный фотоприемник 6, электронные блоки 7, микродисплей 8, окуляр 9, наглазник 10 окуляра 9, а также батарейный отсек 15 и кронштейн крепления 16). Внешний вид прибора наблюдения показан на рис. 10, а его параметры приведены в табл. 4.

Телевизионный канал построен на видеодатчике EV76C661ACT и цифровом генераторе на 12 мГц. Инициализация и управление видеодатчиком выполняется с помощью последовательного интерфейса SPI. Тепловизионный канал содержит ИК-микроболометрический модуль S6IR-4272 и последовательно-параллельный преобразователь 5560ИН6У. Выходные сигналы подаются на последовательно-параллельный преобразователь DS90CR286. С DS90CR286 параллельный 24-битный RGB код и сигналы синхронизации HSYNC, VSYNC и DE поступают на цветной OLED индикатор типа SXGA060SC.



Рис. 10. Теплотелевизионный прибор

Fig. 10. Thermal television device

The range of human identification through a thermal-night vision device of this type can be more than 700 m. Experts know that most small-sized observation devices must detect objects at distances of 500–600 m and have the maximum possible field of view.

If necessary, you can turn off the input of all images from the microdisplay and use only the night channel as a full-fledged passive observational TI

Табл. 4. Характеристики теплотелевизионного прибора

Table 4. Characteristics of the thermal imaging television device

Параметры	Parameters	Значение Value
Оптическое увеличение, крат	Optical magnification, multiplicity factor	3,0
Увеличения с учетом цифровых возможностей, крат	Magnifications for digital capabilities, multiplicity factor	6,0 и 12,0
Поле зрения ТВ-канала, град.	TV channel field of view, degrees	13,4×10,7
Формат ТВ канала, пиксел	TV channel format, pixels	1280×1024
Поле зрения ТПВ-канала, град	TI channel field of view, degrees	12,1×9,1
Формат ТПВ канала, пиксел	TI channel format, pixels	640×480
Формат микродисплея, пиксел	Micro display format, pixels	1280×1024
Время работы прибора, час	Device operation time, hours	4
Диапазон рабочих температур, °С	Operating temperature range, °C	От – 40 до 60
Габаритные размеры, мм	Overall dimensions, mm	260×128×101
Масса, кг	Weight, kg	1,14



Теплотелевизионный прибор – это простой и надежный вариант, позволяющий получать телевизионное, либо тепловизионное или комплексированное теплотелевизионное изображение, рассматриваемое через окуляр на едином микродисплее.

СПОСОБ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОЛУТОНОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В ходе работ над созданием приборов с комплексированием изображений, полученных в различных спектральных диапазонах, был разработан способ комплексирования полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений, впоследствии защищенный патентом RU2684585 C1 [5].

Говоря о многоканальных системах, следует обратить внимание на то, что конструктивное решение прибора с разнесенными каналами, каждый из которых имеет собственное входное окно, создает проектировщику практически неразрешимую проблему. Она связана с наличием пространственного параллакса. Уменьшение расстояния между оптическими осями каналов во всех случаях ограничивается размерами входных зрачков каналов, иногда достигающих значительных размеров.

Результаты практических испытаний показали, что режим комплексирования изображений при разнесенных зрачках обеспечивает качественное изображение только на той дальности, на которой сведены оптические оси каналов. При изменении дистанции наблюдения появляется эффект двоения изображения. Очевидно, что конструктивное исполнение оптической схемы объективной части прибора в виде однозрачковой системы (т.е. наличие одной общей оптической оси для всех каналов) позволяет производить комплексирование тепловизионного и телевизионного изображений без двоения изображений независимо от дистанции наблюдения.

Объективные части однозрачковых теплотелевизионных систем могут быть решены в различных вариантах: в виде системы с общим входным окном и последующим разделением каналов внутри объектива (рис. 11а) или в виде двухканального оптико-электронного блока, построенного по коаксиальной схеме (рис. 11б). Оптическая система (рис. 11а) защищена патентом RU2700033 C2 [6]. Коаксиальная оптико-электронная система состоит из двух каналов,

with natural image perception. For these purposes, you can turn on the IR illumination invisible to the eye when visibility conditions are difficult due to extremely low natural night illumination.

Although it is possible to use only the night mode or only the universal passive mode (thermal imaging mode with the maximum possible detection parameters), the most effective will be the simultaneous use of both channels: the night channel with the image intensifier tube and the thermal imaging channel. Let us dwell on a variant of the design of a heat-television device, which has some specific features. One of them is that the device has an increase in both channels greater than that of a simple observation device with the functions of a single device.

