



Оптико-электронные системы наблюдения и кругового обзора

А. В. Медведев¹, А. В. Гринкевич², С. Н. Князева¹

¹ ОАО «РОМЗ», г. Ростов, Ярославская обл., Россия

² ЗАО «ЭВС», Москва, Россия

В статье рассмотрен особый класс оптико-электронных приборов – телевизионные панорамные приборы кругового обзора, предназначенные для мгновенного обзора в угле 360°. Приведены различные варианты исполнения панорамных приборов, особое внимание уделено телевизионному панорамному прибору кругового обзора с верхней полусферой. Он обеспечивает возможность наблюдения верхней полусферы без «мертвых» зон при применении 4-х телевизионных каналов и решает задачу обнаружения и противодействия БПЛА в зенитной области.

Ключевые слова: панорамный прибор, круговой обзор, зенитная область, обнаружение БПЛА, область мгновенного обзора

Статья получена: 28.08.2022

Статья принята: 23.11.2022

Практически всем оптическим и оптико-электронным системам специализированных транспортных машин присущ общий недостаток – ограниченность обзора. При эксплуатации таких специализированных машин в городских условиях возникает еще и психологический аспект – у операторов при работе в замкнутом пространстве с закрытыми дверями и люками в отсутствии оперативной информации о событиях, происходящих снаружи, возникают не самые комфортные ощущения.

Одним из путей решения этой проблемы является установка телевизионной панорамы, удачный пример реализации которой представлен на украинском бронетранспортере БТР-4 «Ладья». Примененное устройство «Панорама-2П», кроме кругового обзора, имеет дополнительную возможность подъема телевизионной камеры на высоту до 0,5 м над башней (рис. 1).

Electro-Optical Surveillance and All-Round Camera Systems

A. V. Medvedev¹, A. V. Grinkevich², S. N. Knyazeva¹

¹ Rostov Optical and Mechanical Plant PJSC, Rostov, Yaroslavl region, Russia

² EVS CJSC, Moscow, Russia

The article considers a special class of optoelectronic devices, namely the television panoramic all-round viewing devices designed for 360° instantaneous viewing. Various design versions of panoramic devices are given, special attention is paid to the all-round television panoramic device with the upper hemisphere that provides an opportunity to observe the upper hemisphere without any dead areas using 4 television channels and solving the problem of UAV detection and counteraction in the anti-aircraft area.

Keywords: panoramic device, all-round view, anti-aircraft area, UAV detection, instantaneous view area

Article received: 28. 08.2022

Article accepted: 23.11. 2022

Almost all optical and optoelectronic systems of specialized transport vehicles have a common drawback, namely the limited visibility. When operating such specialized machines in the urban conditions, there is also a psychological aspect, since in the absence of immediate information about events occurring outside the operators working in a confined space with the closed doors and hatches have not the most comfortable feelings.

One of the ways to solve this issue is to install a television panoramic device, a successful example of which is given on the Ukrainian armored personnel carrier BTR-4 “Ladia”. In addition to the all-around view, the applied device “Panorama-2P” has the opportunity to the television camera to a height of up to 0.5 m above the turret (Fig. 1).

The television camera of the panoramic device is mounted on the weapon station turret on the plate

Телевизионная камера панорамного прибора установлена на башне боевого модуля на пластине подъемно-поворотного механизма, который размещается внутри башни. Возможность осуществления кругового обзора, кроме всего прочего, используется командиром для целеуказания наводчику.

Военные конфликты последних лет показывают, что сам факт наличия танковых панорам не исправляет ситуацию с обзорностью, так как у такого класса приборов круговой обзор достигается за счет подъема и поворота головки, а мгновенное поле зрения невелико. Конструктивное исполнение таких панорам сложное, а трудоемкость устройства высокая. Кроме того, у них отсутствует возможность наблюдения в верхней полусфере, что в современных условиях является необходимым и обязательным для противодействия беспилотным летательным аппаратам (БПЛА).

