



Пассивные дальномеры: от оптических систем к оптико-электронным

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

Пассивные оптические дальномеры обладают скрытностью, но не обеспечивают высокой точности измерения дальности в сравнении с лазерными дальномерами. Предложены новые оптические решения на основе комбинации цифровых методов и оригинальных оптических решений. Комбинация обеспечивает разнообразные варианты малогабаритных пассивных прицелов-дальномеров с высокой точностью измерения дальности до цели при скрытности измерений.

Ключевые слова: пассивный оптико-электронный дальномер, нормированная корреляционная функция, осесимметричные апертуры, раздвоение изображения, расфокусировка, субпиксельная интерполяция

Статья получена: 06.03.2020
Принята к публикации: 27.03.2020

Большинство современных прицелов с высокоточными дальномерами основаны на активном способе измерения дальности. Он заключается в посылке на дистанцию лазерного импульса, но не обеспечивает скрытность измерений. Причина в том, что оптические датчики, установленные на цели, позволяют легко выявить факт измерения и определить направление и координаты точки, откуда это измерение было произведено [1].

Например, в современной армии США пехотинец оснащается датчиками, расположенными на шлеме, разработанном по результатам боевого применения в Афганистане, когда участились слу-

Passive Rangefinders: From Optical Systems to Optoelectronic Ones

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

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

² ZAO "EVS", Moscow, Russia

³ Design Bureau of Rostov Optical and Mechanical Plant OJSC, Rostov the Great, Yaroslavl Reg., Russia

Passive optical rangefinders provide stealth, but do not provide high accuracy range measurements in comparison with laser ones. New optical solutions based on a combination of digital methods and original optical solutions are proposed. The combination provides a variety of options for small-sized passive sights-rangefinders with high accuracy of measuring the distance to the target with secretive measurements.

Keywords: passive optoelectronic rangefinder, normalized correlation function, axisymmetric apertures, image splitting, defocusing, subpixel interpolation

Received: 06.03.2020
Accepted for publication: 27.03.2020

Most modern sights with high-precision rangefinders are based on an active method of measuring range. It consists in sending a laser pulse to a distance, but does not ensure the secrecy of measurements. The reason is that optical sensors mounted on the target make it easy to identify the fact of measurement and determine the direction and coordinates of the point from where this measurement was made [1].

For example, in a modern US army, an infantryman is equipped with sensors located on a helmet developed as a result of combat use in Afghanistan, when cases of "friendly fire" in their units have become more frequent (Fig. 1).

The system can "detect" exposure to lasers with wavelengths of 1.064 and 1.55 microns, which are used in laser rangefinders on various platforms, as

чаи «дружественного огня» по своим подразделениям (рис. 1).

Система может засечь облучение лазерами с длиной волны 1,064 и 1,55 мкм, которые используются в лазерных дальномерах на различных платформах, а также PRF-кодированные лазерные маркеры для управляемых бомб. Сигнал пехотинцу при облучении лазерным лучом подается системой в виде «тактильных сигналов» (вибрации), после чего нужно быстро поменять позицию, в крайнем случае – бегом в ближайшее укрытие. Кроме того, такое устройство на шлеме может засечь и отраженное лазерное излучение.

В военной технике сегодня практически на каждом объекте устанавливается система оповещения о лазерном облучении, при срабатывании которой вступает в действие система подавления цели. Иными словами, современные оптико-электронные средства легко обнаруживают любое действие с применением активного лазерного режима. В результате рассекречивания объекта происходит его уничтожение соответствующими средствами.

Пассивные оптические дальномеры отличаются от активных и обладают скрытностью. Но при этом они не обеспечивают высокой точности измерения дальности в сравнении с лазерными дальномерами.

В работе [2] были рассмотрены два метода пассивного измерения дальности. Первый из них основан на измерении величины подвижки объектива при фокусировке на цель (метод фокусирования). Второй – на измерении параллактического угла при совмещении двух изображений, формируемых двумя каналами, разнесенными на величину внутренней базы (внутрибазный метод).

Пассивные методы позволяют решить задачу измерения дальности до цели, находящейся на удалении до 500 м, с ошибкой приемлемой величины (приблизительно 2–4 м). Но эти условия сохраняются при использовании длиннофокусных объективов с фокусом ($F_{об}$) не менее 600 мм или при размере внутренней базы прибора не менее 300 мм. Согласитесь, что применять понятия малогабаритности и практичности к таким приборным решениям достаточно сомнительное занятие.

Низкая абсолютная и относительная точность измерения дальности до цели в пассивных оптических дальномерах связана с малой угловой чувствительностью человеческого глаза и влиянием субъективного фактора системы «человек-дальномер». Этот фактор проявляется при реализации сложного



Рис.1. Сенсор лазерного облучения для пехотинца LEWDS
Fig.1. LEWDS laser irradiation sensor for infantry soldiers

well as PRF coded laser markers for guided bombs. The signal to the infantryman when irradiated with a laser beam is supplied by the system in the form of “tactile signals” (vibration), after which you need to quickly change position, in extreme cases, by running to the nearest shelter. In addition, such a device on the helmet can detect reflected laser radiation.

In military technology today, at almost every object, a laser radiation warning system is installed, when triggered, a target suppression system comes into play. In other words, modern optoelectronic devices easily detect any action using the active laser mode. As a result of declassification of an object, it is destroyed by appropriate means.

Passive optical rangefinders differ from active rangefinders and possess stealth. At the same time, they do not provide high accuracy of range measurement in comparison with laser rangefinders.

In [2], two methods of passive range measurement were considered. The first of them is based on measuring the magnitude of the lens movement when focusing on the target (focusing method). The second is based on measuring the parallactic angle when combining two images formed by two channels spaced by the size of the internal base (intrabase method).

Passive methods make it possible to solve the problem of measuring the distance to a target located at a distance of up to 500 m with an error of an acceptable value (approximately 2–4 m). But these conditions are preserved when using telephoto lenses with a focus

алгоритма фокусировки или совмещения двух изображений. К ним присоединяются дополнительные субъективные ошибки оператора и низкая скорость измерений.

На современном уровне развития цифровой техники пассивные способы измерения дальности могут быть решены на новом техническом уровне. В его основе лежит компьютерный анализ изображений объектов, полученных в результате видеозаписи. Например, пассивный метод определения дальности до цели может быть реализован на цифровых видеокамерах [3-5], разнесенных на известное расстояние друг от друга (рис. 2).

Здесь два цифровых изображения измеряемого объекта 1 формируются объективами 2 на фотокамерах 3 и 4. Затем процессор 5 вычисляет оценочную функцию между двумя изображениями « x_1 » и « x_2 » объекта 1. По минимальному значению двумерной нормированной корреляционной функции определяется сдвиг между изображениями объекта 1. Положение максимума корреляционной функции уточняется в субпиксельном диапазоне, после чего осуществляется локализация максимума с наибольшим значением корреляционной функции.

Таким образом, сдвиг между изображениями на фотоприемных матрицах 3 и 4 может быть определен с точностью до десятых долей размера одного пиксела фотоприемника 3 или 4. Дальность « D » до объекта 1 оценивается по сдвигу « Δx » между изображениями « x_1 » и « x_2 ». При этом необходимо знать расстояние « B » между видеокамерами 3 и 4, а также фокусное расстояние « f » объективов 2 камер.

$$D = \frac{f \cdot B}{\Delta x}, \quad (1)$$

где: f – фокусное расстояние объективов 2 видеокамер 3 и 4;

B – расстояние между объективами 2 видеокамер 3 и 4;

Δx – измеренный сдвиг между изображениями « x_1 » и « x_2 ».

Методика субпиксельной интерполяции направлена на повышение точности определения сдвига между изображениями. Процедура включает в себя вычисление двухмерной корреляционной функции и ее нормировку. Тем самым устраняется влияние различия в яркости и контрастности обоих изображений на точность измерения.