The second feature is the ability of a television channel to build an image of the area and identify objects at sufficiently low levels of natural night illumination (with a starry sky).

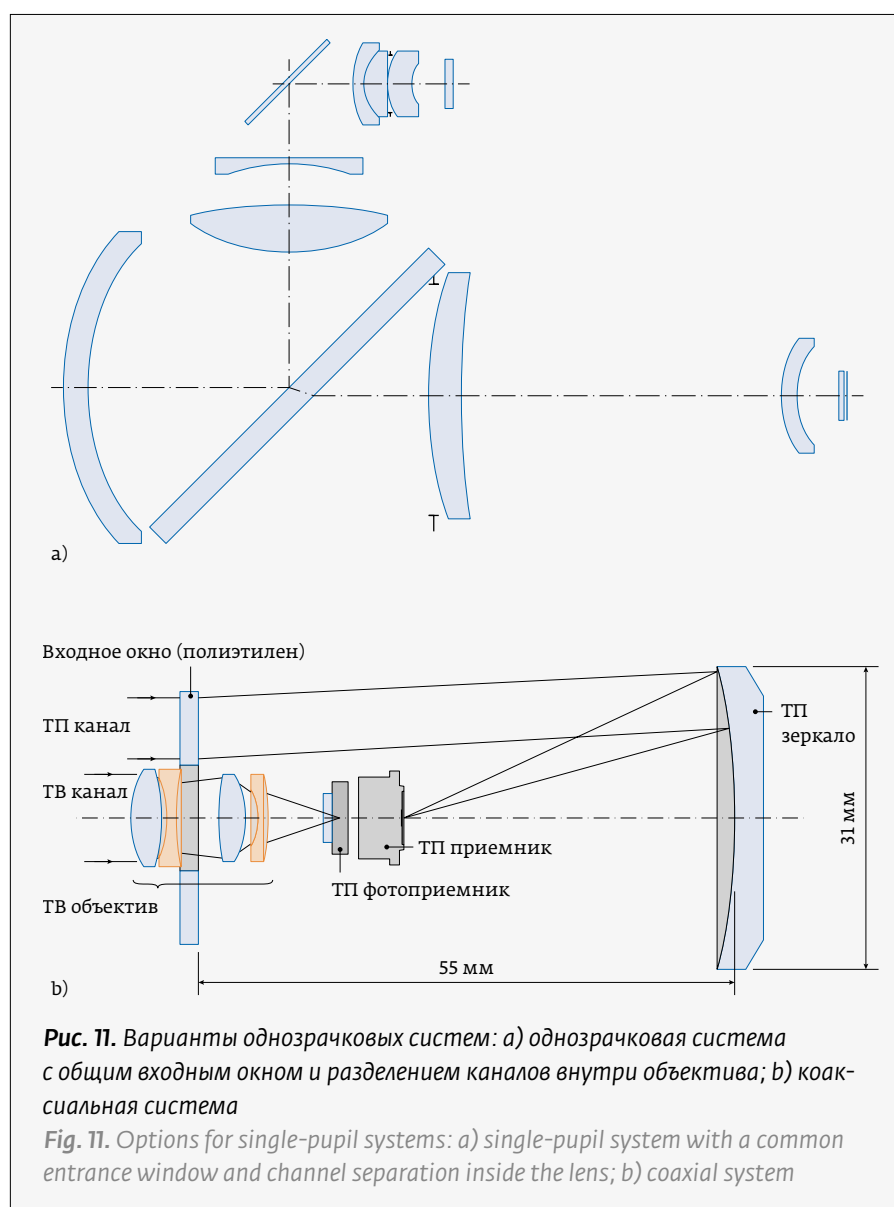
Fig. 9 shows a lateral section of a television channel with a 5-lens objective, a thermal imaging channel with a 3-lens lens and an eyepiece channel with a 4-lens eyepiece (television lens 1, television photodetector 2, thermal imaging lens 5, thermal imaging photodetector 6, electronic units 7, microdisplay 8, eyepiece 9, eyecup 10 of eyepiece 9, as well as battery compartment 15 and mounting bracket 16). The external view of the observation device is shown in Fig. 10, and its parameters are given in table 4.

