



УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫЙ ПРИЦЕЛЬНО- НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР КАК СРЕДСТВО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУО ОБЪЕКТОВ БТВТ

А. В. Медведев, ОАО "РОМЗ",
design@romz.ru, г. Ростов;
А. В. Гриневич, ЗАО "ЭВС",
lyu1455@yandex.ru, г. Москва;
С. Н. Князева, ОКБ ОАО "РОМЗ",
ksn-61@yandex.ru, г. Ростов

В статье рассмотрено направление совершенствования системы управления огнем (СУО) объектов бронетанковой техники, заключающееся в создании стабилизированной комбинированной многоканальной оптической системы прицельно-наблюдательного комплекса с одним общим входным зрачком, а также ее модификация в виде панорамного прибора. Такой подход решает множество задач: от минимизации головных частей, позволяющих оптимизировать систему двухплоскостной стабилизации положения линии визирования, до одновременной работы в различных спектральных диапазонах, т. е. получения комплексированного панорамного изображения, повышающего вероятность нахождения и распознавания целей в сложных условиях наблюдения.

Рассматривая современные стабилизированные прицелы для боевых бронированных машин, можно отметить, что все они, как правило, имеют дневной оптический канал и многие дополнительно оснащены ночным каналом, а также лазерным дальномером. Дневная оптика считается очень важным элементом прицела, так как оптический канал прямого обзора остается лучшим вариантом обеспечения изображения высокой разрешающей способности и передачи истинного цвета в таком качестве, которое необходимо для уверенного опознавания цели.

UNIVERSAL MULTISPECTRAL SIGHT AND OBSERVATION DEVICE AS THE MEANS OF IMPROVING THE FCS OF ARMAMENT OF ARMORED FORCE VEHICLES (AAVF)

А. В. Medvedev, OJSC "ROMZ", *design@romz.ru*, Rostov;
A. V. Grinkevich, CJSC "EVS", *lyu1455@yandex.ru*, Moscow;
S. N. Knyazeva, Experimental Design Bureau of OJSC "ROMZ", *ksn-61@yandex.ru*, Rostov

This article deals with the improvement of the fire control system of armored vehicles. It details designing of a stabilized multiunit and multichannel optical device of the sighting and observation system utilizing a single common entrance pupil. Some modifications of the basic system, e.g. a panoramic device are also reviewed in this article. Such approach allows the solution of numerous tasks – from minimization of the head parts allowing the optimization of the biplanar sighting line stabilization system up to the simultaneous operation in different spectral ranges, i.e. obtaining a complex panoramic image, which enhances the probability of detection and recognition of targets in adverse observation conditions.

While considering modern stabilized sights for combat armored vehicles, it can be noted that all of them, as a rule, have a daylight optical channel and many are further equipped with a night channel, as well as a laser rangefinder. Daytime optics is considered to be a very important element of the sight, since the optical direct view channel remains the best option for providing a high-resolution image and transmitting the true color in such a quality that is necessary for positive identification of the target.

The night channel is either a thermal imaging camera with IR optics and a sensitive element in the form of a grating allowing to eliminate mechanical scanning, or a channel built on electron-optical image intensifiers operating in the near-IR range.



Ночной канал представляет собой либо тепловизионную камеру с ИК-оптикой и чувствительным элементом в виде решетки, позволяющей обойтись без механического сканирования, либо канал, построенный на электронно-оптических усилителях яркости изображения, работающих в ближнем ИК-диапазоне.

Основным тактическим требованием к приборному оснащению бронетехники является обеспечение возможности эффективно использовать приборы в условиях вибрации при движении машины.

Это означает, что оператор, находясь под защитой брони башни, должен вести наблюдение из движущейся машины, уверенно обнаруживать и опознавать цель, приближающуюся с любого направления, и получать информацию о параметрах горизонтальной и вертикальной наводки. Для обеспечения этих требований прицел должен быть оснащен стабилизованными оптико-электронной и оптической системами.

Ось визирования прицельно-наблюдательных систем, установленных на бронетехнике, вследствие линейных и угловых перемещений в процессе движения машины подвергается определенным угловым возмущениям. Чтобы использовать прицел по назначению, необходимо иметь возможность управлять положением его оси визирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Также необходимо, чтобы положение было синхронизировано с осями гирокопа для минимизации влияния угловых возмущений. Именно точная стабилизация позволяет получить отчетливое изображение наблюдаемых объектов, обеспечивая распознавание цели.

Для управления осью визирования и стабилизации изображения, получаемого в поле зрения прицелов, как правило, используются плоские зеркала или призмы в системах с большим диапазоном прокачки линии визирования (до 70°). Преимущества зеркал перед призмами очевидны – зеркала более легкие элементы по сравнению с призмами. Следовательно, зеркала имеют меньший момент инерции, что в значительной мере упрощает их использование в качестве стабилизирующего элемента. Данная статья не ставит задачей рассмотрение случаев систем с большими углами прокачки линии визирования, когда наличие призменного элемента, меняющего направление линии визирования, обусловлено жесткой необходимостью.

Современные условия, кроме требований, обусловленных техническими особенностями

The main tactical requirement for instrumentation of armored vehicles is the provision of the ability to effectively use the instruments in vibration conditions when the vehicle is moving.

This means that the operator, while protected by the armor of the tower, must perform observation from the moving vehicle, positively detect and identify the target approaching from any direction, and receive information about the parameters of horizontal and vertical pointing.

To ensure these requirements, the sight should be equipped with stabilized optoelectronic and optical systems.

The aiming axis of sighting and observation systems installed on the armored vehicles, due to linear and angular displacements during the movement of the machine, is subjected to certain angular perturbations. To use the sight for its intended purpose, the position of its aiming axis should be controlled in the horizontal and vertical planes, and synchronized with the gyroscope to minimize the effect of angular disturbances. Precise stabilization makes it possible to get a clearer picture of the observed objects, providing a target recognition.

To control the aiming axis and stabilize the image obtained in the field of view of the sights, flat mirrors or prisms are usually used in the systems with a large range of roll of aiming line (up to 70°). The advantages of mirrors before prisms are obvious, since mirrors are lighter elements and, therefore, have a smaller moment of inertia, which greatly simplifies their use as a stabilizing element. This article does not pose the task of considering cases of systems with large angles of roll of aiming lines, when the presence of a prism element that changes the direction of the aiming line is due to an extreme need.

Current conditions, in addition to the requirements due to the technical features of the design solution of the sighting systems, put forward the requirements for ensuring the multidimensionality of visual information, detailing the features of the observed objects, depending on the spectral range of observation. For example, the known thermal signatures of different objects of observation, depending on the nature of the materials they are made of, make it possible to identify heated objects invisible through the visual channel using a thermal imaging channel.

Multichannel and multispectral modern sighting systems of armored vehicles are not just mood of the times. This is a consistent step in the development of observation and sighting systems, which makes it possible to increase the survivability of the object

конструктивного решения прицельных систем, выдвигают требования по обеспечению много-плановости визуальной информации, детализации особенностей наблюдаемых объектов в зависимости от спектрального диапазона наблюдения. Например, известные тепловые сигнатуры различных объектов наблюдения, зависящие от характера материалов, из которых они изготовлены, дают возможность идентифицировать нагретые объекты, невидимые через визуальный канал, с помощью тепловизионного канала.

Многоканальность и многоспектральность современных прицельно-наблюдательных систем объектов бронетехники является не просто веянием времени. Это закономерная ступень развития систем наблюдения и прицеливания, позволяющая повысить живучесть объекта за счет увеличения информативности получаемого изображения, обеспечения возможности оперативного анализа обстановки и принятия верных решений во время боевых действий.

Значительный опыт работы над оптическими системами прицельно-наблюдательных приборов, предназначенных для комплектования объектов БТВТ, основанный на анализе рынка существующих отечественных и зарубежных изделий-аналогов, показывает, что назрела острая необходимость создания стабилизированных комбинированных многоканальных оптических систем с одним общим входным зрачком. Такой подход решает множество задач: от минимизации головных частей, позволяющих оптимизировать систему двухплоскостной стабилизации положения линии визирования, до возможности одновременной работы в различных спектральных диапазонах, т. е. получения комплексированного изображения, повышающего вероятность нахождения и распознавания целей в сложных условиях наблюдения.

В настоящей публикации предлагается к рассмотрению схема прицела, включающего в себя визуальный, телевизионный, тепловизионный и дальномерный каналы (рис. 1).

В предложенной схеме все прицельно-наблюдательные каналы и приемный канал лазерного дальномера работают через единое входное окно, а головная часть стандартно решена в виде качающегося зеркала с системой двухплоскостной стабилизации линии визирования.

Эффективное распределение входящего потока излучения, отраженного от головного зеркала,

by increasing the information content of the image obtained, enabling the operational analysis of the situation and taking correct decisions during combat operations.

Significant experience of working with optical systems of sighting devices intended for the completing of the facilities of AAFV, based on the analysis of the market of existing domestic and foreign analog products, shows that there is an urgent need to create stabilized combined multichannel optical systems with one common entrance pupil. This approach solves a lot of problems: from minimizing the head parts, which allow to optimize the system of two-plane stabilization of the aiming line position, to the possibility of simultaneous operation in different spectral ranges, i. e. the acquisition of a complexed image that increases the probability of finding and recognizing targets in difficult observation conditions.