Однако такое конструктивное исполнение дальномера требует применения двух одинаковых телевизионных каналов с двумя объективами и двумя фотоприемниками, а также применения

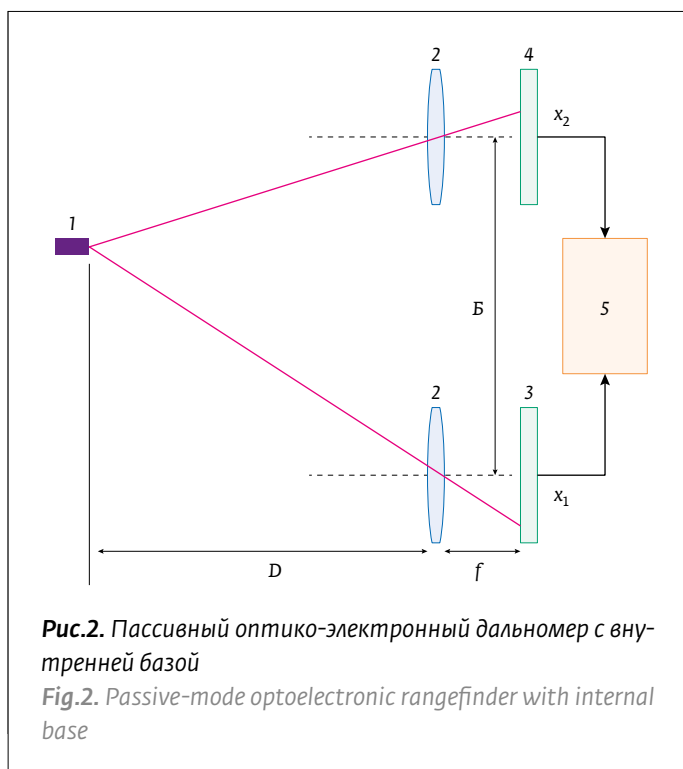


Рис.2. Пассивный оптико-электронный дальномер с внутренней базой

Fig.2. Passive-mode optoelectronic rangefinder with internal base

(F_{lens}) of at least 600 mm or with an internal base size of at least 300 mm. The small size and practicality of the device when implementing such solutions is a fairly relative concept.

Low absolute and relative accuracy of measuring the distance to the target in passive optical rangefinders is associated with a low angular sensitivity of the human eye and the influence of the subjective factor of the human-rangefinder system. This factor manifests itself in the implementation of a complex algorithm for focusing or combining two images. They are supplemented by additional subjective errors by the operator and a low measurement rate.

At the current level of development of digital technology, passive methods of measuring range can be solved at a new technical level. It is based on a computer analysis of images of objects obtained as a result of video recording. For example, the passive method of determining the range to the target can be implemented on digital video cameras [3, 4], spaced a known distance from each other (Fig. 2).

Here, two digital images of the measured object 1 are formed by lenses 2 on cameras 3 and 4. Then, processor 5 calculates the estimated function between the two images « x_1 » and « x_2 » of object 1. The shift between the images of object 1 is determined from the minimum value of the two-dimensional normalized correlation function. the maximum of the correlation function is refined in the subpixel range, after which

системы автоматической фокусировки объективов на выбранную цель. Это затрудняет создание простой и малогабаритной конструкции дальномера с небольшим весом.

Использование цифровых методов в сочетании с новыми оригинальными оптическими решениями позволяет создавать разнообразные варианты малогабаритных пассивных прицелов-дальномеров с высокой точностью измерения дальности до цели при скрытности измерений.

Предложения новых оптических решений базируются на комбинации обоих методов: метода фокусирования на цель и внутрибазного метода [2]. Одним из вариантов решения реализует принцип использования одного объектива с выделением из его большой апертуры двух малых апертур, разнесенных на некоторую величину. Эта величина является внутренней базой. Такой принцип используется в так называемых оптических «дальномерах двойного изображения» [6].

При его реализации появляется возможность резкого увеличения угла апертуры (по крайним лучам от разнесенных апертур), определяемого внутренней базой прибора и фокусным расстоянием выделенных апертур – фокусным расстоянием собственно дальномерного объектива. Фотоприемное устройство помещено в фокальной плоскости дальномерного объектива. Такое схемное решение пассивного оптико-электронного дальномера назовем методом фокусирования с выделенными апертурами (рис. 3).

В конструкции центральную часть дальномерного объектива (не участвующую в построении изображения) можно исключить, а в этой зоне разместить канал наведения на цель – прицельный телевизионный канал.

Конструктивное решение схемы заключается в том, что в фокальной плоскости дальномерного объектива неподвижно устанавливается фотоприемник, на котором изображение цели, находящейся на удалении «бесконечность», будет резким. В этом случае воспользуемся формулой Ньютона [7]. Она описывает геометрические зависимости между положениями

the maximum with the highest value of the correlation function is localized.

Thus, the shift between the images on the photodetector arrays 3 and 4 can be determined to within tenths of the size of one pixel of the photodetector 3 or 4. The distance “D” to object 1 is estimated from the shift “ Δx ” between the images “ x_1 ” and “ x_2 ”. It is necessary to know the distance “B” between the cameras 3 and 4, as well as the focal length “f” of the lenses of 2 cameras.

$$D = \frac{f \cdot B}{\Delta x}, \quad (1)$$

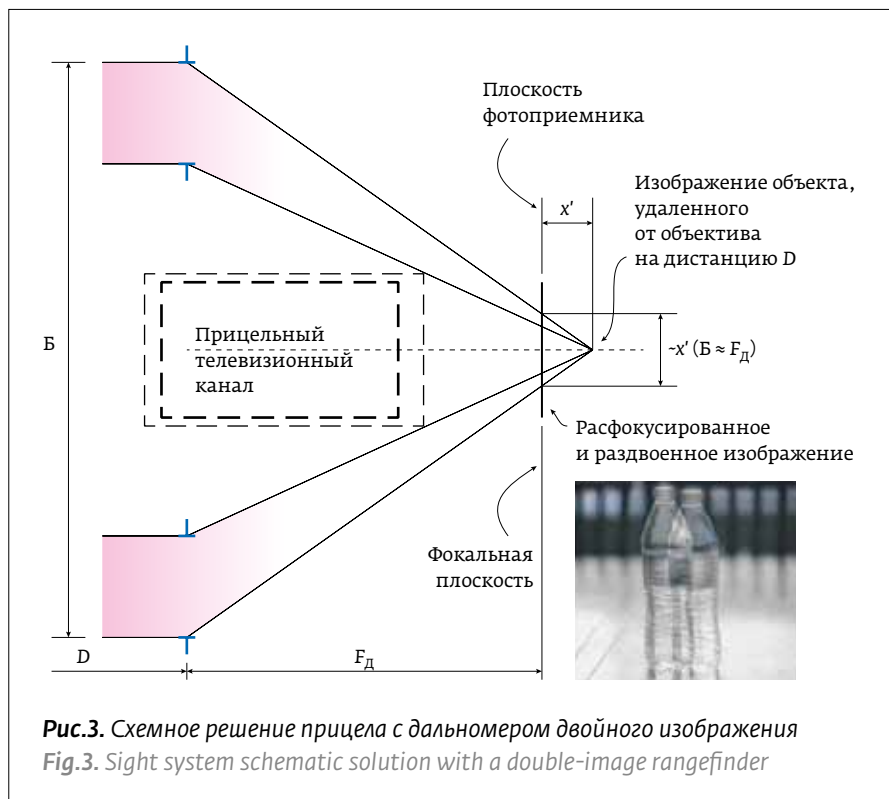
where: f is the focal length of the lenses 2 of the cameras 3 and 4;

B – the distance between the lenses 2 of the cameras 3 and 4;

Δx is the measured shift between the images “ x_1 ” and “ x_2 ”.

The technique of subpixel interpolation is aimed at increasing the accuracy of determining the shift between images. The procedure includes the calculation of a two-dimensional correlation function and its normalization. This eliminates the effect of differences in the brightness and contrast of both images on the measurement accuracy.

However, such a design of the range finder requires the use of two identical television channels with two



и размерами предмета и его изображения в идеальной оптической системе.

Тогда при наведении прицела на цель, находящуюся на дальности D от передней линзы, изображение цели будет сдвигаться относительно фокальной плоскости дальномерного объектива (относительно плоскости неподвижного фотоприемника) на некоторую величину « x' »:

$$x' = \frac{F_d^2}{x}, \quad (2)$$

где x – расстояние, измеряемое от переднего фокуса объектива до наблюдаемого объекта и принимаемое как D при условии, что D намного больше, чем удаление переднего фокуса от первой линзы объектива; F_d – фокусное расстояние дальномерного объектива.

Основная цель такого совмещенного метода – многократно уменьшить глубину резкости за счет создания внутренней базой «Б» некоей «эквивалентной» апертуры дальномерного объектива, равной « B/F_d », и добиться раздвоения изображения объекта, находящегося ближе «бесконечности».

Причем раздвоение изображения будет тем большим, чем ближе объект и чем больше «эквивалентная» апертура, что важно для повышения точности измерения величины раздвоения при вычислении двумерной корреляционной функции.