The television channel is built on the EV76C661ACT video sensor and a 12 MHz digital generator. The video sensor is initialized and controlled using the SPI serial interface. The thermal imaging channel contains an S6IR-4272 IR microbolometric module and a 5560IN6U serial-to-parallel converter. The output signals are fed to a serial-to-parallel converter DS90CR286. With DS90CR286, parallel 24-bit RGB code and HSYNC, VSYNC and DE sync signals are fed to the SXGA060SC color OLED indicator.

A thermal television device is a simple and reliable option that allows you to obtain a television, or thermal imaging or integrated thermal television image viewed through an eyepiece on a single microdisplay.

METHOD FOR COMBINING GRAYSCALE TELEVISION AND THERMAL IMAGES

In the course of work on the creation of devices with the integration of images obtained in different spectral ranges, a method for the integration of grayscale television and thermal imaging images was worked out, subsequently protected by patent RU2684585 C1 [5].



Speaking of multichannel systems, one should pay attention to the fact that the constructive solution of the device with spaced apart channels, each of which has its own entrance window, creates an almost insoluble problem for the designer. It is associated with the presence of spatial parallax. The decrease in the distance between the optical axes of the channels in all cases is limited by the size of the entrance pupils of the channels, sometimes reaching significant sizes.

The results of practical tests have shown that the image complexing mode with separated pupils provides a high-quality image only at the distance at which the optical axes of the channels are brought together. When changing the observation distance, the effect of ghosting appears. It is obvious that the design of the optical scheme of the objective part of the device in the form of a single-pupil system (i. e., the presence of one common optical axis for all channels) allows the integration of thermal and television images without ghosting, regardless of the observation distance.

The lens parts of single-pupil thermal television systems can be

resolved in different versions: as a system with a common entrance window and subsequent separation of channels inside the lens (Fig. 11a) or in the form of a two-channel optoelectronic unit built according to a coaxial scheme (Fig. 11b). The optical system (Fig. 11a) is protected by patent RU270033 C2 [6]. The coaxial optoelectronic system consists of two channels with a common optical axis. In this case, one of the channels is installed in front of the other in the area of the central shielding of the mirror lens. Such a system, depending on the photodetectors used, can have miniature dimensions and weight, which is quite important in the design of portable observation equipment.

имеющих общую оптическую ось. При этом один из каналов установлен перед другим в зоне центрального экранирования зеркального объектива. Такая система в зависимости от применяемых фотоприемников может иметь миниатюрные размеры и вес, что достаточно актуально при проектировании носимой наблюдательной техники.

Рассматривая комплектование многоспектральных приборов фотоприемными устройствами следует уделить внимание современным сенсорам телевизионного и тепловизионного диапазонов. Видеомодуль E2V – монохромная телевизионная камера высокой чувствительности с широким динамическим диапазоном светового восприятия и разрешением 1280×1024

сolved in different versions: as a system with a common entrance window and subsequent separation of channels inside the lens (Fig. 11a) or in the form of a two-channel optoelectronic unit built according to a coaxial scheme (Fig. 11b). The optical system (Fig. 11a) is protected by patent RU270033 C2 [6]. The coaxial optoelectronic system consists of two channels with a common optical axis. In this case, one of the channels is installed in front of the other in the area of the central shielding of the mirror lens. Such a system, depending on the photodetectors used, can have miniature dimensions and weight, which is quite important in the design of portable observation equipment.

Considering the completing of multispectral devices with photodetectors, attention should be



(SXGA) при размере пикселя 10×10 мкм. CMOS датчик видеомодуля обеспечивает возможность создания изображения в условиях от дневного света до освещения сцены свечением звездного неба (10^{-3} лк) в видимом спектре и спектре ближнего ИК-диапазона. Низкий уровень собственных шумов CMOS датчика обеспечивает непревзойденное отношение сигнал/шум с частотой кадров до 60 Гц. Для улучшения качества изображения используются функции камеры: АРУ, автоматическое управление временем экспозиции, коррекция неоднородностей усиления, искусственное контрастирование.

Тепловизионный модуль MT1280×1024 – монохромная тепловизионная камера на основе неохлаждаемой матрицы DLE1280 (аморфный кремний) с разрешением 1280×1024 (SXGA) при размере пикселя 15×15 мкм.