In this article, it is proposed to consider the scheme of a sight, which includes visual, television, thermal imaging and range-finding channels (Fig. 1).

In the proposed scheme, all sight-observation channels and the receiving channel of the laser rangefinder operate through a single input window,

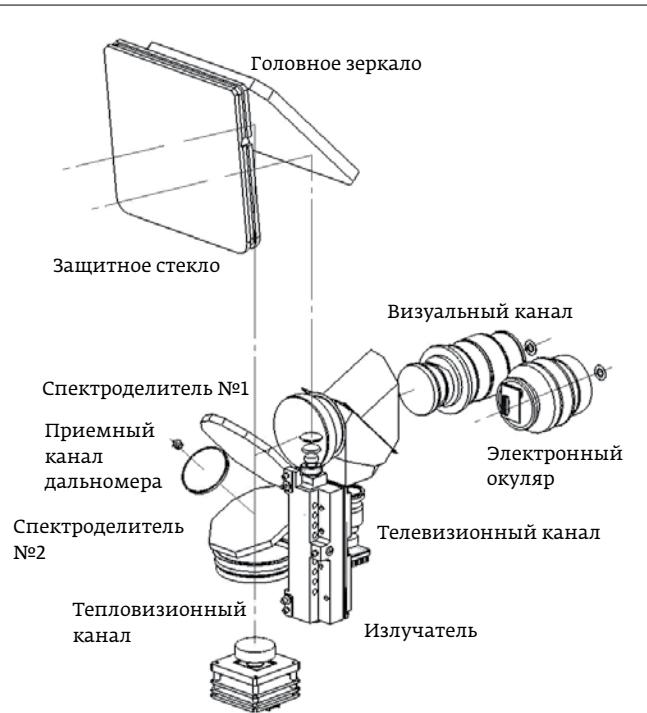


Рис. 1 Схема многоканального прицела с лазерным дальномером и двухплоскостной стабилизацией линии визирования

Pic. 1. Layout of multi-channel sight with laser range-finder and biplanar stabilization of sighting line

обеспечивается тремя спектроразделительными элементами (рис. 2):

- спектроразделитель 1 отражает диапазон спектра от 0,45 до 1,1 мкм и пропускает диапазон от 1,5 до 13,0 мкм (с контрольными рабочими спектрами (1,5–1,6) мкм и (8–13) мкм);
- спектр, прошедший через спектроразделитель 1, попадает на спектроразделитель 2, который отражает диапазон (1,5–1,6) мкм, формируя пучок излучения приемного канала дальномера, и пропускает диапазон (8–13) мкм, формируя пучок излучения тепловизионного канала;
- спектр, отраженный от спектроразделителя 1, попадает на спектроразделитель 3, который отражает спектральный диапазон (0,45–0,65) мкм, формируя световой пучок визуального канала, и пропускает диапазон (0,65–1,1) мкм, формируя световой пучок телевизионного канала.

В этом случае телевизионный канал более эффективно работает на больших дальностях, когда отрезан коротковолновый участок (0,4–0,65 мкм) и улучшается видимость в дымке, в тумане, в сумерки и ночью.

Особенностью предложенного схемного решения является необходимость в использовании высокоэффективных спектроразделительных покрытий, так как 1-й спектроразделительный элемент должен иметь хорошее отражение на длине волны 1,5 мкм и хорошее пропускание в двух областях спектра по разные стороны от длины волны 1,54 мкм – (0,4–1,1) мкм и (8–13) мкм. Обычно выделение отраженной длины волны 1,54 мкм эффективно достигается при подавлении более короткой и более длинной частей спектра без нормирования пропускания в этих диапазонах, т. е. в основном для целей не спектроразделения, а фильтрации, т. е. устранения спектральных фонов.

Практически в спектроразделителях наиболее эффективным является разделение падающего излучения на два диапазона – например, на видимую и ИК-части спектра [1].

Однако и здесь имеются свои особенности. Например, возможны два решения спектроразделителей: высокое отражение в длинноволновом диапазоне и высокое пропускание в коротковолновом или наоборот – высокое отражение в коротковолновом диапазоне и высокое пропускание в длинноволновом диапазоне спектра. Реализация первого решения связана с рядом трудностей, реализация второго решения более предпочтительна.

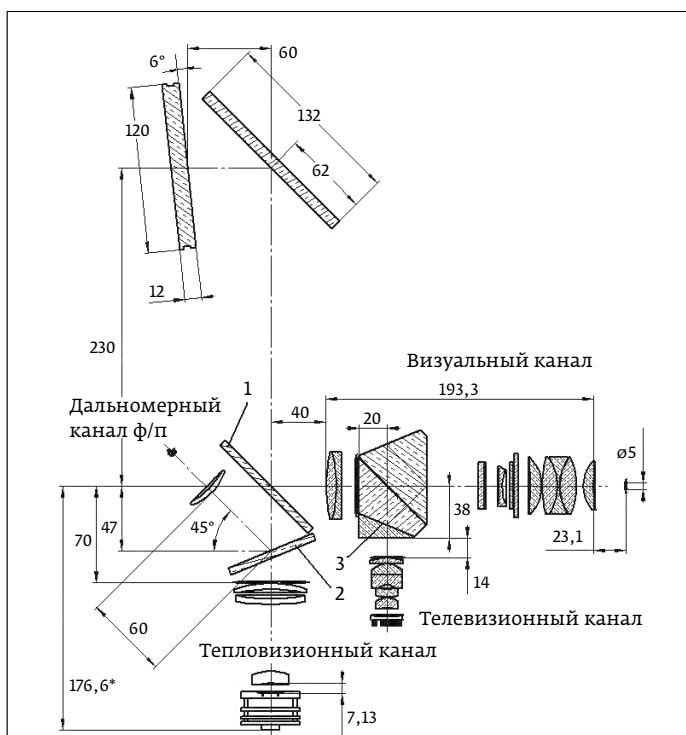


Рис. 2. Схема распределения входящего потока излучения между рабочими каналами прицела

Pic. 2. Diagram of distribution of incoming radiation flow between working channels of sight system

and the head part is standardly solved in the form of a swinging mirror with the system of two-plane stabilization of the aiming line.

The effective distribution of the input radiation stream reflected from the head mirror is provided by the three spectral-splitting elements (Fig. 2):

- spectral splitter 1 reflects the spectrum range from 0.45 to 1.1 μm and transmits the range from 1.5 to 13.0 μm (with reference working spectra (1.5 ± 1.6) μm and (8 ± 13) μm),
- the spectrum transmitted through spectral splitter 1 falls on spectral splitter 2, which reflects the range (1.5 ± 1.6) μm, forming a radiation beam of the receiving channel of the rangefinder, and transmits a range of (8 ± 13) μm, forming a beam of radiation from the thermal imaging channel;
- the spectrum reflected from spectral splitter 1 falls on spectral splitter 3, which reflects the spectral range (0.45 ± 0.65) μm, forming a light beam of the visual channel, and transmits a range of (0.65 ± 1.1) mkm, forming a light beam of the television channel.

In this case, the television channel works more efficiently at greater distances when the short-wave

тельна [2]. Именно она и применяется в описываемой схеме.

Второй особенностью схемы является полное отсутствие подвижных частей при переключении каналов. Практически в приборе обеспечивается одновременная работа всех каналов. При необходимости можно работать каждым каналом в отдельности, и для этого необходимо только включение/выключение соответствующих фотоприемных устройств. Привычные поворотные зеркала или иные дополнительные подвижные элементы, вводимые в ход лучей канала, в данной схеме отсутствуют, что несомненно повышает надежность функционирования системы в целом.

Рассмотрим последовательно принцип построения и характеристики рабочих каналов прицела.

В представленной системе защитное стекло головной части выполнено из материала ZnS, пропускающего все необходимые спектральные диапазоны. Стекло установлено с "обратным" наклоном в 6° , снижающим вероятность обнаружения объекта с вертолетов и БПЛА и уменьшающим бликование оптики, т. е. заметность системы на фоне окружающей обстановки.

Визуальный канал выполнен с увеличением 8 крат и полем зрения 8° с внутренней промежуточной плоскостью действительного изображения для обеспечения возможности установки либо двух сеток (подвижной и неподвижной)

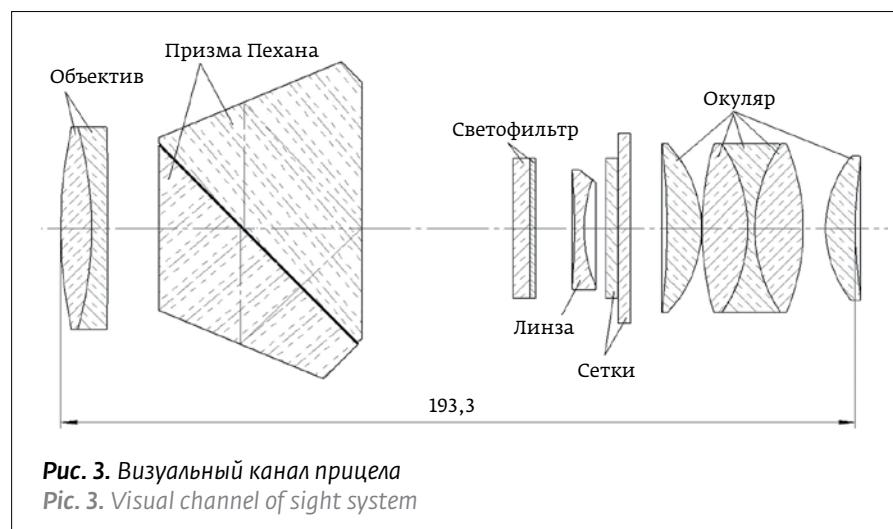


Рис. 3. Визуальный канал прицела
Pic. 3. Visual channel of sight system

region ($0.4\text{--}0.65 \mu\text{m}$) is cut off and visibility in haze, fog, at twilight and at night improves.