По результатам анализа применения приборов типа «Панорама-2П» проведение работ в развитие этого направления в КБ ПАО «Ростовский оптико-механический завод» изначально было признано нецелесообразным.

На предприятии целенаправленно проводился поиск приемлемого принципа построения прибора телевизионного типа для кругового обзора с мгновенным горизонтальным полем зрения 360° . Работы проводились по нескольким конструктивным направлениям: в варианте панорамы со сферической насадкой, в варианте со сверхширокоугольной оптикой и в варианте с телевизионными каналами на специализированном фотоприемнике.

ВАРИАНТ ПАНОРАМЫ СО СФЕРИЧЕСКОЙ НАСАДКОЙ

На начальном этапе работ рассматривался телевизионный вариант прибора с мегапиксельной телевизионной камерой и панорамной оптической головкой, в котором трансформирование кругового изображения в привычный формат наблюдения осуществлялось программными методами.

Известные конструкции [1] предполагали применение специальной панорамной зеркально-линзовой оптической системы, формирующей кольцевое изображение и представляющей собой один оптический компонент, имеющий четыре рабочих поверхности и апертурную диафрагму (рис. 2). Первая рабочая поверхность является выпуклой сферической преломляющей поверхностью, вторая – вогнутой сферической отражающей поверхностью, третья – выпуклой сферической отражающей, четвертая – плоской преломляющей поверхностью, совмещенной с апертурной диафрагмой.



Рис. 1. Телевизионная камера и подъемно-поворотный механизм панорамы

Fig. 1. TV camera and elevating and traversing mechanism of the panoramic device

of the elevating and traversing mechanism that is located inside the turret. The ability to have an all-around view, among other things, is used by the commander for target designation to the gunner.

The military conflicts of recent years demonstrate that the mere availability of armored panoramas does

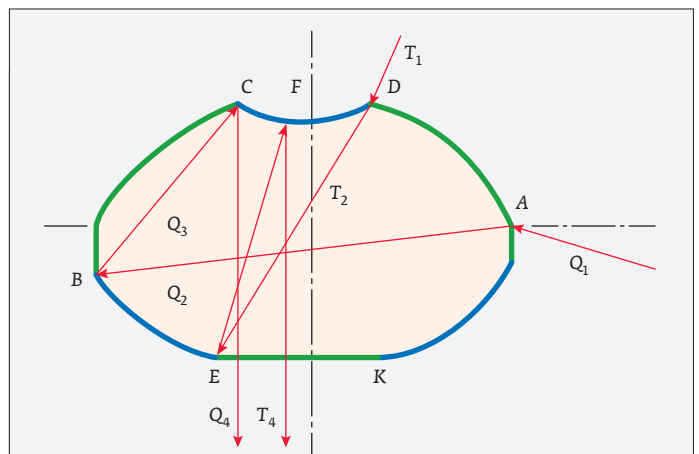


Рис. 2. Оптическая схема панорамного компонента с ходом лучей

Fig. 2. Optical circuit of a panoramic component with a beam path

Так как такая оптическая система является достаточно сложной для серийного оптического производства, то в результате конструкторской проработки был найден простой и наиболее пригодный для существующего серийного производства вариант оптической части панорамного прибора [2]. Система состояла из телевизионного объектива, установленного входным зрачком вертикально вверх, и сферической насадки, размещенной над входным зрачком объектива и представляющей собой выпуклую сферическую поверхность с зеркальным покрытием, отражающим окружающую панораму 360° в некотором вертикальном секторе « $\alpha_{\text{ВН}}$ ».

Отрабатывался вариант, в котором в качестве сферической насадки могла быть применена любая линза с выпуклой полированной поверхностью радиуса ($R_{\text{зср}}$), на которую требовалось нанести зеркальное отражающее покрытие (рис. 3а).