ВЫВОД

Рассмотрены конструктивные решения многоспектральных приборов в виде комбинации взаимодополняющих друг друга информационных каналов. Комбинации тепловизионного канала с каналом, построенным на ЭОП или на тепловизионном сенсоре, являются согласованными наблюдательными системами. Эти системы проявляют высокую эффективность и расширяют границы их использования в различных условиях внешних воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротяев В. В., Мельников Г. С., Михеев С. В., Самков В. М., Солдатов Ю. И. *Основы тепловидения*. Уч. пособие – СПб: НИУ ИТМО. 2012.
2. Балоев В. А., Мишанин С. С., Овсянников В. А., Филиппов В. Л., Якубсон С. Е., Яцык В. С. Анализ путей повышения эффективности наземных оптико-электронных комплексов наблюдения. *Оптический журнал*. 2012; 3: 22–32.
3. Волков В. Г., Гиндин П. Д. *Достижения в технике видения*. М.: Техносфера. 2019, 579 с., ISBN: 978-5-94836-560-2.
4. Патент RU2690044 С2. Окуляр. / Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н.
5. Патент RU2684585 С1. Способ комплексирования полутонных телевизионных и тепловизионных изображений / Медведев А. В., Жибарев Н. Д.
6. Патент RU2700033 С2. Двухспектральная оптическая система. / Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н., Иваницкий В. Д.

АВТОРЫ

Медведев Александр Владимирович, design@romz.ru, генеральный конструктор, ОАО «Ростовский оптико-механический завод, (ОАО «РОМЗ»), Ростов Великий, Ярославская область, Россия.

Гринкевич Александр Васильевич, design@romz.ru, ЗАО «ЭВС», Москва, Россия.

Князева Светлана Николаевна, design@romz.ru, инженер-конструктор, ОКБ ОАО «Ростовский оптико-механический завод, (ОАО «РОМЗ»), Ростов Великий, Ярославская область, Россия.

paid to modern sensors of television and thermal imaging ranges. The E2V video module is a monochrome high-sensitivity television camera with a wide dynamic range of light perception and a resolution of 1280×1024 (SXGA) with a pixel size of 10×10 μm . The CMOS sensor of the video module provides the ability to create an image in conditions from daylight to illumination of the scene with the glow of the starry sky (10^{-3} lux) in the visible spectrum and the spectrum of the near infrared range. Low noise CMOS sensor provides an unmatched signal-to-noise ratio with frame rates up to 60 Hz. To improve the image quality, the following camera functions are used: AGC, automatic exposure time control, gain non-uniformity correction, artificial contrast.

Thermal imaging module MT1280×1024 is a monochrome thermal imaging camera based on an uncooled DLE1280 matrix (amorphous silicon) with a resolution of 1280×1024 (SXGA) with a pixel size of 15×15 μm .

CONCLUSION

The design solutions of multispectral devices in the form of a combination of mutually complementary information channels are considered. Combinations of a thermal imaging channel with a channel built on an image intensifier tube or on a television sensor are matched observation systems. These systems show high efficiency and expand the boundaries of their use in various conditions of external exposures.

REFERENCES

1. Korotayev V. V., Mel'nikov G. S., Miheev S. V., Samkov V. M., Soldatov YU. I. *Osnovy teplovideniya*. Uch. posobie – SPb: NIU ITMO. 2012.
2. Baloev V. A., Mishanin S. S., Ovsyannikov V. A., Filippov V. L., Yakubson S. E., YAcyk V. S. Analiz putej povysheniya effektivnosti nazemnykh optiko-elektronnykh kom-pleksov nablyudeniya. *Opticheskij zhurnal*. 2012; 3: 22–32.
3. Volkov V. G., Gindin P. D. *Dostizheniya v tekhnike videniya*. – M.: Tekhnosfera. 2019. 579 pp. ISBN: 978-5-94836-560-2.
4. Patent RU2690044 S2. Okulyar / Medvedev A. V., Grinkevich A. V., Knyazeva S. N.
5. Patent RU2684585 S1. Spособ kompleksirovaniya polutonoynykh televizionnykh i teplovizionnykh izobrazhenij / Medvedev A. V., Zhibarev N. D.
6. Patent RU2700033 S2. Dvuhspektral'naya opticheskaya sistema / Medvedev A. V., Grinkevich A. V., Knyazeva S. N., Ivanickij V. D.

AUTHORS

Medvedev Alexander Vladimirovich, design@romz.ru, General Designer, Rostov Optical and Mechanical Plant OJSC (ROMZ OJSC), Rostov Veliky, Yaroslavl Region, Russia.

Grinkevich Alexander Vasilievich, design@romz.ru, ZAO «EVS», Moscow, Russia.