A feature of the proposed scheme solution is the need to use highly effective spectral-splitting coatings, since the 1st spectral-splitting element should have good reflection at a wavelength of $1.5 \mu\text{m}$ and good transmission in two spectral regions on different sides of the wavelength of $1.54 \mu\text{m}$ – ($0.4 \div 1.1 \mu\text{m}$ and $(8 \div 13) \mu\text{m}$). Typically, the emission of a reflected wavelength of $1.54 \mu\text{m}$ is effectively achieved by suppressing the shorter and longer portions of the spectrum without the transmission normalization in these ranges, i. e. mainly for non-spectroscopic purposes, but for filtering, i. e. elimination of spectral backgrounds.

Practically in the spectral splitters the most effective is the separation of the incident radiation into two bands, e. g., into the visible and IR parts of the spectrum [1].

Таблица 1. Критерии Джонсона

Table 1. Johnson Criteria

Уровень видения Level of vision	Число N разрешаемых периодов эквивалентной штриховой миры на критическом размере наблюдаемого объекта Number N of resolved periods of an equivalent line target on the critical size of the observed object	Число пикселов N (телеизионных линий) на критическом размере наблюдаемого объекта Number of pixels N (television lines) at the critical size of the observed object
Обнаружение Detection	$1 \pm 0,25$	$2 \pm 0,5$
Определение ориентации Orientation determination	$1,4 \pm 0,35$	$2,8 \pm 0,7$
Различение Differentiation	$4 \pm 0,8$	$8 \pm 1,6$
Идентификация (опознавание) Identification (recognition)	$6,4 \pm 1,5$	$12,8 \pm 3$



с прицельными шкалами и знаками, либо одного прозрачного ЖКИ экрана с электронной схемой формирования любых видов поля зрения.

Схема канала представлена на рис. 3.

Она включает в себя объектив, выполненный в виде двухлинзовой склейки, призму Пехана Пк-0° для обрачивания изображения, светофильтр для коррекции спектра, дополнительную линзу, систему сеток и окуляр. Указанные на рисунке габариты свидетельствуют о достаточной компактности системы, имеющей разрешающую способность 7,5". Все элементы канала, за исключением светофильтра, выполнены из бесцветного оптического стекла ГОСТ 3514-94. В качестве материала светофильтра применено цветное стекло по ГОСТ 9411-91.

Расчет фокусных расстояний объективов телевизионного и тепловизионного каналов производился исходя из известных критериев визуального восприятия. К ним относятся критерии

Таблица 2. Современные критерии визуального восприятия
Table 2. Current criteria for visual perception

Уровень видения Level of vision	Описание Description
Обнаружение Detection	Выделение размытого пятна на фоне помех Isolation of a blurred spot against noise
Различение Orientation determination	Объект выделяется с достаточной ясностью и дифференцируется по принадлежности к классу The object is isolated with sufficient clarity and differentiated by belonging to the class
Идентификация (опознавание) Differentiation	Объект дифференцируется по принадлежности к типу внутри класса The object is differentiated as belonging to the type within the class

However, there are also their own peculiarities. For example, two solutions of spectral splitters are possible: high reflection in the long-wavelength range and high transmission in the short-wavelength range or vice versa - high reflection in the short-wavelength range and high transmission in the long-wave spectral range. The implementation of the first solution involves a number of difficulties, while the implementation of the second one is more

Таблица 3. Коэффициенты пересчета критериев Джонсона для различных значений вероятности восприятия

Table 3. Johnson's recalculations factors for different perception probabilities

Вероятность восприятия Perception probabilities	1,0	0,95	0,80	0,5	0,30	0,10	0,02
Коэффициент Coefficient	3,0	2,0	1,5	1,0	0,75	0,50	0,25

Джонсона [3], приведенные в табл. 1, и современные критерии зрительного восприятия, приведенные в табл. 2. Джонсон выделил 4 уровня визуального восприятия, но никак формально не определил эти понятия. Конкретизацию они позднее нашли в работе Люсбена Бибермана [4] и активно используются в настоящее время как современные критерии визуального восприятия. Часть из них приведена в табл. 2.

Величина "N" в табл. 1 определяет количество периодов эквивалентной меры, разрешаемых наблюдателем, для данного уровня видения с 50%-ной вероятностью. Таким образом, когда говорят об обнаружении цели по критериям Джонсона, по умолчанию имеют ввиду пороговое значение сигнала, при котором вероятность верного принятия решения о наличии цели составляет 50%, а именно: при заведомом наличии цели отношение случаев обнаружения и пропуска цели составляет 1:1.

Для определения необходимого разрешения, обеспечивающего другое значение вероятности восприятия, необходимо использовать соответствующие коэффициенты [5]. Значение коэффициента пересчета числа N периодов эквивалентной меры, разрешаемых наблюдателем на критическом размере объекта, в зависимости от требуемой вероятности восприятия приведены в табл. 3.

Из таблиц видно, что, например, для обнаружения объекта с вероятностью 0,95 необходимо, чтобы на его критическом размере уложилось $1 \times 2 = 2$ периода эквивалентной меры (или 4 пикселя фотоприемника).

Исходя из этого с учетом характеристик выбранной телевизионной матрицы, опреде-

preferable [2]. It is the latter that is used in the described scheme.

The second feature of the scheme is the complete absence of moving parts when switching channels. In practice, all channels work simultaneously in the device. If necessary, each channel can be operated separately and switching on/off of the corresponding photodetectors is only needed.

The conventional rotary mirrors or other additional movable elements introduced into the path of the channel beams are absent in this scheme, which undoubtedly increases the reliability of the system as a whole.

Let us consider consistently the principle of the design and characteristics of the working channels of the sight.

In the presented system, the protective glass of the head part is made of ZnS material transmitting all the necessary spectral ranges. The glass is installed with a "reverse" slope of 6°, reducing the probability of finding the object from helicopters and UAVs and reducing the glare of optics, i.e. the visibility of the system against the background of the surrounding situation.

The visual channel is made with an 8-fold magnification and a field of view of 8° with the inner intermediate plane of the actual image to enable the installation of either two grids (movable and fixed)

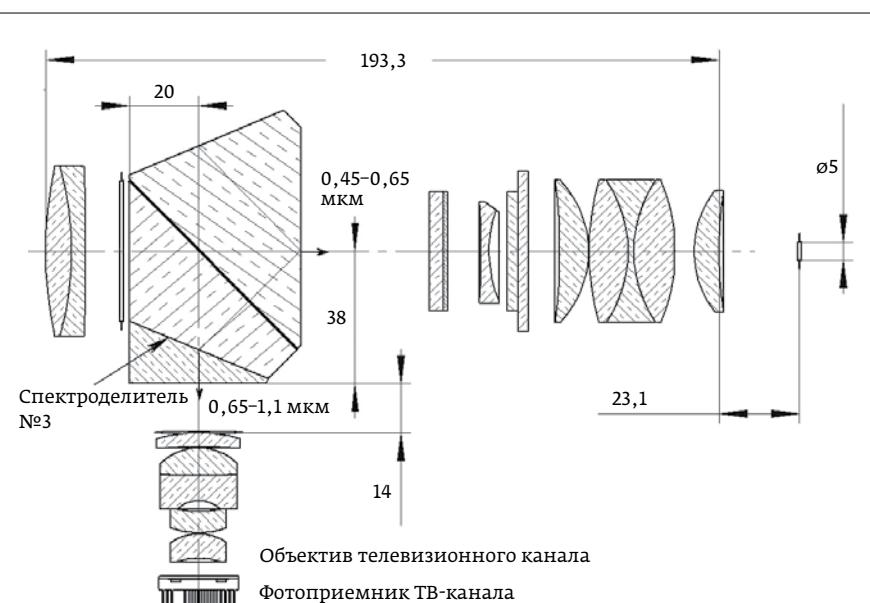


Рис. 4. Комбинация телевизионного и визуального каналов
Pic. 4. Combination of TV and visual channels



лились следующие параметры электронно-оптических каналов системы.

Телевизионный канал построен на ТВ матрице формата 1280×1024 элементов с размером пикселя 5,5 мкм.

Фокусное расстояние телевизионного объектива оценивалось по заданной дальности видения по цели типа "танк" 5 км и критерию обнаружения с вероятностью 0,95. При этих данных по высоте танка, равной 2,4 м должно укладываться порядка 4 пикселов фотоприемника. В этом случае объект будет выделяться на фоне помех как размытое пятно с вероятностью 0,95.