Если принять «эквивалентную» апертуру дальномерного объектива равной единице (когда $B = F_d$), то в этом случае величина « x' » становится равной величине раздвоения изображений, подлежащей измерению. Тогда конечная формула вычисления дальности до цели будет иметь вид:

$$D = \frac{-F_d^2}{x'}, \quad (3)$$

Используя минимальное значение двумерной нормированной корреляционной функции, можно определить расстояние между изображениями объекта с точностью до десятых долей размера одного пиксела фотоприемника дальномерного канала « $d_{\text{ПКС}}$ ».

Очевидно, что ошибка измерения дальности в этом случае будет определяться ошибкой измерения величины раздвоения изображения « $\Delta x'$ ». Принимая точность измерения, равной $\Delta x' = 0,2 \cdot d_{\text{ПКС}}$, получаем:

$$(D \pm \Delta D) = \frac{-F_d^2}{x' \mp 0,2 \cdot d_{\text{ПКС}}}, \quad (4)$$

lenses and two photodetectors, as well as the use of a system for automatically focusing lenses on a selected target. This makes it difficult to create a simple and compact design rangefinder with low weight.

Using digital methods in combination with new original optical solutions allows you to create a variety of small-sized passive sights, rangefinders with high accuracy of measuring the distance to the target with secretive measurements.

Suggestions of new optical solutions are based on a combination of both methods: the target focusing method and the intra-base method [2]. One of the solution options implements the principle of using one lens with the separation of two small apertures from its large aperture, spaced by a certain amount. This value is an internal base. This principle is used in the so-called optical “dual image rangefinders” [5].

With its implementation, it becomes possible to sharply increase the angle of the aperture (along the extreme rays from the spaced apertures), determined by the internal base of the device and the focal length of the selected apertures – the focal length of the actual rangefinder lens. The photodetector is placed in the focal plane of the rangefinder lens. Such a circuit design of a passive optoelectronic rangefinder will be called the focusing method with selected apertures (Fig. 3).

In the design, the central part of the rangefinder lens (which is not involved in image building) can be excluded, and in this zone to place a guidance channel on the target – an aimed television channel.

A constructive solution to the scheme is that in the focal plane of the rangefinder lens, a photodetector is fixedly mounted on which the image of a target located at a distance of “infinity” will be sharp. When aiming the sight at a target located at a distance D from the front lens, the target image will shift relative to the focal plane of the rangefinder lens (relative to the plane of the stationary photodetector) by a certain amount of “ x' ”, which can be determined by Newton’s formula [6]:

$$x' = \frac{F_d^2}{x}, \quad (2)$$

where x is the distance measured from the front focus of the lens to the observed object and taken as D , provided that D is much larger than the removal of the front focus from the first lens of the lens; F_d is the focal length of a rangefinder lens.

The main goal of such a combined method is to reduce the depth of field many times by creating an

В схеме дальномера: объектив с фокусным расстоянием $F_d=200$ мм при значении $B=200$ мм; телевизионная камера VAA-136-USB с минимальной рабочей освещенностью 0,005 лк и частотой 25 Гц (разработка ООО «ЭВС», Москва) на базе КМОП фотоприемник (тип MT9M034, формат 1280×960 элементов, размер пиксела $3,75 \times 3,75$ мкм, частота Найквиста ~ 130 штр/мм), размер чувствительной площадки $4,8 \times 3,6$ мм (диагональ $D_{TV}=6,0$ мм). При использовании в схеме дальномерного такого комплекта деталей ошибка $\Delta x' = 0,2 \cdot d_{ПКС}$ составит величину 0,75 мкм. Результаты расчетов величины теоретических ошибок измерения дальности представлены в табл. 1.

Визирный телевизионный канал можно построить на телевизионной камере VAA-136-USB и малогабаритном объективе с фокусным расстоянием $F_{об}=18,2$ мм, а в качестве окулярного канала использовать окуляр с фокусным расстоянием $f_{ок}=15,67$ мм и микродисплей SXGA060 формата 1280×1024 с размером пиксела $9,3 \times 9,3$ мкм и размерами активной области $11,941 \times 9,56$ мм (диагональ $D_{мд}=15,296$ мм).

Угловое поле зрения такого визирного канала составит $\sim 15,0^\circ \times 11,2^\circ$ (диагональ $18,7^\circ$), а увеличение телевизионного канала вычислится по формуле:

$$\Gamma = \Gamma_{\text{опт.}} \cdot \Gamma_{\text{эл.}} = \frac{F'_{\text{об}}}{F'_{\text{ок}}} \cdot \frac{D_{\text{мд}}}{D_{\text{ТВ}}}. \quad (5)$$

Таблица 1. Оценка методической ошибки измерения дальности методом фокусирования с выделенными апертурами ($F_d=200$ мм, $B=200$ мм, $d_{ПКС}=3,75$ мкм)

Table 1. Focusing method with selected apertures: Assessment of the methodological error of range measurement ($F_d=200$ mm, $B=200$ mm, $d_{pxl}=3,75$ μ m)

Дальность до цели D, м Distance to target D, m	Подвижка объектива x' , мм Shift lens x' , mm	Максимальная ошибка измерения дальности до цели ΔD , м Maximum measurement error of distance target ΔD , m
500	0,080	$\pm 4,7$
800	0,050	$\pm 12,2$
1000	0,040	$\pm 19,1$
2000	0,020	$\pm 77,9$
3000	0,0133...	$\pm 178,8$
4000	0,010	$\pm 324,3$

“equivalent” aperture of the rangefinder lens equal to “ B/F_d ” by the internal base “B” and to achieve a split image of the object closer to “infinity”.

Moreover, the bifurcation of the image will be the greater, the closer the object and the larger the “equivalent” aperture, which is important for increasing the accuracy of measuring the magnitude of the bifurcation when calculating the two-dimensional correlation function.

If we take the “equivalent” aperture of the rangefinder lens to unity (when $B=F_d$), then in this case the value “x” becomes equal to the amount of image bifurcation to be measured.

Then the final formula for calculating the distance to the target will be:

$$D = \frac{-F_d^2}{x'}, \quad (3)$$

Using the minimum value of the two-dimensional normalized correlation function, it is possible to determine the distance between the images of the object with an accuracy of tenths of the size of one pixel of the photodetector of the rangefinder channel “ d_{pxl} ”.

Obviously, the error in measuring the range in this case will be determined by the error in measuring the magnitude of the split image “ $\Delta x'$ ”. Assuming the measurement accuracy equal to $\Delta x' = 0,2 \cdot d_{pxl}$, we obtain:

$$(D \pm \Delta D) = \frac{-F_d^2}{x' \mp 0,2 \cdot d_{pxl}}, \quad (4)$$

In the scheme of the rangefinder: a lens with a focal length $F_d=200$ mm with a value of $B=200$ mm; VAA-136-USB television camera with a minimum working illumination of 0.005 lux and a frequency of 25 Hz (developed by EVS LLC, Moscow) based on a CMOS photodetector (MT9M034, format 1280×960 elements, pixel size 3.75×3.75 μ m, the Nyquist frequency ~ 130 lines/mm), the size of the sensitive area 4.8×3.6 mm (diagonal $D_{TV}=6.0$ mm). When using such a set of parts in the rangefinder circuit, the error $\Delta x' = 0,2 \cdot d_{pxl}$ will be 0.75 μ m.

The results of calculations of the magnitude of the theoretical errors of range measurement are presented in Table 1.

A television sighting channel can be built on a VAA-136-USB television camera and a small-sized lens with a focal length $F_{\text{lens}}=18,2$ mm, and use an eyepiece with a focal length $f_{\text{oc}}=15.67$ mm and a SXGA060 $1280 \times$ format microdisplay as an eyepiece channel 1024 with a pixel size of 9.3×9.3 μ m and an active region size of 11.941×9.56 mm (D_{md} diagonal = 15.296 mm).

После подстановки соответствующих числовых значений полученное значение увеличения телевизионного канала составит $\Gamma \approx 3$ крат.

Телевизионный визирный канал будет достаточно малогабаритным и его объективную часть можно легко разместить внутри прибора в центральной свободной зоне, а окулярный канал – в задней свободной зоне прибора.

Дальномерный объектив целесообразно построить по зеркально-линзовой схеме, так как она обеспечивает достаточно простое решение с минимальным количеством оптических деталей, а также позволяет достичь достаточно больших значений относительного отверстия при высоком качестве изображения, определяемого размером пиксела фотоприемника для частоты Найквиста, равной ~ 130 штр/мм.