Вариант был опробован на макетном образце, в котором воздушный промежуток между зеркальной сферой и телевизионным объективом закрыт от внешних атмосферных воздействий круговым защитным стеклом (рис. 3б). Юстировка панорамного прибора в таком варианте исполнения является простой операцией и заключается в определении необходимой подвижки телевизионного объектива для настройки панорамного телевизионного канала на резкое изображение окружающего пространства с учетом кругового отражения от участка зеркальной сферы.

not improve the visibility conditions, since for this class of devices all-round visibility is achieved by raising and turning the head, and the instantaneous field of view is rather limited. The design of such panoramic devices is comprehensive, and the labor intensity is high. In addition, they lack the ability to make observations in the upper hemisphere that in modern conditions is necessary and mandatory for countering unmanned aerial vehicles (UAVs).

According to the application analysis results of the Panorama-2P type devices, performance of works in this area by the design bureau of Rostov Optical and Mechanical Plant PJSC was initially recognized as inappropriate.

The enterprise purposefully searched for an acceptable construction principle of a television-type device for all-round viewing with an instantaneous 360° horizontal field of view. The works were performed in several design areas: the panoramic option with a spherical attachment, the option with ultra-wide-angle optics, and the option with television channels on a specialized photodetector.

PANORAMIC OPTION WITH A SPHERICAL ATTACHMENT

At the initial stage of the work, a television option of the device with a megapixel TV camera and a panoramic optical head was considered, where the circular image transformation into a familiar observation format was performed by the software-based methods.

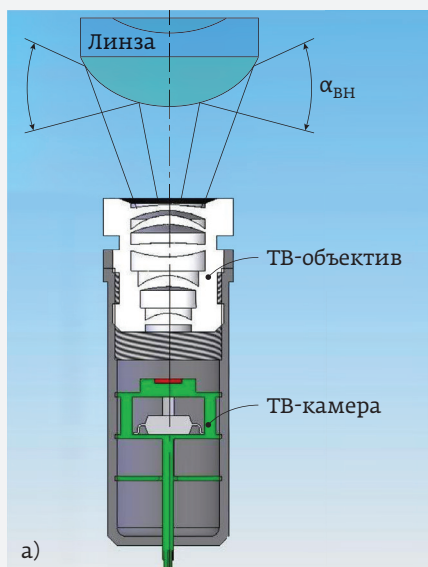


Рис. 3.
Вариант телевизионного канала кругового обзора
Fig. 3. Option of the television channel with the all-around viewing

Необходимая величина подвижки «х» [3], осуществляющей компенсацию расходимости оптических лучей с оптической силой $\Phi_{\text{зер}}$, определяется формулой:

$$x = \frac{(F_{\text{об}})^2 \cdot \Phi_{\text{зер}}}{1000},$$

где $F_{\text{об}}$ – фокусное расстояние телевизионного объектива; $\Phi_{\text{зер}}$ – оптическая сила выпуклой зеркальной отражающей поверхности в диоптриях, определяемая ее фокусным расстоянием и зависящая в конечном итоге от радиуса зеркальной поверхности $R_{\text{зер}}$ [4]:

$$\Phi_{\text{зер}} = \frac{1000}{F_{\text{зер}}} = \frac{1000 \cdot 2}{R_{\text{зер}}}.$$

Таким образом, конечная формула для вычисления подвижки имеет вид:

$$x = -\frac{2 \cdot (F_{\text{об}})^2}{R_{\text{зер}}}.$$

Сектор вертикального поля зрения панорамного прибора определяется расчетом хода лучей при оптимальном выборе $R_{\text{зер}}$ и $F_{\text{об}}$.

После сформированного таким образом кольцевого панорамного изображения необходимо осуществить геометрическую развертку – преобразование кольцевого панорамного изображения в обычное прямоугольное любым из применяемых методов [5] для возможности наблюдения панорамного изображения на широкоформатном мониторе. В качестве фотоприемного устройства в макете использовалась 3-х мегапиксельная телевизионная камера типа VEI-335-USB формата 1/2" с разрешением 2048×1536 элементов КМОП разработки и производства предприятия ООО «ЭВС» (Санкт-Петербург).

Светочувствительным элементом камеры является КМОП-матрица OV3620 производства фирмы Omni Vision. Напряжения, необходимые для работы матрицы, генерирует синхрогенератор, встроенный в кристалл фотоприемника. Он же обеспечивает необходимые напряжения для усилителя. Встроенный усилитель осуществляет обработку сигналов, поступающих с фоточувствительного массива матрицы.