При таких исходных данных фокусное расстояние телевизионного объектива $F'_{\text{об}}$ должно быть не менее 46 мм.

Согласно рис. 4 телевизионный канал использует объектив визуального канала и спектрорадиальное покрытие на зеркальной грани полупентапризмы БУ-45° из призменной системы Пехана для отражения спектрального диапазона (0,45–0,65) мкм в визуальный канал и для пропускания диапазона (0,65–1,1) мкм в телевизионный канал. Для исполнения спектрорадиальной поверхности используется склейка зеркальной грани призмы БУ-45° с гипотенузной гранью прямоугольной призмы.

В конструкции использованы спектрорадиальные покрытия, примером которых могут служить чрезвычайно эффективные покрытия для гиперспектральной аппаратуры, разработанные на Красногорском механическом заводе [6].

На рис. 5 приведена спектральная характеристика экспериментально апробированной конструкции покрытия спектрорадиального модуля для дистанционного зондирования Земли из космоса, представляющая собой 27-слойную систему из слоев ZnS ($n=2,3$) и MgF₂ ($n=1,38$), нанесенную на пластину из стекла K8: 0,536Н, 0,662L, 1,000Н, 0,797L, 0,795Н, 0,946L, 0,905Н, 0,838L, 0,8906Н, 0,924L, 0,893Н, 0,870L, 0,897Н, 0,916L, 0,897Н, 0,870L, 0,893Н, 0,924L, 0,890Н, 0,838L, 0,904Н, 0,946L, 0,795Н, 0,798L, 1,000Н, 0,663L, 0,536Н.

Тепловизионный канал построен с использованием МБМ-матрицы формата 640×512

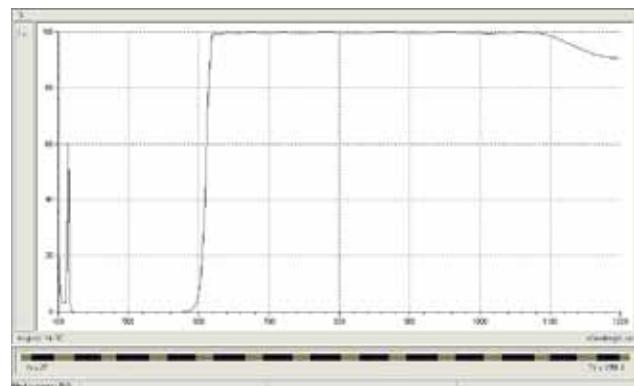


Рис. 5. Спектральная характеристика 27-слойного спектрорадиального покрытия

Pic. 5. Spectral characteristics of spectroscopic coating, consisting of 27 layers

with impact scales and signs, or one luminous LCD screen with an electronic diagram of the formation of field of view of any kind. The channel scheme is shown in Fig. 3.

It includes an objective lens made in the form of a two-lens gluing, Pekhan Pk-0° prism for image rotation, a light filter for spectrum correction, an additional lens, a grid system and an eyepiece. The dimensions specified in the figure indicate a sufficient compactness of the system having a resolving power of 7.5". All elements of the channel, except for the light filter, are made of colorless optical glass in accordance with GOST 3514-94. As color filter material, colored glass was used in accordance with GOST 9411-91.

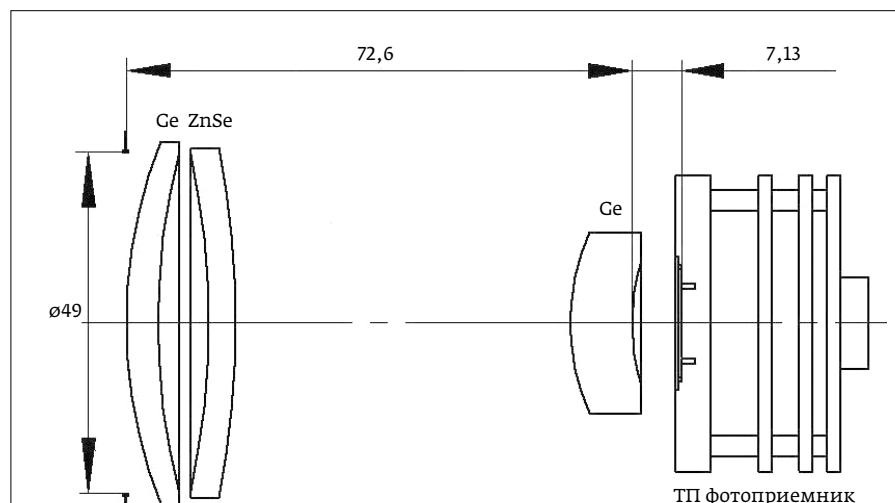


Рис. 6. Термовизионный канал
Pic. 6. Thermovision channel

элементов с размером пикселя 12 мкм.

Оценка фокусного расстояния тепловизионного объектива проведена с учетом особенностей тепловизионного обнаружения: если по высоте танка укладывается ~ 2 пикселя фотоприемника, то объект выделяется на фоне помех как размытое пятно с вероятностью 0,5.

Этому условию удовлетворяет тепловизионный объектив с фокусным расстоянием $F'_{\text{об}}$, равным 50 мм, и относительным отверстием 1:1,02.

Такой объектив для фотоприемного устройства с размером пикселя 12 мкм применен в рассматриваемой системе и построен по классической схеме трехлинзового объектива с использованием материалов Ge + ZnSe + Ge (рис. 6).

Дальномер в системе решен в виде двух отдельных каналов: излучающего и приемного.

Приемный канал дальномера имеет угол поля зрения $\alpha \sim 0,5^\circ$ и фотоприемное устройство с размером чувствительной площадки $d_{\text{ФП}} = 0,35$ мм.

Исходя из этого в приемном канале дальномера установлен объектив с фокусным расстоянием $F'_{\text{об}} = 40$ мм, имеющий высокие показатели по светопропусканию на длине волны $\sim 1,54$ мкм и высокую светосилу и выполненный в виде одиночной линзы из кремния (рис. 7). Качество изображения объектива характеризуется кружком рассеяния, который должен быть меньше размера чувствительной площадки фотоприемника, равного 0,35 мм.

Для повышения эффективности спектрального распределения потоков и оптимизации компоновочного решения наклон спектрорадиаторной пластины № 2 выполнен под углом $22,5^\circ$.

Излучающее устройство дальномера выполнено отдельным модулем (рис. 8) с телескопической трехлинзовой оптической системой и излучающим модулем БЛМ-1Т Ю-41.90.169.

Так как излучение твердотельного лазера имеет высокую пиковую мощность, излучающий тракт выведен из общей оптической системы со спектрорадиаторными элементами и проходит

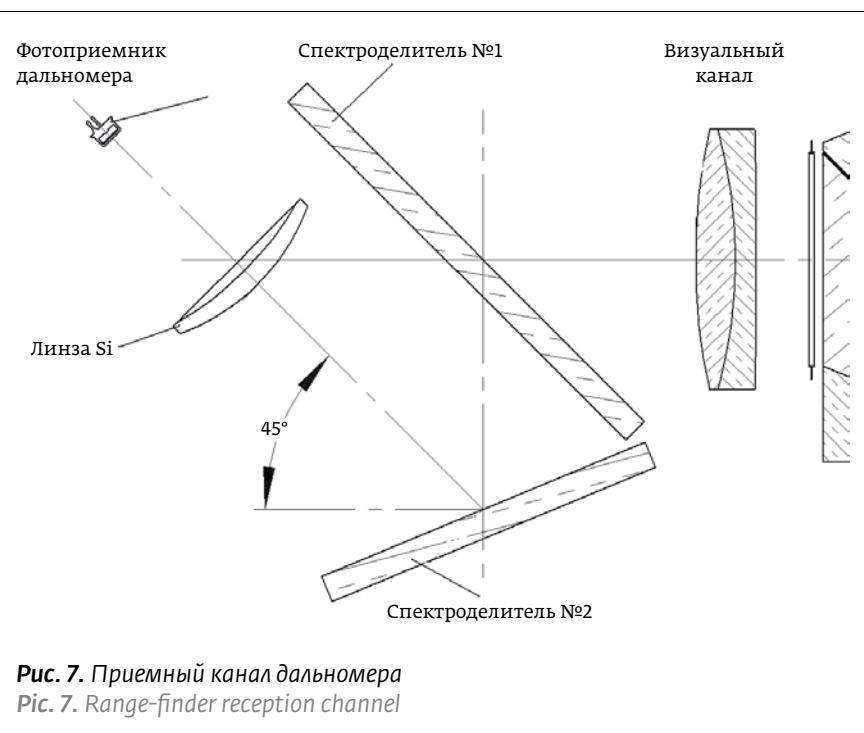


Рис. 7. Приемный канал дальномера
Pic. 7. Range-finder reception channel

The calculation of the focal lengths of the lenses of the television and thermal imaging channels was made based on known criteria of visual perception. These include the Johnson criteria [3] given in Table 1 and the current criteria for visual perception given in Table 2.