Тогда вариант конструктивного исполнения пассивного оптико-электронного прицела-дальномера с зеркально-линзовым объективом, состоящим из входной линзы, главного зеркала и трехлинзового компенсатора aberrаций, включающего в себя одну отрицательную линзу и две положительные линзы, может быть выполнен по схеме, приведенной на рис. 4. Рабочими зонами

The angular field of view of such a sighting channel will be $\sim 15.0^\circ \times 11.2^\circ$ (diagonal 18.7°), and the increase in the television channel will be calculated by the formula:

$$\Gamma = \Gamma_{\text{опт.}} \cdot \Gamma_{\text{эл.}} = \frac{F'_{\text{лens}}}{F'_{\text{oc}}} \cdot \frac{D_{\text{md}}}{D_{\text{TV}}}. \quad (5)$$

After substituting the corresponding numerical values, the obtained value of the increase in the television channel will be $\Gamma \approx 3$ times.

The television sighting channel will be quite small and its objective part can be easily placed inside the device in the central free zone, and the ocular channel in the back free position of the device.

It is advisable to construct a rangefinder lens using a mirror-lens scheme, since it provides a fairly simple solution with a minimum number of optical parts, and also allows to achieve sufficiently large values of the relative aperture at high image quality, determined by the pixel size of the photodetector for a Nyquist frequency of ~ 130 lines/mm

Then, the embodiment of the passive optoelectronic sight-rangefinder with a mirror-lens lens consisting of an input lens, a main mirror and a three-lens aberration compensator, which includes one negative lens and two positive lenses, can be performed according to the scheme shown in Fig. 4.

The working areas of the rangefinder lens are the areas of the ranging channels No. 1 and No. 2.

The proposed implementation of the principle of measuring range by the magnitude of the image split from spaced axisymmetric apertures provides for the fixed installation of all elements in all channels of the sight. In this case, the range measurement process is similar to the measurement with a laser range finder – the central mark of the target channel is aimed at the object and, by pressing the measurement button, the range calculation is started in accordance with the calculation formula (4). The value of the measured range is displayed on the microdisplay of the ocular channel. In this case, the main processing load is borne by the processor of the device.

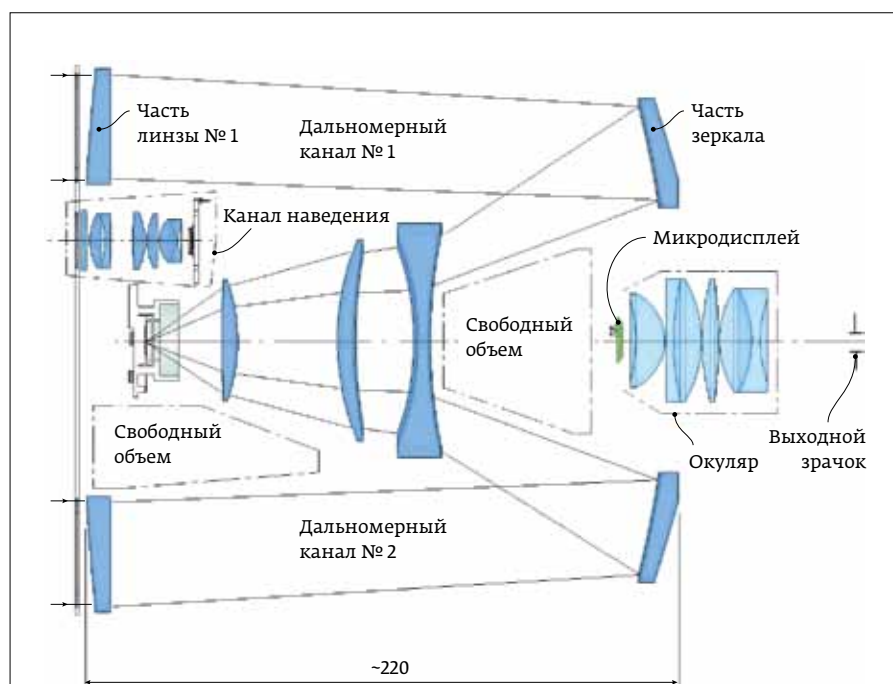


Рис.4. Компоновочная схема варианта прицела с пассивным оптико-электронным дальномером

Fig.4. Layout drawing of sight option with passive-mode optical electronic rangefinder

дальномерного объектива являются зоны дальномерных каналов № 1 и № 2.

Предполагаемая реализация принципа измерения дальности по величине раздвоения изображения от разнесенных осесимметричных апертур предусматривает неподвижную установку всех элементов во всех каналах прицела. При этом процесс измерения дальности аналогичен измерению с лазерным дальномером – центральная марка визирного канала наводится на объект и нажатием кнопки измерения запускается вычисление дальности в соответствии с расчетной формулой (4). Значение измеренной дальности высвечивается на экране микродисплея окулярного канала. При этом основную вычислительную нагрузку несет на себе процессор прибора.

Сложность анализа изображения, снятого с фотоприемника дальномерного канала, и процесса дальнейших вычислений для такой схемы заключается в том, что цель на конечных дистанциях (например, 500 м и 50 м) наблюдается не только раздвоенной, но и расфокусированной. Раздвоение изображения от точечного объекта в плоскости неподвижно установленного фотоприемника и соответствующее увеличение расфокусировки этого изображения показано ходом лучей на рис. 5.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, теоретическая ошибка измерения дальности относительно невелика – менее 1% на 500 м, а быстрота измерения (доли секунды) позволяет уверенно применять такой прибор в качестве универсального. Однако практическое использование все же будет иметь некоторые ограничения из-за значительного поперечного размера, определяемого выбранной базой.

Длина прицела, реализованного по схеме рис. 4, составляет ~258 мм, высота ~50 мм. Такие габариты прибора сопоставимы с соответствующими размерами штатных прицелов типа ПСО-1. Ширина прибора определяется выбранной базой ($B=200$ мм) и составляет величину порядка 205 мм.

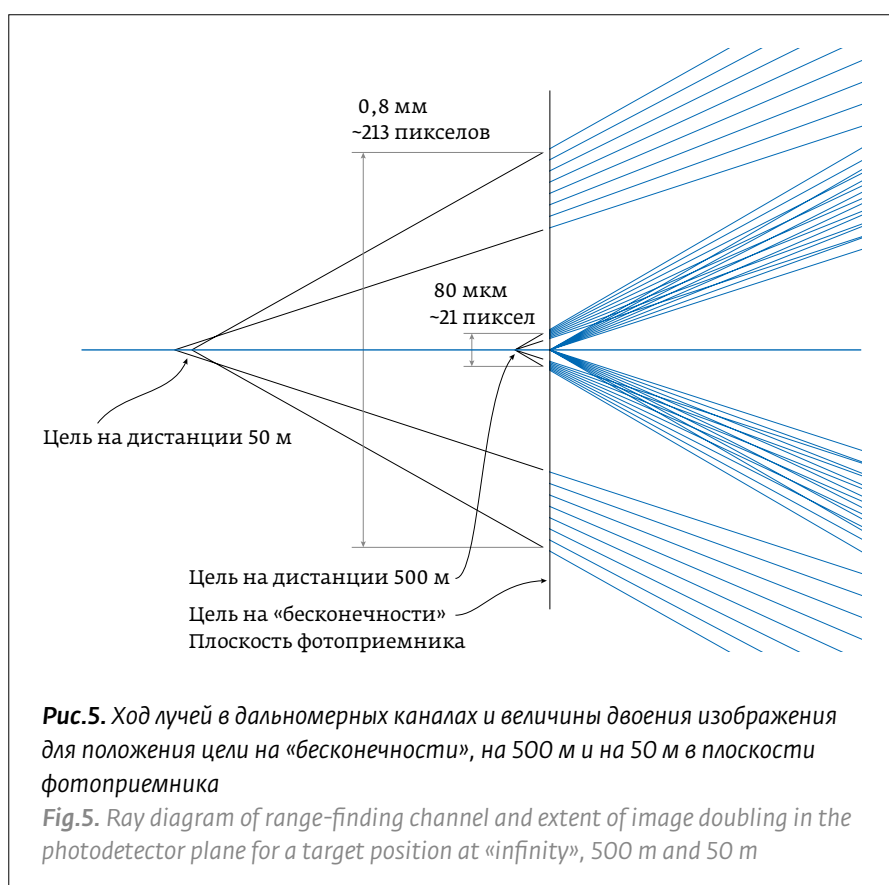
The complexity of analyzing the image taken from the photodetector of the rangefinder channel and the process of further calculations for such a scheme lies in the fact that the target at finite distances (for example, 500 m and 50 m) is not only bifurcated, but also defocused.

The bifurcation of the image from a point object in the plane of a fixedly mounted photodetector and the corresponding increase in the defocusing of this image are shown by the ray path in Fig. 5.

According to the data given in Table 1, the theoretical error of range measurement is relatively small: less than 1% per 500 m, and the measurement speed (fraction of a second) allows you to confidently use such a device as a universal one.