Knyazeva Svetlana Nikolaevna, design@romz.ru, Design Engineer, Design Bureau of OJSC «Rostov Optical and Mechanical Plant (OJSC «ROMZ»), Rostov the Great, Yaroslavl Region, Russia.

Технология беспроводной зарядки БПЛА от WiBotic

Многие крупные компании планируют предлагать услуги с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Однако на пути реализации этих планов есть препятствие: время полета коммерческих БПЛА ограничено малой емкостью батареи. Одним из способов решения этой проблемы представляется использование более эффективных и гибких решений зарядки. Это объясняет большой интерес к работам стартапа WiBotic, предлагающего решения для зарядки аккумуляторов БПЛА и робототехники.

WiBotic предлагает решения по беспроводной зарядке и оптимизации энергопотребления для рынка авиационных, мобильных, морских и промышленных роботов. Его технология Adaptive Matching – это новый метод индуктивной передачи энергии, который, по словам представителей компании, обеспечивает уровни мощности, необходимые для БПЛА и других летательных аппаратов. Решения по оптимизации обеспечивают подробный мониторинг параметров заряда батареи посредством библиотек программного обеспечения. В сочетании со стратегическим развертыванием оборудования для беспроводной зарядки эти программные функции предназначены для максимизации времени бесперебойной работы БПЛА. Решения по беспроводной зарядке WiBotic также поддерживают планирование пополнения энергетического баланса; они предназначены для установления очередности зарядки нескольких роботов от одного и того же передатчика.

Беспроводная передача энергии (БПЭ)

Использование электромагнитных полей в качестве источника электричества восходит к концу XIX века, когда Никола Тесла впервые продемонстрировал передачу электричества без проводов. Методология беспроводной связи хорошо известна, но конструкция передатчиков, их расположение, максимальная эффективность и необходимость отлаженного поведения всей системы представляют собой сложную задачу, требующую специальных навыков и передовых инструментов, таких как численное моделирование. Наиболее распространенные системы БПЭ используют индуктивную связь

или магнитно-резонансную технологию, каждая из которых имеет свои сильные и слабые стороны (рис. 1).

Наиболее распространенный метод – индуктивный, он широко применяется в потребительских приборах. К сожалению, он эффективен только тогда, когда антенны расположены очень близко друг к другу. Роботы и БПЛА не могут позиционироваться достаточно точно, чтобы обеспечить себе надежную зарядку при помощи индуктивных систем. Новейшая магнитно-резонансная технология предлагает гораздо большую гибкость в позиционировании. Однако типичные резонансные системы отличаются

наличием области, где достигается максимальная эффективность. Если робот ненадолго останавливается или находится не в центре этой области, эффективность снижается, а время зарядки увеличивается.

Технология WiBotic сочетает в себе сильные стороны как индуктивных, так и резонансных систем. Новая запатентованная система адаптивного согласования постоянно контролирует относительное положение антенны и динамически регулирует как аппаратные, так и программно-аппаратные параметры, чтобы поддерживать максимальную эффективность, обеспечивая надежную зарядку на высоких уровнях мощности даже вертикальном, горизонтальном и угловом смещении заряжаемого объекта на несколько сантиметров.

Программный алгоритм

Важная функция оценки времени простоя – знание того, когда нужно заряжать БПЛА при разрядке батареи. У разных роботов батареи отличаются по типу химического состава, значениям напряжения и тока. Микропрограммное обеспечение фирмы WiBotic позволяет оценивать роботов, поступающих на зарядку, и устанавливать необходимые параметры зарядки для оптимизации энергопотребления. Бортовой блок компьютерного управления дает возможность БПЛА получать прямой доступ к встроенному зарядному устройству для выполнения тех же функций. Благодаря архитектуре структурированной беспроводной сети роботы могут оставаться постоянно заряженными, что минимизирует время простоя и снижает общую стоимость эксплуатации парка роботов.

Многие инновации в области робототехники появляются на выходе РЧ-усилителя передатчика, а затем на приемнике – на входе в выпрямитель. Именно здесь можно динамически настраивать импеданс новых систем. Таким образом, появляется возможность убедиться, что, максимизируя передачу мощности, поддерживая согласованные сопротивление источника и нагрузки на обеих сторонах трансформатора с воздушным сердечником, можно очень быстро динамически настраивать оборудование в реальном масштабе времени. Это обеспечивает приспособляемость к движениям, сбоям или изменениям, происходящим в системе.