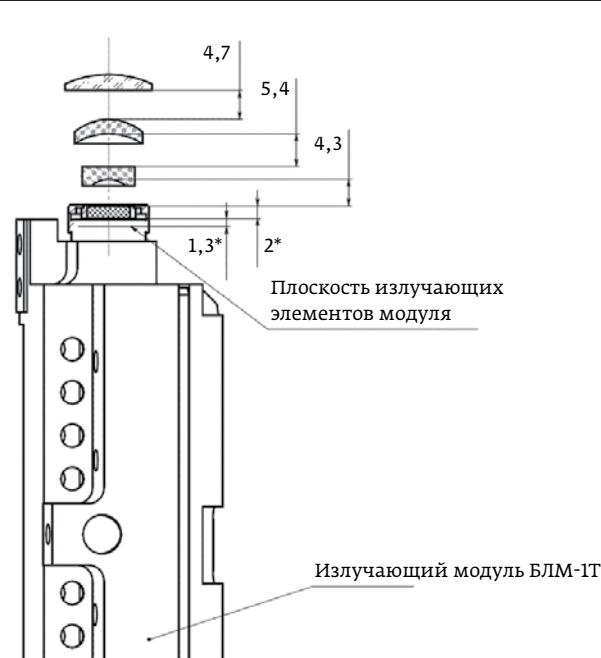


Рис. 8. Излучающий канал дальномера
Pic. 8. Range-finder radiation channel

**Таблица 4.** Основные технические параметры каналов

Table 4. Table of the main technical parameters of the channels

Параметр Parameter	Визуальный канал Visual channel	Оптико-электронные каналы Optical and electronic channels	
		Телевизионный Television	Тепловизионный Thermal imaging
Увеличение, крат Magnification factor	8,0	5,0	5,0
Поле зрения Field of view:	- по ГН, градус - horizontally, ...° - по ВН, градус - vertically, ...°	8,7	8,7
		7,0	7,0

только через общие головное зеркало и защитное стекло.

Для визуализации изображения в оптико-электронных каналах (телевизионном и тепловизионном) используется шестилинзовый четырехкомпонентный окуляр с фокусным расстоянием $f' = 15,67$ мм, сопряженный с микрорадаром SXGA060 формата 1280×1024 элементов и размером пикселя $9,3 \times 9,3$ мкм, имеющим размеры активной области $11,941 \times 9,56$ мм (диагональ=15,296 мм).

При значительном весе оптических элементов (~214 г) окуляр имеет ряд особенностей. Основными из них являются значительное увеличение (~16 крат) и большое поле зрения (более 50°) при небольшой дисторсии (менее 5%) и приемлемом удалении выходного зрачка (~ 30 мм), обусловленном спецификой применения.

При совместном применении с таким окуляром угловой размер пикселя микрорадара составит 2,04', что практически попадает в середину диапазона (1 ÷ 3)', являющегося диапазоном рекомендуемых значений минимальных угловых размеров объектов, наблюдаемых глазом через окуляр.

Технические параметры оптического и оптико-электронных каналов системы обеспечивают наблюдение с достаточно высокими значениями увеличения и согласуются между собой по полям зрения.

Указанные технические параметры определяются следующими формулами:

Для увеличения:

$$H = H_{opt} \cdot H_{el} = \frac{F'_{lens}}{f'_{eyep}} \cdot \frac{D_{disp}}{D_{PRD}} .$$

Для поля зрения:

Johnson identified 4 levels of visual perception, but did not formally define these concepts in any way. They have been later specified in the work of Lucien Biberman [4] and are actively used at present as the current criteria for visual perception. Some of them are shown in Table 2.

The value of "N" in Table 1 determines the number of periods of an equivalent target, resolved by the observer, for a given level of vision with a 50% probability. Thus, when they say that a target is detected according to Johnson's criteria, the default value is the threshold value of the signal, in which the probability of a correct decision on the target is 50%, more specifically: if the target is known, the ratio of the detection and misses of the target is 1:1.

To determine the necessary resolution, which provides another value of the probability of perception, it is necessary to use the appropriate coefficients [5]. The value of the recalculation factor for the number N of the periods of the line target, resolved by the observer at the critical size of the object, depending on the required probability of perception, is given in Table 3.

From the tables it can be seen that, e.g., to detect an object with a probability of 0.95, it is necessary $1 \times 2 = 2$ periods of the line target fit on its critical size (or 4 pixels of the photodetector).

Based on this, taking into account the characteristics of the selected television matrix, the following parameters of the electron-optical channels of the system were determined.

The **television channel** is built on a 1280×1024 TV matrix with a pixel size of 5.5 μm.

The focal length of the television lens was estimated from a given range of vision for the target of the "tank" type of 5 km and the detection criterion with a probability of 0.95. With these data on the height of the tank, equal to 2.4 m, about 4 pixels of the photodetector must be fit. In this case, the object

$$2\beta = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{h_{\text{PRD}}(V_{\text{PRD}})}{2 \cdot F'_{\text{lens}}} \right),$$

где F'_{lens} – фокусное расстояние объектива;
 F'_{eyep} – фокусное расстояние окуляра;
 D_{disp} – диагональ экрана микрорадиометра;
 D_{PRD} – диагональ чувствительной области фотоприемного устройства;
 $h_{\text{PRD}}(V_{\text{PRD}})$ – размер горизонтали (вертикали) чувствительной области фотоприемного устройства. Значения параметров сведены в табл. 4.

В настоящее время в различных оптико-электронных системах защиты, аппаратуре охраны и слежения, приборах наблюдения и прицеливания широкое применение находят системы кругового обзора, решающие задачи обнаружения объектов в круговом секторе.

Весьма актуальными они являются и для объектов бронетехники.

Система кругового обзора или панорама в приборе, оснащенном оптико-электронными каналами, – это сложный взаимосвязанный комплекс, состоящий из оптической системы, системы фотоприемников, а также системы цифровой обработки сигнала. Рассматривая способы эффективного обзора пространства в рамках конструктивного обеспечения требований к системе по назначению, необходима детальная оценка преимуществ и недостатков конкретного способа реализации поставленной задачи.

К наиболее известным и чаще всего употребляемым на практике способам обзора пространства относятся следующие [7]:

- теодолитный способ, предусматривающий механическое сканирование пространства всем устройством. Эта схема является простейшей. Ее главное достоинство – предельно простой оптический тракт,

will stand out against the background of the noise as a blurred spot with a probability of 0.95. With such initial data, the focal length of the television lens F'_{lens} should be at least 46 mm.

According to Fig. 4, the television channel uses a visual channel lens and a spectral-splitting coating on the mirror face of the semipentaprism BU-45° from the Pekhan's prism system to reflect the spectral range (0.45–0.65) m in the visual channel and for transmitting the range (0.65 ÷ 1.1) μm into the television channel. For the execution of the spectral-splitting surface, a gluing of the mirror face of the BU-45° prism with the hypotenuse side of the rectangular prism is used.

Spectral-splitting coatings are used in the construction, as exemplified by the extremely effective coatings for hyperspectral equipment developed at the Krasnogorsk Mechanical Plant [6].

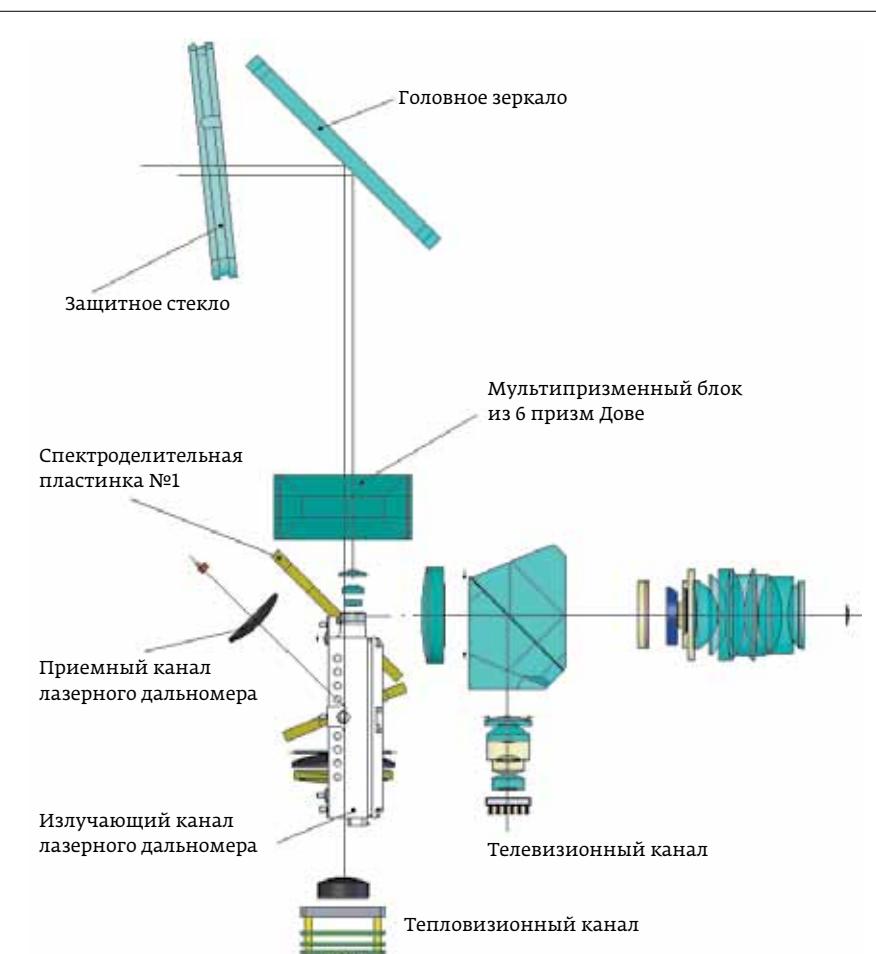
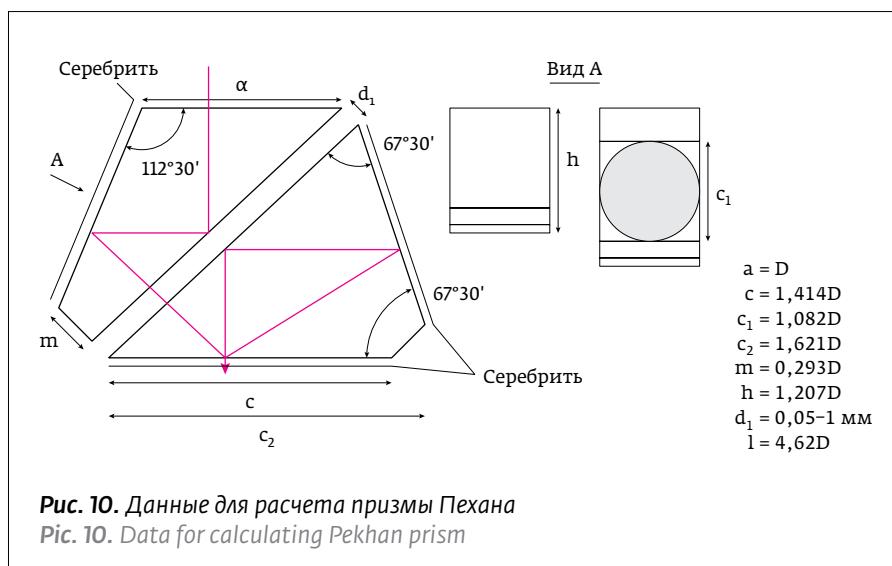