However, the practical use will still have some limitations due to the significant transverse size determined by the chosen base.

The length of the sight, implemented according to the scheme of Fig. 4, is ~258 mm, height ~50 mm. Such dimensions of the device are comparable with the corresponding sizes of standard sights of the PSO-1 type. The width of the device is determined by the selected base ($B=200$ mm) and is about 205 mm.



Для сравнения размеров на рис. 6 изображен пример установки компоновочной схемы элементов с базой, равной $B=200$ мм, на снайперской винтовке Драгунова. Суммарный вес оптической части прицела-дальномера составляет ~614 г, что позволяет выполнить прибор в общем весе менее 2 кг.

Очевидно, что необходимо искать пути снижения массы, для чего целесообразно уменьшить поперечный размер прибора.

Кроме того, для расфокусированного изображения точность определения расстояния методом вычисления двухмерной корреляционной функции между двумя изображениями на одном фотоприемнике дальномерного канала будет снижаться по мере расфокусировки – по мере уменьшения дальности до цели. При этом величину снижения точности необходимо будет определять практическим путем и компенсировать введением соответствующей поправки.

В целях снижения габаритных размеров и веса проработан второй вариант пассивного оптико-электронного прицела-дальномера. Для этого рассмотрена возможность кардинального уменьшения поперечного размера прибора, а также возможность сохранения резкой зоны изображения цели. Кардинальное уменьшение поперечного размера получено за счет оригинального компоновочного решения (рис. 7).

Учитывая, что доля дальномерной части с телевизионной камерой VAI-136-USB составляет ~369 г из 614 г, решено исключить один из дальномерных каналов, изображенных на рис. 4. В этом случае собственно дальномерный канал будет



Рис.6. Расположение элементов прицела на СВД

Fig.6. Arrangement of sight components on Dragunov sniper rifle

For comparison of sizes, Fig. 6 shows an example of setting the layout of elements with a base equal to $B=200$ mm on a Dragunov sniper rifle. The total weight of the optical part of the rangefinder sight is ~614 g, which allows the device to be made with a total weight of less than 2 kg.

Obviously, it is necessary to look for ways to reduce weight, for which it is advisable to reduce the transverse size of the device.

Furthermore, for a defocused image, the accuracy of determining the distance by calculating a two-dimensional correlation function between two images on the same photodetector of the rangefinder channel will decrease as the focus is defocused – as the distance to the target decreases. In this case, the magnitude of the decrease in accuracy will need to be determined in a practical way and compensated by the introduction of an appropriate amendment.

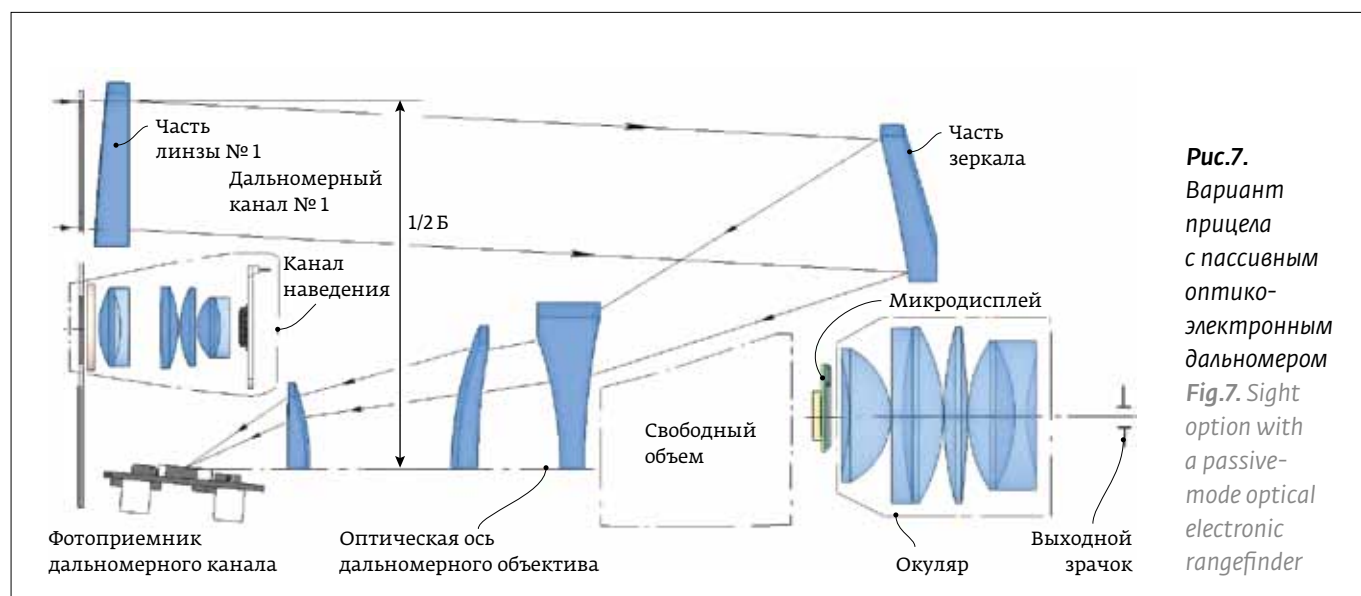


Рис.7.

Вариант прицела с пассивным оптико-электронным дальномером
Fig.7. Sight option with a passive-mode optical electronic rangefinder

представлять собой комбинацию «половинок» осесимметричных оптических элементов, построенных по аналогичной зеркально-линзовой схеме, т.е. формирование изображения будет осуществляться только одним оптическим каналом, который строит изображение объекта на неподвижно установленном фотоприемнике. Центр изображения объекта, расположенного на «бесконечности», «строится» оптической системой в центре фотоприемника дальномерного канала, с этим центром совмещен и центр визирного канала наведения.

Возможность сохранения резкой зоны изображения цели обеспечивается некоторым наклоном плоскости фотоприемника относительно оптической оси дальномерного объектива. Тогда при изменении дистанции до цели центр изображения цели на фотоприемнике будет смещаться относительно точки наведения (центра фотоприемника) соответственно изменению дальности до объекта, оставаясь резким. При такой схеме центр цели будет виден резким и смещенным относительно центра фотоприемника для соответствующей дальности. Но справа и слева от центра цели будет присутствовать расфокусировка из-за наклона плоскости фотоприемника, т.е. участок резкого изображения цели будет узким и смещающимся по наклонной плоскости фотоприемника обратно пропорционально уменьшению дальности до цели. Соответствующий ход лучей в плоскости фотоприемника дальномерного канала показан на рис. 8.

Вспомогательные величины, необходимые для вывода конечной формулы, по которой осуществляется вычисление дальности до цели обозначены на рисунке буквами « h », « x'_1 » и « x'_2 ».

Дальность до цели определяется по измеренному сдвигу « x'_ϕ » центра области резкого изображения цели относительно опорного пиксела фотоприемника дальномерного канала, соответствующего дальности до цели на «бесконечности», а также пикселу прицельной метки для наведения на цель в визирном канале.

Анализируя геометрические соотношения, иллюстрируемые рис. 8 и используя формулу Ньютона (2), можно полу-

In order to reduce the overall dimensions and weight, the second variant of the passive optoelectronic sight-range finder was developed. To this end, the possibility of drastically reducing the transverse size of the device, as well as the possibility of maintaining a sharp area of the target image, was considered. A drastic decrease in the transverse size was obtained due to the original layout solution (Fig. 7).

Given that the proportion of the rangefinder part with the VAI-136-USB television camera is ~369 g out of 614 g, it was decided to exclude one of the rangefinder channels shown in Fig. 4. In this case, the rangefinder channel itself will be a combination of "halves" of axisymmetric optical elements constructed according to a similar mirror-lens scheme, i.e. image formation will be carried out by only one optical channel, which builds the image of the object on a fixed photodetector. The center of the image of the object located at "infinity" is "built" by the optical system in the center of the photodetector of the range-finding channel, and the center of the targeting channel is also aligned with this center.

The ability to maintain a sharp area of the target image is provided by tilting the plane of the photodetector relative to the optical axis of the rangefinder lens.

Then, when the distance to the target changes, the center of the target image on the photodetector will shift relative to the pointing point (center of the photodetector) according to the change in the distance to the object, remaining sharp.