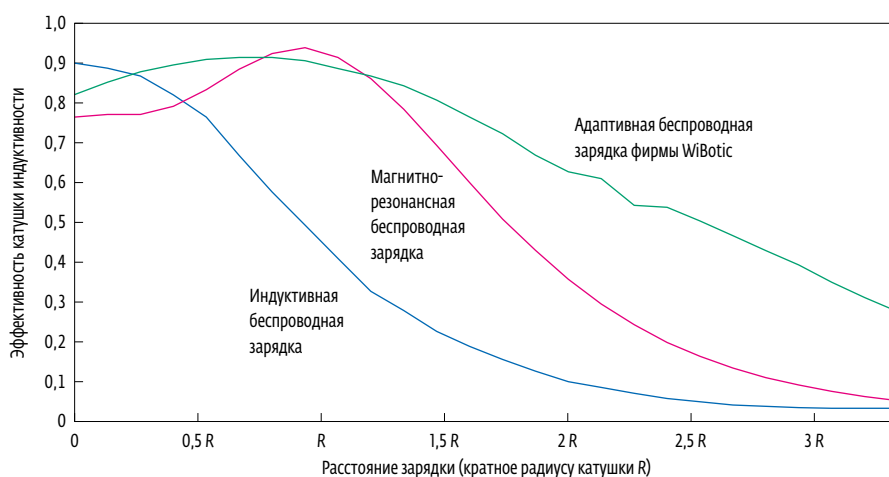


Рис. 1. Сопоставление эффективности различных технологий беспроводной зарядки

Продолжение – на с. 441

УНИКАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ВЫСОКОАПЕРТУРНЫЕ ГРАДИЕНТНЫЕ ЛИНЗЫ

NEW!

Градиентная линза **IPG-GRL-18-55-048** - оптический элемент в виде цилиндра с плоскими полированными торцами. Градиентная линза является основой современных микрооптических устройств, предназначенных для фокусировки и коллимации излучения, передачи и трансформации изображения.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ОТСУТСТВИЕ СФЕРИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ

Минимальные сферические aberrации, обусловленные градиентным распределением показателя преломления, делают их незаменимыми при создании элементной базы волоконно-оптических линий связи, контрольно-измерительной аппаратуры систем связи и передачи информации, медицинских устройств.



Преимущества

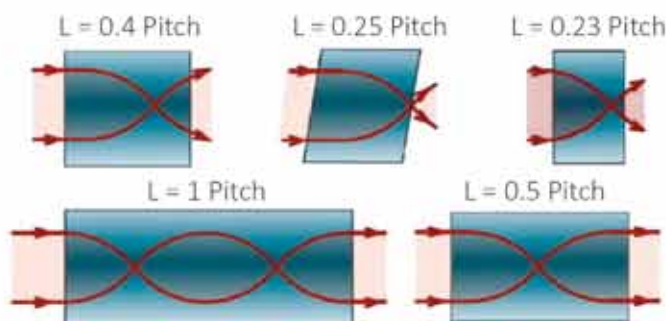
Параметры линзы определяются радиальным градиентом показателя преломления

Плоскопараллельные торцы

Большая посадочная поверхность (цилиндрическая)

Формирование параметров линзы (фокусное расстояние, рабочий отрезок, расходящийся / сходящийся / коллимированный пучок на выходе) подбором ее длины

Собственная разработка с гарантией качества



НЕПРЕВЗОЙДЁННАЯ НАДЁЖНОСТЬ ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

НТО "ИРЭ-Полюс" производит различные компоненты, включая диоды накачки, волоконные брэгговские решетки, акусто-оптические модуляторы, объединители, ответвители, оптические изоляторы, активное волокно, коллиматоры и другие компоненты.



СОБСТВЕННАЯ РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО

НТО "ИРЭ-Полюс" разрабатывает и серийно производит высокоэффективные волоконные лазеры и усилители, оптические компоненты, узлы, модули, приборы, подсистемы и системы для:

- Промышленных комплексов лазерной резки, сварки, наплавки, термообработки, маркировки, очистки и т.д.
- Оптической локации, дистанционного контроля промышленных объектов и атмосферы
- Контрольно-измерительных систем, сенсорики
- Научных исследований
- Волоконной, атмосферной и спутниковой оптической связи, кабельного телевидения
- Хирургии и биомедицины

НТО «ИРЭ-Полюс» является вертикально интегрированной компанией, производящей все компоненты для своих законченных продуктов, включая диоды накачки, акустооптические модуляторы, изоляторы, объединители, ответвители, оптическое волокно и другие компоненты.