Рис. 9. Схема многоканального прицела с лазерным дальномером и двухплоскостной стабилизацией линии визирования в варианте панорамы

Pic. 9. Layout of panoramic modification of multi-channel sight with laser range-finder and biplanar stabilization of sighting line



не содержащий ни компенсаторов вращение изображения, ни сканирующих зеркал и т. п. Однако при наличии оптико-электронных каналов возникает проблема сброса информации на неподвижное основание;

- обзор за счет применения нескольких однотипных оптико-электронных модулей. Преимуществом такой системы является отсутствие механических перемещений, а недостатком – необходимость в большом количестве фотоприемных устройств, что в значительной мере увеличивает цену системы и совершенно неприемлемо в многоканальных приборах;

Fig. 5 shows the spectral characteristic of the experimentally approved coating design of the spectral-splitting module for remote Earth sounding from space, which is a 27-layer system of ZnS ($n = 2,3$) and MgF₂ ($n = 1,38$) layers deposited on a K8 glass plate: 0.536H, 0.662L, 1.000H, 0.797L, 0.795H, 0.946L, 0.905H, 0.838L, 0.8906H, 0.924L, 0.893H, 0.870L, 0.897H, 0.916L, 0.897H, 0.870L, 0.893 H, 0.924L, 0.890H, 0.838L, 0.904H, 0.946L, 0.795H, 0.798L, 1.000H, 0.663L, 0.536H.

The thermal channel is constructed using a 640×512 MBM array with a pixel size of $12 \mu\text{m}$.

The focal length of the thermal imaging lens is estimated taking into account the thermal detection features: if the height of the tank is ~ 2 pixels of the photodetector, then the object stands out against a noise background as a blurred spot with a probability of 0.5.

This condition is satisfied by a thermal imaging lens with a focal length F'_{lens} of 50 mm and a relative aperture 1:1.02.

Such a lens for a photodetector device with a pixel size of $12 \mu\text{m}$ is used in the system under consideration and is built according to the classical scheme of a three-lens piece using Ge + ZnSe + Ge materials (Fig. 6).

- формирование панорамного изображения за счет применения фотоприемных устройств и панорамных оптических систем типа "all sky" и "fish eye". Этот метод, как и предыдущий, отличается отсутствием подвижных частей, но, как правило, такие системы отличаются малым размером входного окна, что неприемлемо для тепловизионных систем;
- обзор с помощью оптического зеркального шарнира. В этом случае фотоприемные устройства оптико-электронных каналов неподвижны, но необходима компенсация поворота изображения, что усложняет оптический тракт, но исключает наличие системы сброса информации.

Именно последний способ реализации круговой панорамы применен в рамках описанной конструкции многоканального прицельного комплекса.

Вариант исполнения с вращающейся головной частью для обеспечения кругового обзора решается с использованием мультипризменного блока из 6-ти призм Дове с частично измененным визуальным каналом (рис. 9).

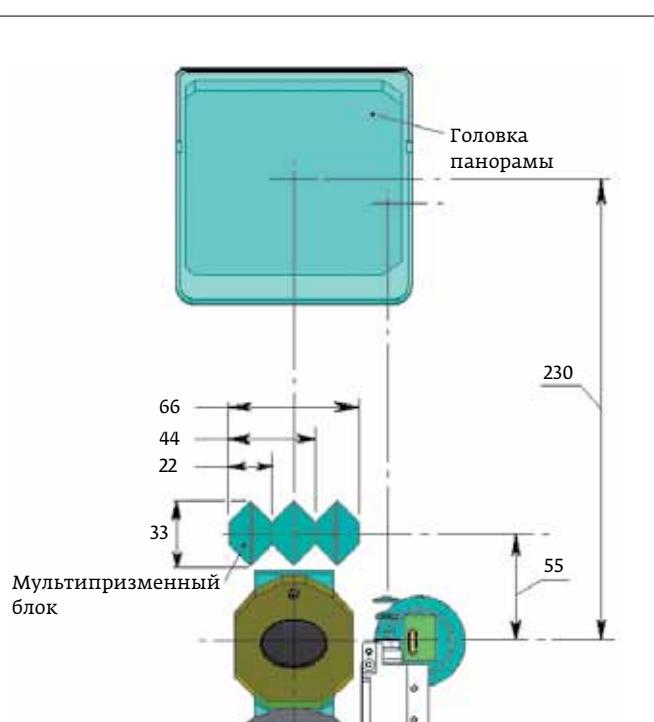


Рис. 11. Расположение и габариты компенсаторов поворота изображения в панорамном прицеле

Pic. 11. Location and dimensions of image rotation compensators in panoramic sight system

The **rangefinder** in the system is solved in the form of two separate channels: the radiating and receiving channels.

The receiving channel of the rangefinder has an angle of view of $\alpha \sim 0.5^\circ$ and a photodetector with a sensitive pad with a size of $dpr = 0.35$ mm.

The focal length lens $F_{\text{lens}} = 40$ mm with a high transmittance at a wavelength of $\sim 1.54 \mu\text{m}$ and a high aperture and made in the form of a single lens made of silicon is mounted in the receiving channel of the rangefinder (Fig. 7). The image quality of the lens is characterized by a scattering circle, which must be less than one time a measure of the sensitive area of the photodetector equal to 0.35 mm.

To increase the efficiency of the spectral distribution of streams and optimize the layout solution, the slope of the spectral-splitting plate No. 2 is made at an angle of 22.5° . The radiating device of the rangefinder is made as a separate module (Fig. 8) with a telescopic three-lens optical system and a radiating module БЛМ-ИТ Ю-41.90.169.

Since the radiation from a solid-state laser has a high peak power, the radiating path is removed from the common optical system with spectrographic elements and passes only through a common head mirror and a protective glass.

To visualize the image in optical-electronic channels (television and thermal imaging), a six-lens four-component eyepiece with a focal length of $f' = 15.67$ mm is used, conjugated with the SXGA060 microdisplay of 1280×1024 cells and a pixel size of $9.3 \times 9.3 \mu\text{m}$ having active area dimensions of 11.941×9.56 mm (diagonal = 15.296 mm).

With a significant weight of optical elements (~ 214 g), the eyepiece has a number of features. The main of them are a significant increase (~ 16 times) and a large field of view (over 50°) with a slight distortion (less than 5%) and an acceptable distance of the exit pupil (~ 30 mm), due to the specific application.

In a joint application with such an eyepiece, the angular pixel size of the microdisplay will be $2.04'$, which practically falls in the middle of the range ($1 \div 3$ '), which is the range of recommended values of the minimum angular dimensions of objects observed through the eyepiece.

The technical parameters of optical and optoelectronic channels of the system provide for the observation with sufficiently high magnification values and are consistent among themselves in the field of view.

The specified technical parameters are determined by the following formulas:

To increase:



Визуальный канал в рассмотренном выше варианте содержал объектив, призму Пехана Пк-0°, состоящую из полупентапризмы БУ-45° и призмы Шмидта с крышкой БкР-45°, светофильтр, корректирующую линзу, подвижную и неподвижную сетки и окуляр.

Визуальный канал в варианте панорамы с вращающейся головной частью должен содержать объектив, призму Пехана П-0° (состоящую из полупентапризмы БУ-45° и призмы Шмидта БР-45°), светофильтр, корректирующую линзу, подвижную и неподвижную сетки и окуляр.