Применение системы автоматической регулировки усиления (АРУ) совместно с системой автоматического регулирования времени накопления (АРВН) позволяет работать в широком диапазоне освещенностей объектов наблюдения. Телевизионная камера выдает на выходе USB-сигнал в стандарте RAW RGB Data (24 бит).

The well-known designs [1] implied the use of a special panoramic catadioptric optical system forming a circular image and being a single optical component with four working surfaces and an aperture diaphragm (Fig. 2). The first working surface is a convex spherical refractive surface, the second one is a concave spherical reflecting surface, the third one is a convex spherical reflecting surface, and the fourth one is a flat refractive surface combined with the aperture diaphragm.

Since such an optical system is quite comprehensive for serial optical production, as a result of design study, a simple option of the panoramic device optical part most suitable for the available serial production was found [2]. The system consisted of a TV lens installed with the entrance pupil vertically upwards, and a spherical attachment placed above the entrance pupil and representing a convex spherical surface with a mirror coating that reflects the surrounding 360° panorama in a certain vertical sector “ α_{BH} ”.

An option has been developed according to which any lens with a convex polished surface and a radius (R_{mir}) could be used as a spherical attachment, on which it is required to apply a mirror reflective coating (Fig. 3a).

The option was tested on a breadboard model, where the air gap between the mirror sphere and the television lens was protected against external weather impact by a circular protective glass (Fig. 3b). The panoramic device adjustment in this embodiment is

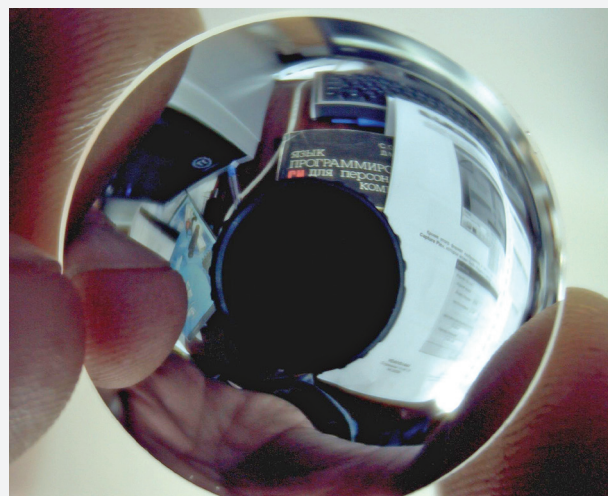


Рис. 4. Кольцевое изображение, полученное на макетном образце панорамы

Fig. 4. Circular image obtained by a breadboard panoramic model

Пример кольцевого панорамного изображения, полученного при помощи описанного макетного образца, показан на рис. 4.

Кроме геометрической развертки горизонтальная панорама может быть получена проецированием полусферического изображения на цилиндрическую поверхность, окружающую зеркало, т. е. путем преобразования полусферического изображения из системы полярных координат в систему прямоугольных координат так называемым методом быстрой развертки [6].

Особенностью варианта конструкции панорамы со сферической насадкой является его одноканальность, определяющая его простоту и технологичность, не требующая новых технологий и готовая к реализации практически на любом производстве. Панорама может быть установлена на любом типе транспортного средства, проста в установке и монтаже и решает большинство задач кругового обзора.

Современные реалии поставили новые задачи перед системами кругового обзора – самой насущной является задача по обнаружению и противодействию БПЛА, что требует обеспечения возможности наблюдения в зенитной области.

Так как центральная часть кольцевого изображения не передает изображения в верхней полусфере, была продолжена работа в направлении создания универсального прибора кругового обзора, способного к одновременному обзору наземной обстановки и воздушного пространства без «мертвых» зон при наблюдении.