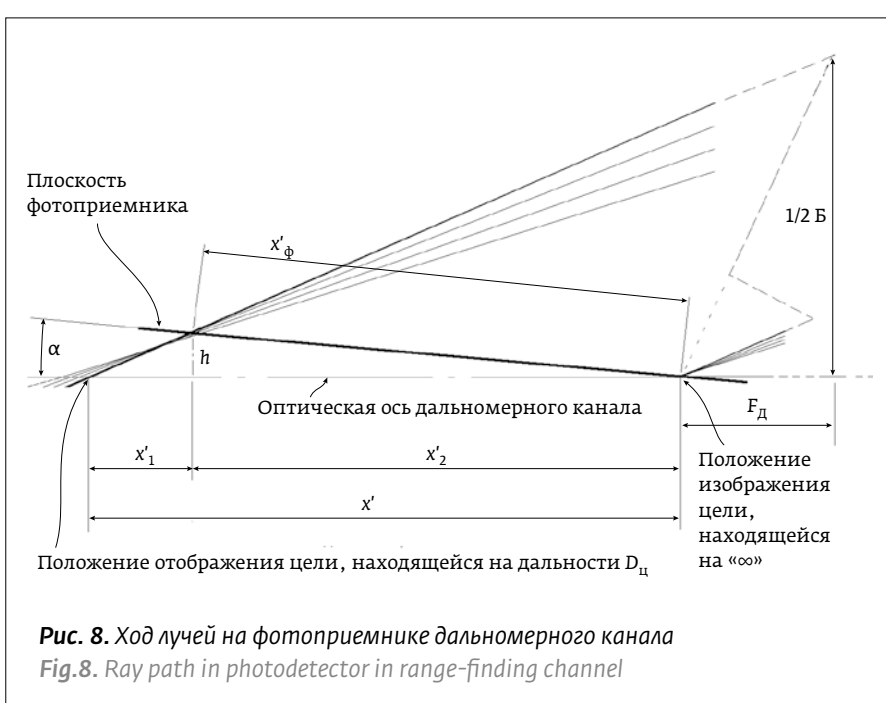


Рис. 8. Ход лучей на фотоприемнике дальномерного канала
Fig.8. Ray path in photodetector in range-finding channel

читать конечное соотношение для использования в вычислителе прибора:

$$D = \frac{F_d^2 \cdot (B - 2 \cdot x'_\phi \cdot \sin \alpha)}{x'_\phi \cdot (2 \cdot F_d \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha)}, \quad (6)$$

где: α – угол между оптической осью объектива дальномерного канала и плоскостью фотоприемника дальномерного канала;

x'_ϕ – измеренная величина смещения центра области резкого изображения наблюдаемой цели в плоскости фотоприемника дальномерного канала относительно пиксела фотоприемника, соответствующего изображению цели на «бесконечности».

Характерно, что ширина участка с резким изображением цели будет определяться углом « α » наклона фотоприемника относительно оптической оси дальномерного объектива.

С уменьшением угла наклона плоскости фотоприемника « α » ширина участка с резким изображением цели будет уменьшаться, так как плоскость резкого изображения цели, построенного дальномерным объективом, перпендикулярна оптической оси объектива. Оптические расчеты однозначно показывают наличие эффекта изменения резкости изображения и могут быть наглядно продемонстрированы ходом лучей в плоскости фотоприемника дальномерного канала.

Для зеркально-линзовой оптической схемы, изображенной на рисунке 7, ход лучей при наклоне плоскости фотоприемника дальномерного канала, составляющем $\alpha \approx 5^\circ$ от оптической оси дальномерного объектива, представлен на рис. 9.

На рис. 9 также показан размер изображения цели по крайним пучкам лучей для каждой дальности ходом лучей одного цвета: синим – цель на «бесконечности», зеленым – цель на дистанции 500 м, красным – цель на дистанции 50 м.

Для оптимизации кружков рассеяния дальномерного объектива и сохранения качества изображения центра поля зрения для разных дальностей наклон плоскости фотоприемника относительно оптической оси обь-

With this scheme, the center of the target will be seen sharp and mixed relative to the center of the photodetector for the corresponding range. But to the right and left of the center of the target there will be a defocus due to the inclination of the plane of the photodetector, i. e. the area of the sharp image of the target will be narrow and shifted along the inclined plane of the photodetector inversely with the decrease in the distance to the target.

The corresponding ray path in the plane of the photodetector of the rangefinder channel is shown in Fig. 8.

Auxiliary values necessary to derive the final formula by which the distance to the target is calculated are indicated in the figure by the letters “h”, “ x'_1 ” and “ x'_2 ”.

The distance to the target is determined by the measured shift “ x'_f ” of the center of the area of the sharp image of the target relative to the reference pixel of the photodetector of the rangefinder channel, corresponding to the distance to the target at “infinity”, as well as the pixel of the aiming mark for aiming at the target in the target channel.

Analyzing the geometric relationships illustrated in Fig. 8 and using Newton’s formula (2), we can obtain the final ratio for use in the computer calculator:

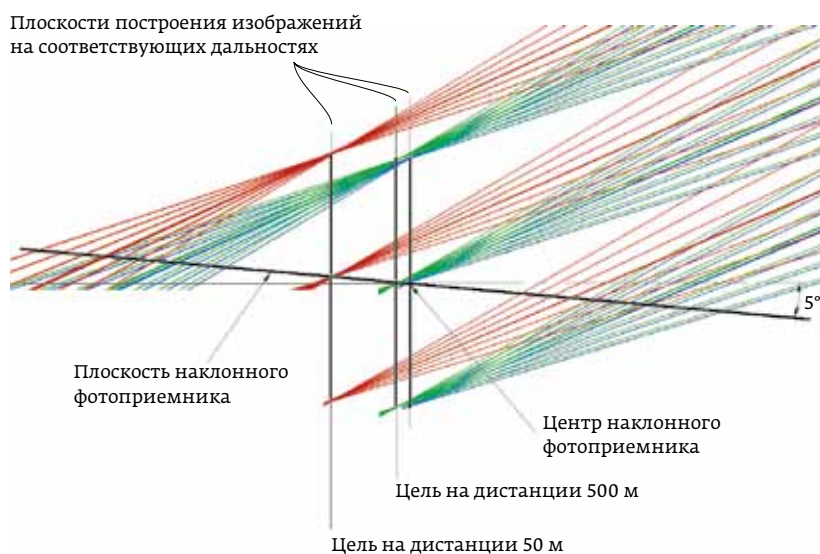
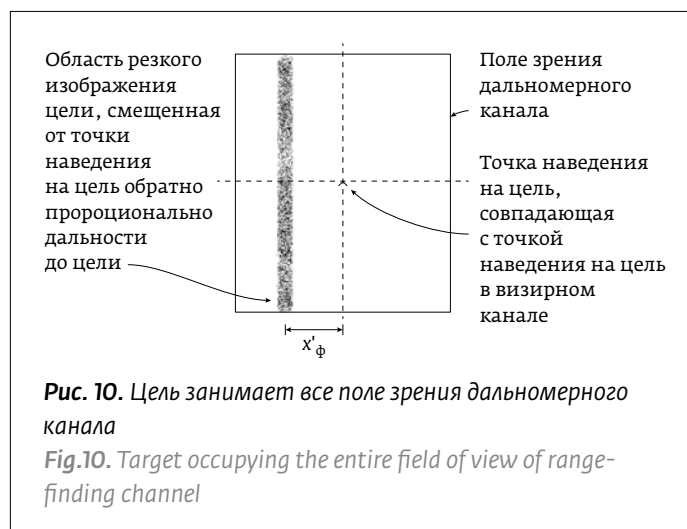


Рис. 9. Смещения изображений и изменение резкости изображений для дальностей до цели «бесконечность», 500 м и 50 м на участке наклонного фотоприемника ± 2 мм от центра

Fig. 9. Displacement of images and change of image sharpness for targets located at «infinity», 500 m and 50 m in the portion of the photodetector, which is tilted ± 2 mm from the center



ектива целесообразно осуществлять в диапазоне углов:

$$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ, \quad (7)$$

Собственно поле зрения дальномерного канала также обусловлено в том числе и величиной наклона плоскости фотоприемника и составляет $1,0^\circ$ по вертикали и $0,6^\circ$ по горизонту.

Если размеры цели велики, и она перекрывает все поле зрения дальномерного канала, то все поле зрения дальномерного канала соответствует одной дальности до цели. Тогда узкая область резкого изображения цели будет располагаться вертикально на плоскости фотоприемника (рис. 10).

В этом случае возможно вычисление положения максимального значения двумерной нормированной корреляционной функции в субпиксельном диапазоне при использовании всей площади фотоприемника.

Ситуация усложняется, когда цель занимает участок меньший, чем поле зрения дальномерного канала. При этом, кроме цели, в поле зрения дальномерного канала будут попадать участки местности на дальностях, отличающихся от дальности до цели.