Конструктивные параметры призмы П-0° рассчитываются в соответствии с рисунком 10 [8].

При размере входной грани $a=D=d_{c\theta}=40$ мм длина хода луча в призме составит $l=184,8$ мм.

Перед спектроделительной пластинкой № 1, т. е. перед входным зрачком, общим для всех каналов, в параллельных пучках лучей размещен мультипризменный блок в виде шести попарно склеенных и разноориентированных призм Дове, изготовленных из сульфида цинка ZnS (рис. 11).

Мультипризменный блок рассчитан на пропускание максимального светового диаметра в тепловизионном канале, и должен быть

$$H = H_{opt} \cdot H_{el} = \frac{F'_{lens}}{f'_{eyep}} \cdot \frac{D_{disp}}{D_{PRD}}.$$

For field of view:

$$2\beta = 2\arctg\left(\frac{h_{PRD}(V_{PRD})}{2 \cdot F'_{lens}}\right),$$

where F'_{lens} is the focal length of the lens;
 F'_{eyep} is the focal length of the eyepiece;
 D_{disp} is the diagonal of the microdisplay screen;
 D_{PRD} is the diagonal of the sensitive region of the photodetector device;
 $h_{PRD}(V_{PRD})$ is the size of the horizontal (vertical) of the sensitive region of the photodetector device

The parameters of the parameters are summarized in Table 4.

Currently, in various optical and electronic protection systems, security and tracking equipment, monitoring and sighting devices, the systems of a circular survey, solving problems and detection of objects in the circular sector, are widely used.

They are very relevant for armored vehicles.

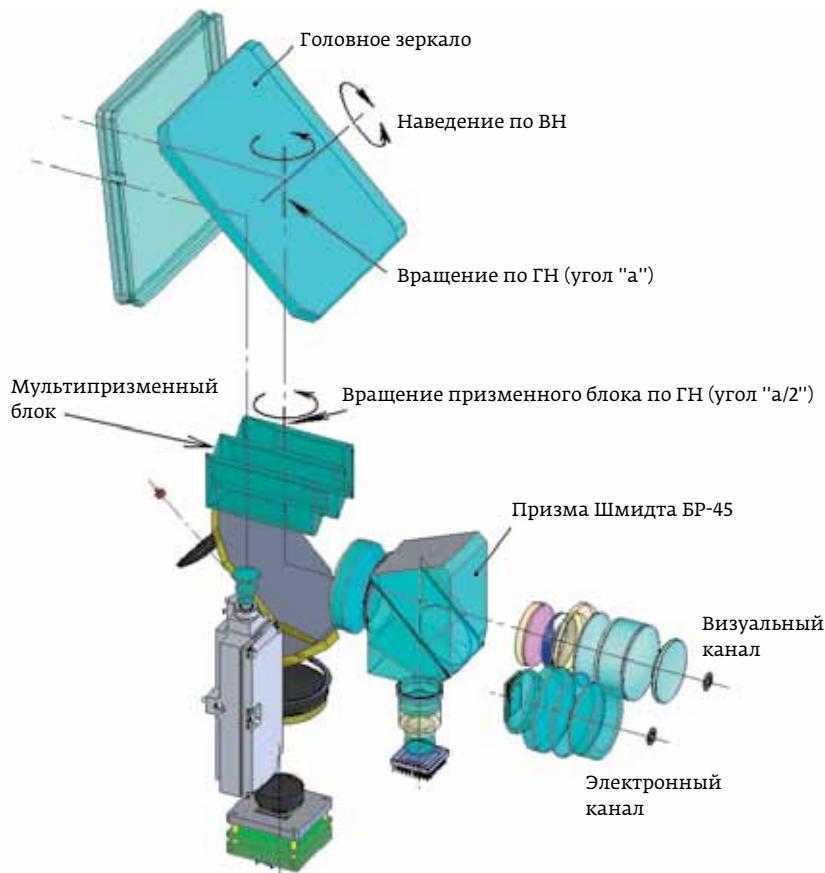


Рис. 12. Исходное положение зеркала головки, мультипризменного блока и призмы Пехана П-0° в панорамном прицеле

Pic. 12. Initial position of head mirror, multi-prismatic unit and Pekhan prism in panoramic sight system

выполнен с размерами, указанными на рис. 11. Для эффективного функционирования системы просветление граней призм Дове и поверхностей защитного стекла головной части необходимо выполнить аналогичными.

Исходное положение зеркала головки, мультипризменного блока и призмы Пехана П-0° показано на рис. 12.

В этом положении во всех каналах "верх-низ" и "право-лево" изображения соответствуют реальной ориентации изображения, тогда как в первоначальном варианте системы в электронных каналах по одной из координат необходимо было осуществлять зеркальное отображение на микроподложке.

При повороте головной части в горизонтальной плоскости на угол "α" в окуляре визуального канала появляется наклон изображения на тот же угол "α", для компенсации которого мульти-

A system of circular vision or panorama in a device equipped with optoelectronic channels is a sophisticated interconnected complex consisting of an optical system, a system of photodetectors, and a digital signal processing system. Considering the methods of effective space review in the framework of constructive provision of the system's requirements to the destination, a detailed evaluation of the advantages and disadvantages of the specific method of realizing the task is needed.

The most famous and most commonly used methods of space review are the following [7]:

- the theodolite method, providing mechanical scanning of space by the whole device. This scheme is the simplest one. Its main advantage is an extremely simple optical path, which does not contain any compensators for image rotation, nor scanning mirrors, etc. However, in the presence of optical and electronic channels, there is the problem of dumping information on a stationary base, an overview due to the use of several similar optoelectronic modules.

- the view due to the use of several uniform optical and electronic modules. The advantage of such a system is the absence of mechanical displacements, and the disadvantage is the need for a large number of photodetectors, which greatly increases the price of the system and is completely unacceptable in multichannel instruments;
- the formation of a panoramic image through the use of photoreceiving devices and panoramic optical "all sky" and "fish eye" systems. This method, like the previous one, differs in the absence of movable parts, but as a rule such systems differ in the small size of the input window, which is unacceptable for thermal imaging systems
- the view using an optical mirror hinge. In this case, the photoreceiving devices of the optical and electronic channels are fixed, but



призменный блок должен поворачиваться в ту же сторону, что и головка, но на угол " $\alpha/2$ ", вдвое меньший.

При горизонтальных поворотах головки на всех углах ($n \cdot 360^\circ$) при любом числе оборотов "n" мультипризменный блок компенсирует наклон изображения для всех каналов панорамы одновременно.

Пример поворотов головки на 90° (визирование влево) и 180° (визирование назад) показан на рис. 13.

Размеры призм Дове и общая компоновка прибора выполняется таким образом, чтобы при вращении мультипризменного блока исключалось перекрывание излучающего канала лазерного дальномера.

Очевидно, что в такой конструкции панорамного прицела можно обеспечить увеличение перископичности – головка может выдвигаться до значения перископичности ~ 450 мм без существенного увеличения виньетирования в каналах. Следует отметить, что головная часть, в которой все каналы заводятся через один наклонно-поворотный зеркальный элемент, является более компактной в сравнении с головными частями, в которых сканирующими элементами оснащен каждый из каналов. Этот факт также способствует снижению уязвимости вынесенных на броню головных частей прицельных комплексов и повышению живучести объекта.

Рассмотренный вариант решения оптической системы многоканального прицела с визуальным и двумя оптико-электронными каналами, лазерным дальномером и двухплоскостной стабилизацией линии визирования как в варианте панорамы, так и без нее, прорабатывался в таких габаритных размерах, которые согласованы с габаритными размерами целого ряда прицельно-наблюдательных приборов, установленен-

the rotation of the image is necessary, which complicates the optical path, but excludes the presence of an information reset system.

It is the latter method of implementing the circular panorama which is applied within the framework of the described design of the multi-channel aiming complex.

The variant with the rotating head to provide a circular view is solved using a multi-prism unit consisting of 6 Dove prisms with a partially modified visual channel (Figure 9).

The visual channel in the above-considered version contained an objective, a Pekhan Pk- 0° prism consisting of a BP- 45° half-pentaprism and a Schmidt prism with a BKR- 45° roof, an optical filter, a corrective lens, a movable and fixed grid and an eyepiece.

The visual channel in the panorama version with a rotating head part must contain an objective lens, a Pekhan P- 0° prism (consisting of a BP- 45° semipentaprism and a Schmidt BR- 45° prism), an optical filter, a moving lens and a fixed lens and an eyepiece. The design parameters of the P- 0° prism are calculated in accordance with Fig. 10 [8].

For the size of the input face $a = D = d_{\text{light}} = 40$ mm, the path length of the beam in the prism will be $l = 184.8$ mm.

Before spectral-splitting plate No. 1, i.e. in front of the entrance pupil common to all channels, in a parallel bundle, a multi-prism unit is arranged in the form of six pairwise glued and differently oriented Dove prisms made of zinc sulphide ZnS (Fig. 11).

The multi-prism unit is designed to transmit the maximum light diameter in the thermal imaging channel, and must be made with the dimensions shown in Fig. For the effective functioning of the system, the clearing of the faces of the Dove prisms and the surfaces of the protective glass of the head part must be carried out in a similar way. The initial

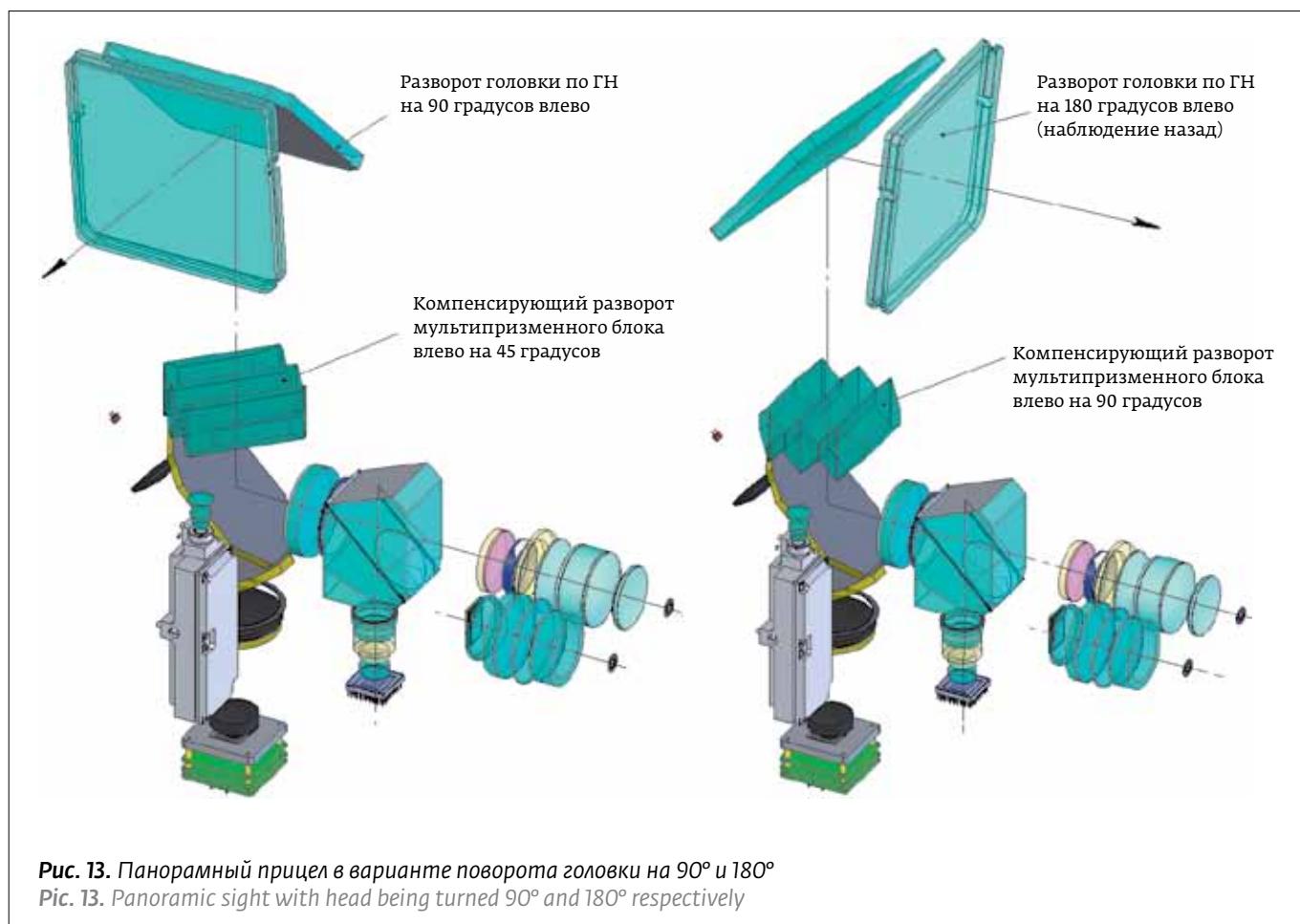


Рис. 13. Панорамный прицел в варианте поворота головки на 90° и 180°
Pic. 13. Panoramic sight with head being turned 90° and 180° respectively

ных на объектах БТВТ в настоящее время. Это обеспечивает возможность модернизации объектов путем размещения такой многофункциональной системы практически на существующих установочных местах штатных приборов или на местах с минимальными доработками.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. С. Гайнутдинов, Р. С. Сабиров, В. А. Иванов, Е. А. Несмелов, Р. Д. Алиакберов, Р. Г. Сафин. Оптические покрытия для современных тепловизионных систем // Казань: ФГУП "НПО "Государственный институт прикладной оптики", Прикладная физика, № 1, 2007.
 I. S. Gajnutdinov, R. S. Sabirov, V. A. Ivanov, E. A. Nesmelov, R. D. Aliakberov, R. G. Safin. Opticheskie pokrytiya dlya sovremennyh teplovizionnyh sistem // Kazan': FGUP "NPO "Gosudarstvennyj institut prikladnoj optiki", Prikladnaya fizika, № 1, 2007.
2. Е. Н. Котликов, Е. В. Хонинева, В. Н. Прокашев, А. Н. Тропин. Спектрodelительные покрытия в лазерных системах для видимой и инфракрасной областей спектра // Оптический журнал, 2009, т. 76, № 11.
 E. N. Kotlikov, E. V. Honineva, V. N. Prokashev, A. N. Tropin. Spektrodelitel'nye pokrytiya v lazernykh sistemah dlya vidimoi i infrakrasnoi

position of the head mirror, multi-prism unit and Pekhan $P-0^\circ$ prism is shown in Fig. 12.

In this position, in all channels, the "top-bottom" and "right-left" images correspond to the actual orientation of the image, whereas in the original version of the system in electronic channels on one of the coordinates it was necessary to mirror them on the microdisplay.

When the head part is turned in the horizontal plane by an angle " α ", the image tilts to the same angle " α " in the eyepiece of the visual channel that is why the multi-prism unit must be rotated in the same direction as the head, but by a half smaller angle " $\alpha/2$ ".

When the head turns horizontally at all angles ($n \cdot 360^\circ$) at any number of revolutions " n ", the multi-prism unit compensates for the slope of the image for all pan channels at the same time. An example of head rotation by 90° (lift aiming) and 180° (backward aiming) is shown in Fig.13.

The dimensions of the Dove prisms and the overall arrangement of the device are designed so that when



- oblastej spektra / *Opticheskij zhurnal*, 2009, t. 76, № 11.
3. **Ллойд Дж.** Системы тепловидения // Пер. с англ., М.: Мир, 1978. *Lloid Dzh. Sistemy teplovideniya / Per. s angl., M.: Mir, 1978.*
 4. **Biberman L.** Perception of Displayed Information / Plenum Press, New York, 1973.
 5. **Ковалев А.А., Ковалев А. В.** Технические средства антитеррористической и криминалистической диагностики: учеб. пособие // Под общ. ред. В. В. Клюева. М.: Издательский дом "Спектр", 2011. *Kovalev A. A., Kovalev A. V. Tekhnicheskie sredstva antiterroristicheskoi i kriminalisticheskoi diagnostiki: ucheb. posobie. / Pod obshch. red. V. V. Klyueva. M.: Izdatel'skij dom "Spektr", 2011.*
 6. **Л. И. Горелик, А. К. Петров.** Цифровая компенсация поворота изображения в системе кругового обзора на основе матричного фотоприемного устройства // Москва, ФГУП "НПО "Орион", Прикладная физика, № 2, 2007. *L. I. Gorelik, A. K. Petrov. Cifrovaya kompensaciya poverota izobrazheniya v sisteme krugovogo obzora na osnove matrichnogo fotopriemnogo ustroystva // Moskva, FGUP "NPO "Orion", Prikladnaya fizika, № 2, 2007.*
 7. **В. А. Панов, М. Я. Кругер, В. В. Кулагин и др.** Справочник конструктора оптико-механических приборов // Под общ. ред. В. А. Панова – 3 изд., перераб. и доп. – Л: "Машиностроение", Ленинградское отделение, 1980. *V. A. Panov, M. YA. Kruger, V. V. Kulagin i dr. Spravochnik konstruktora optiko-mekhanicheskikh priborov // Pod obshch. red. V. A. Panova – 3 izd., pererab. i dop. – L: "Mashinostroenie", Leningradskoe otdelenie, 1980.*

the multi-prism unit is rotated, the laser rangefinder is not covered by the radiating channel.

Obviously, with such a panoramic sight design, an increase in the periscopicity can be achieved: the head can be extended to a periscopic value of ~ 450 mm without a significant increase in vignetting in the channels. It should be noted that the head part, where all the channels are routed through one swivel mirror element, is more compact in comparison with the head parts where each channel is equipped with scanning elements. This fact also contributes to reducing the vulnerability of the head units of the aiming complexes positioned to the armor and increasing the survivability of the object.

The considered variant for solving the optical system of a multichannel sight with a visual and two optical and electronic channels, a laser rangefinder and a two-plane aiming line stabilization both with and without a pan variant was worked out in such overall dimensions that are coordinated with the overall dimensions of a number of sighting and observation devices installed on the facilities of AAFFV. This provides for the possibility of upgrading the facilities by placing such a multifunctional system at practically existing locations of standard instruments or locally, with minimal modifications.