Тогда узкая область резкого изображения цели будет иметь сложный, отличный от вертикали профиль, в котором собственно цель будет занимать участок резкого изображения, смещенный относительно точки наведения на цель по горизонтальной линии, проходящей через точку наведения на цель (рис. 11). Остальные предметы могут быть дальше, чем цель (верхний участок на рисунке), или ближе, чем цель (нижний участок на рисунке).

$$D = \frac{F_D^2 \cdot (B - 2 \cdot x'_f \cdot \sin \alpha)}{x'_f \cdot (2 \cdot F_D \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha)}, \quad (6)$$

where: α is the angle between the optical axis of the lens of the rangefinder channel and the plane of the photodetector of the rangefinder channel;

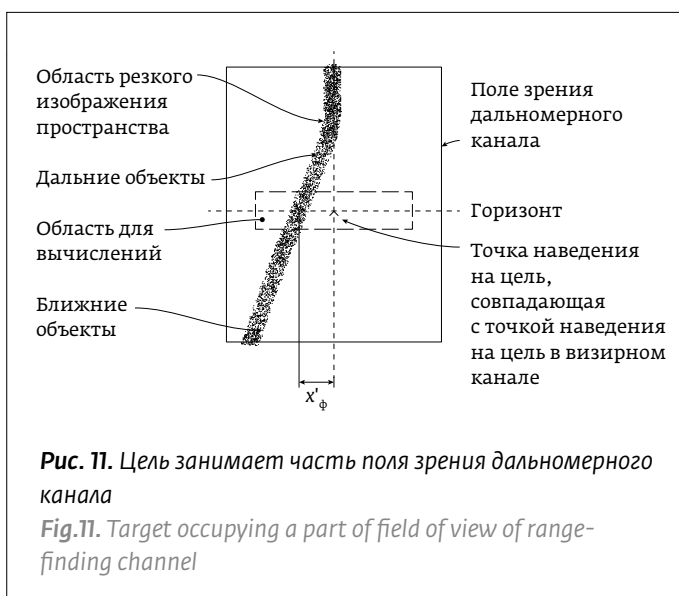
x'_f is the measured value of the displacement of the center of the region of the sharp image of the observed target in the plane of the photodetector of the rangefinder channel relative to the pixel of the photodetector corresponding to the image of the target at "infinity".

It is characteristic that the width of the area with a sharp target image will be determined by the angle α of the tilt of the photodetector relative to the optical axis of the rangefinder lens.

With a decrease in the angle of inclination of the plane of the photodetector " α ", the width of the section with a sharp image of the target will decrease, since the plane of the sharp image of the target built by the rangefinder lens is perpendicular to the optical axis of the lens. Optical calculations unambiguously show the presence of the effect of changing the sharpness of the image and can be clearly demonstrated by the path of the rays in the plane of the photodetector of the rangefinder channel.

For the mirror-lens optical scheme shown in Fig. 7, the ray path when the plane of the photodetector of the rangefinder channel is tilted at $\alpha \approx 5^\circ$ from the optical axis of the rangefinder lens is shown in Fig. 9.

In fig. Figure 9 also shows the size of the target image along the extreme beams of rays for each range by the course of rays of the same color: blue – the tar-



В этом случае наиболее целесообразным будет вычисление положения максимального значения двухмерной нормированной корреляционной функции в субпиксельном диапазоне с использованием меньшего участка площади фотоприемника, но близкого к центральной горизонтальной линии, проходящей через точку наведения на цель (на рисунке – область для вычислений, отмечена пунктиром).

Для величины дальности до цели теоретическая ошибка определяется выражением:

$$(D \pm \Delta D) = \frac{F_d^2 \cdot (B - 2 \cdot (x'_\phi \mp \Delta x'_\phi) \cdot \sin \alpha)}{(x'_\phi \mp \Delta x'_\phi) \cdot (2 \cdot F_d \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha)}, \quad (8)$$

Для определения сдвига центра области резкого изображения цели используем вычисляемое положение максимального значения двухмерной нормированной корреляционной функции в субпиксельном диапазоне. Тогда можно обеспечить измерение величины « x'_ϕ » с точностью не хуже 0,2 от размера пиксела фотоприемника дальномерного канала.

При размере пиксела фотоприемника 0,00375 мм ошибка измерения смещения составит $\Delta x'_\phi = 0,00075$ мм, а теоретические ошибки измерения дальности до цели примут значения для разных значений дальности (табл. 2). Расчеты про-

get at “infinity”, green – the target at a distance of 500 m, red – the target at a distance of 50 m.

To optimize the scattering circles of the rangefinder lens and maintain the image quality of the center of the field of view for different ranges, it is advisable to tilt the plane of the photodetector relative to the optical axis of the lens in the range of angles:

$$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ, \quad (7)$$

The field of view of the rangefinder channel itself is also determined by the inclination of the plane of the photodetector and is 1.0° vertically and 0.6° horizontally.

If the size of the target is large and it covers the entire field of view of the rangefinder channel, then the entire field of view of the rangefinder channel corresponds to the same range to the target.

Then the narrow area of the sharp image of the target will be located vertically on the plane of the photodetector (Fig. 10).

In this case, it is possible to calculate the position of the maximum value of the two-dimensional normalized correlation function in the subpixel range using the entire area of the photodetector.

The situation is complicated when the target occupies a section smaller than the field of view of the rangefinder channel. At the same time, besides the target, in the field of view of the rangefinder channel, areas of terrain will also fall at ranges differing from the range to the target.

Then the narrow area of the sharp image of the target will have a complex profile different from the vertical, in which the target itself will occupy a section of the sharp image, offset from the point of pointing at the target along a horizontal line passing through the point of pointing at the target (Fig. 11). The remaining objects can be farther than the target (upper section in the figure), or closer than the target (lower section in the figure).

In this case, it would be most appropriate to calculate the position of the maximum value of the

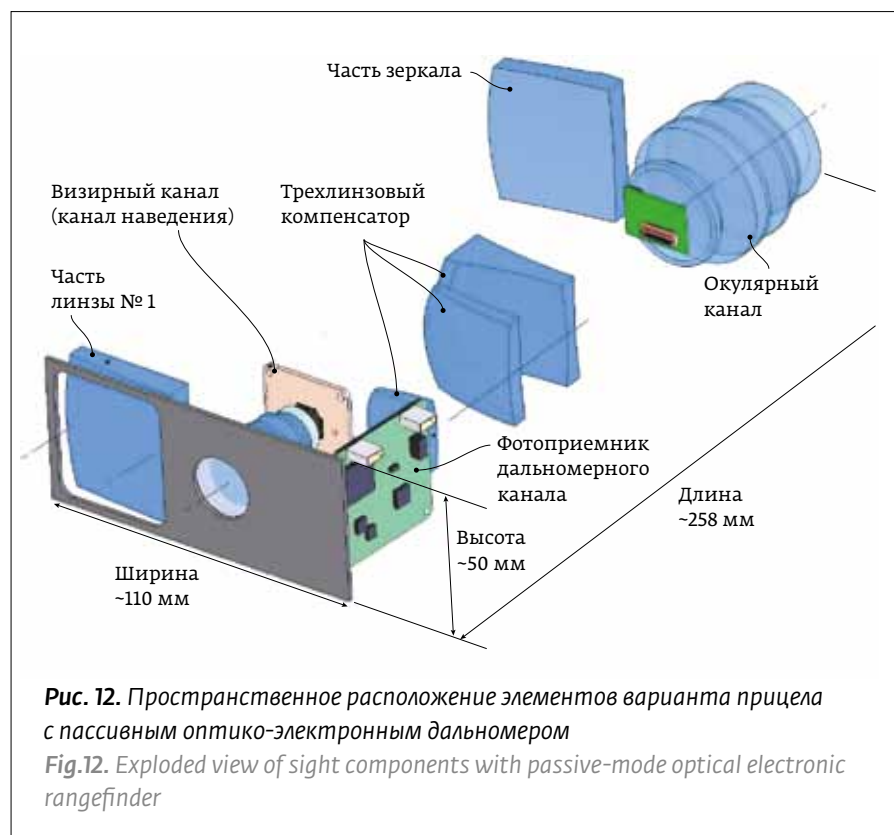


Рис. 12. Пространственное расположение элементов варианта прицела с пассивным оптико-электронным дальномером

Fig.12. Exploded view of sight components with passive-mode optical electronic rangefinder

Таблица 2. Оценка методической ошибки измерения дальности до цели**Table 2.** Measuring of the range to the target: Assessment of the methodological error

Дальность до цели D_H , м Distance to target D_T , m	Смещение изображения цели вдоль оптической оси x' , мм Imaging target shift by the optics axis x' , mm	Смещение изображения на фотоприемнике x'_{ϕ} , мм Imaging shift on the PD, x'_{PD} , mm	Ошибка измерения смещения $\Delta x'_{\phi}$, мм Measurement error of the imaging shift $\Delta x'_{PD}$, mm	Ошибка измерения дальности ΔD , м Measurement error of the distance target ΔD , m
500	0,080	0,06834...	0,00075	± 5,6
800	0,050	0,04271...		± 14,3
1000	0,040	0,03417...		± 22,5
2000	0,020	0,01708...		± 91,9
3000	0,0133...	0,01139...		± 211,5
4000	0,010	0,00854...		± 385,0

ведены для $F_d=200$ мм, $B=200$ мм, $\alpha=5^\circ$, размера пиксела 3,75 мкм, ошибка измерения смещения 0,2 от размера пиксела.

Как видно из расчетов, вариант оптико-электронного пассивного дальномера обеспечивает приемлемую погрешность пассивного измерения дальности на основных дистанциях точной

two-dimensional normalized correlation function in the subpixel range using a smaller portion of the photodetector area, but close to the central horizontal line passing through the targeting point (the figure shows the dotted line for calculations in the figure).

The theoretical error in determining the range is determined by the formula:

Современным компаниям – инновационные решения!

Одночастотный DFB лазерный диод.

РАЗМЕР КОРПУСА СУЩЕСТВЕННО УМЕНЬШЕН



Компания **Toptica eagleyard** (Германия) продемонстрировала выдающийся шаг по уменьшению размера корпуса одночастотного DFB лазерного диода. Это переход от 8-ми штырькового большого корпуса **ТО-3**, к компактному 8-ми штырьковому корпусу **ТО-5**. При этом, миниатюрный корпус **ТО-5** включает в себя все те элементы, что и корпус **ТО-3**: термоэлектрический охладитель, термистор и мониторинговый диод. Корпус также **герметичен**. Еще одно неоспоримое достоинство – **цена**. Лазеры в корпусе **ТО-5** существенно дешевле своих «старших» братьев! В первую линейку диодов в новых корпусах входят излучатели на **760** и **780** нм. Миниатюрный корпус позволяет создавать компактные и недорогие датчики и элементы автоматического управления.

Основные применения: детектирование наличия кислорода, в том числе при производстве фотоприемных матриц и тепловизионных приборов, интерферометрия и метрология.

Эксклюзивным представителем компании **Toptica eagleyard** (Германия) в РФ является компания «ЕвроЛэйз».

www.eurolase.ru

ЕВРОЛЭЙЗ
PHOTONICS



стрельбы оружия типа СВД (~500 м) с теоретической ошибкой ~1,1%, а также позволяет вести стрельбу на дальности ~1 км с теоретической ошибкой измерения дальности ~2,25%.

Здесь без ограничений могут быть использованы возможности метода вычисления двумерной корреляционной функции для определения сдвига изображения, так как для анализа используется область резкого изображения цели на фотоприемнике дальномерного канала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Такое конструктивное исполнение по габаритным и массовым характеристикам вполне приемлемо для практического использования, так как поперечный размер прибора составляет величину порядка ~110 мм вместо 205 мм, полученных на первом варианте исполнения (рис. 12) за счет использования фрагмента объектива дальномерного канала и наклона плоскости фотоприемника дальномерного канала относительно оптической оси дальномерного объектива.

Суммарный вес оптический части варианта прицела-дальмера составляет ~428 г. Это дает возможность реализовать пассивный оптико-электронный прицел-дальномер в весе не более 1 кг в малогабаритном исполнении. В табл. 2 указаны расчетные значения теоретических ошибок метода измерений.

REFERENCES

1. Сватеев В. А. Плюсы и минусы прицела. *Армейский сборник*. 2013;12(234): 22. Svateev V. A. Plyusy i minusy pricela. *Armejskiy sbornik*. 2013;12(234): 22.
2. Medvedev A. V., Grinkevich A. V., Knyazeva S. N. The Trends of Improving of Passive Type Optical Range Finding device. *Photonics Russia*. 2017; № 8(68): 30–37. DOI: 10.22184/1993-7296.2017.68.8.30.37.
3. Patent RU2485443 C1. Method to Measure Distances in Digital Camera / Kozlov V. I.
4. Patent RU2579532 C2. Optical Electronic Stereoscopic Rangefinder / Zubar A. V., Kaykov K. V., Alferov S. V., Nurpeisov S. Zh.
5. Patent RU2 626 051 C2. Method for Determining Distances to Objects Using Images from Digital Video Cameras / Zubar A. V., Kaykov K. V., Alferov S. V., Pivovarov V. P., Gejtse E. A., Pozdeev A. N., Afanasev A. A.
6. Грейм И. А. Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. – М.: Недра. 1983. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007256995>. Grejm I. A. Opticheskie dal'nomery i vysotomery geometricheskogo tipa. – М.: Nedra. 1983. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007256995>.
7. Заказнов Н. П., Кирюшин С. И., Кузичев В. Н. Теория оптических систем. 3-е изд. – М.: Машиностроение. 1992; 30–31. ISBN5-217-01995-6. Zakaznov N. P., Kiryushin S. I., Kuzichev V. N. Teoriya opticheskikh sistem. 3-e izd. – М.: Mashinostroenie. 1992; 30–31. ISBN5-217-01995-6.

АВТОРЫ

Медведев Александр Владимирович, design@romz.ru, генеральный конструктор, ОАО «Ростовский оптико-механический завод, (ОАО «РОМЗ»), Ростов Великий, Ярославская область, Россия.
Гринкевич Александр Васильевич, lyu1455@yandex.ru, ЗАО «ЭВС», Москва, Россия.
Князева Светлана Николаевна, ksn61@yandex.ru, инженер-конструктор, ОКБ ОАО «Ростовский оптико-механический завод, (ОАО «РОМЗ»), Ростов Великий, Ярославская область, Россия.

$$(D \pm \Delta D) = \frac{F_d^2 \cdot (B - 2 \cdot (x'_f \mp \Delta x'_f) \cdot \sin \alpha)}{(x'_f \mp \Delta x'_f) \cdot (2 \cdot F_d \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha)}, \quad (8)$$

If we use the calculation of the position of the maximum value of the two-dimensional normalized correlation function in the subpixel range to determine the shift of the center of the region of the sharp image of the target, then it is possible to measure “ x'_f ” with an accuracy of no worse than 0.2 of the pixel size of the photodetector of the ranging channel.

With a photodetector pixel size of 0.00375 mm, the bias measurement error will be $\Delta x'_f = 0.00075$ mm, and the theoretical measurement errors of the range to the target will take values for different range values (Table 2).

The calculations were performed for $F_d = 200$ mm, $B = 200$ mm, $\alpha = 5^\circ$, a pixel size of $3.75 \mu\text{m}$, the error in measuring the displacement is 0.2 of the pixel size.

As can be seen from the calculations, the opto-electronic passive rangefinder option provides an acceptable error of passive range measurement at the main distances of accurate firing of weapons of the SVD type (~500 m) with a theoretical error of ~1.1%, and also allows firing at a range of ~1 km s theoretical error of range measurement ~2.25%.

Here, without limitations, the capabilities of the method for calculating a two-dimensional correlation function for determining the image shift can be used, since the region of sharp image of the target on the photodetector of the rangefinder channel is used for analysis.

Such a design in terms of overall and mass characteristics is quite acceptable for practical use, since the transverse size of the device is about 110 mm instead of the 205 mm obtained in the first embodiment (Fig. 12) due to the use of a fragment of the lens of the rangefinder channel and the inclination of the plane of the photodetector rangefinder channel relative to the optical axis of the rangefinder lens.

The total weight of the optical parts of the rangefinder scope option is ~428 g. This makes it possible to realize a passive optical-electronic rangefinder scope in a weight of not more than 1 kg in a small version. Table 2 shows the calculated values of the theoretical errors of the measurement method.

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, lyu1455@yandex.ru, ZAO EVS, Moscow, Russia.
Knyazeva Svetlana Nikolaevna, ksn61@yandex.ru, Design Engineer, Design Bureau of OJSC Rostov Optical and Mechanical Plant (OJSC ROMZ), Rostov the Great, Yaroslavl Region, Russia.

19–22.10.2020



В рамках проекта «Наука-Технологии-Инновации Экспо»
международная политехническая выставка

ТЕХНОФОРУМ



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.technoforum-expo.ru

Организатор:



При поддержке:

- Государственной Думы Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ

Реклама



«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»