ВАРИАНТ ПАНОРАМЫ СО СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНОЙ ОПТИКОЙ

Специалистам известны разработки БПЛА разного назначения. Однако существует класс БПЛА военного назначения, несущий большую опасность, – индивидуально убивающие беспилотники: каждой человеческой мишени – свой БПЛА, несущий необходимые 200 г взрывчатого вещества. Такой беспилотник может быть использован для разведки и наблюдения, но конечное его назначение – летать в качестве барражирующего боеприпаса.

Развитие такого класса БПЛА является серьезной угрозой для человека и любой боевой техники. Необходимость противодействия БПЛА стала важнейшей целью, главное содержание которой – обнаружение летающей малоразмерной цели. Эту задачу можно решить с помощью панорамного прибора с обзором не только местности, прилегающей к наблюдателю, но и всей верхней полусферы.

a simple operation and consists in determining the necessary shift of the TV lens to adjust the panoramic television channel to a sharp image of an external environment, with due regard to the circular reflection from the mirror sphere site.

The required shift value “ x ” [3] that compensates for the optical beam divergence with an optical power Φ_{mir} , is determined by the following formula:

$$x = \frac{(F_{lens})^2 \cdot \Phi_{mir}}{1000},$$

where F_{lens} is the focal length of the TV lens; Φ_{mir} is the optical power of a convex mirror reflecting surface in diopters, determined by its focal length and ultimately depending on the mirror surface radius R_{mir} [4]:

$$\Phi_{mir} = \frac{1000}{F_{mir}} = \frac{1000 \cdot 2}{R_{mir}}.$$

Thus, the final formula for the shift calculation is as follows:

$$x = -\frac{2 \cdot (F_{lens})^2}{R_{mir}}.$$

The vertical field of view sector of a panoramic device is determined by the beam path calculation with the optimal selection of R_{mir} and F_{lens} .

After such generation of the circular panoramic image, it is necessary to make a geometric evolution, namely conversion of the circular panoramic image into a conventional rectangular image applying any of the methods used [5] to watch the panoramic image on a widescreen display. A 3-megapixel 1/2" TV camera of the VEI-335-USB type with a resolution of 2048×1536 of CMOS elements developed and manufactured by EVS LLC (Saint-Petersburg) was used as a photodetector in the breadboard model.

The light-sensitive element of the camera is an OV3620 CMOS sensor manufactured by Omni Vision. Voltage required for the matrix operation is provided by a clock generator built into the photodetector crystal. It also provides the required voltage for the amplifier. The built-in amplifier processes the signals coming from the photosensitive matrix array.

The use of an automatic gain control system (AGC) in conjunction with an automatic storage time control system (ASTC) allows to work in a wide illumination range of the surveillance objects. The TV camera outputs a USB signal according to the RAW RGB Data (24-bit) standard. An example of a circular panoramic image obtained using the described breadboard model is shown in Fig. 4.

Для создания такого панорамного прибора наблюдения, обеспечивающего круговой обзор не только наземной обстановки, но и верхней полусферы радиуса (1-1,5) км, была использована комбинация направленного вверх сверхширокоугольного объектива, мегапиксельного фотоприемника и специализированного программного обеспечения, разворачивающего полученное круговое поле $360^\circ \times 180^\circ$ в привычную прямоугольную картинку на широкоформатном мониторе [7].

Опытный образец телевизионного канала содержал пятимегапиксельную телевизионную камеру типа VEC-555-IP разработки и производства предприятия ООО «ЭВС» и объектив типа «рыбий глаз» – сверхширокоугольный объектив Fujinon FE185C046HA-1, обеспечивающий необходимое качество изображения для 5-ти мегапиксельных матриц. Канал ориентирован вертикально, может быть установлен в любом удобном месте и закрыт оптически прозрачным колпаком.

Образец варианта такой конструкции показан на рис. 5. Пятимегапиксельная цветная телевизионная камера VEC-555-IP позволяет получить изображения максимальной четкости в режиме 2592×1920 элементов при минимальном уровне шума. В сочетании с объективом типа «рыбий глаз» телевизионный канал может обеспечить видимость верхней полусферы 185° , захватывая также и наземную часть изображения.

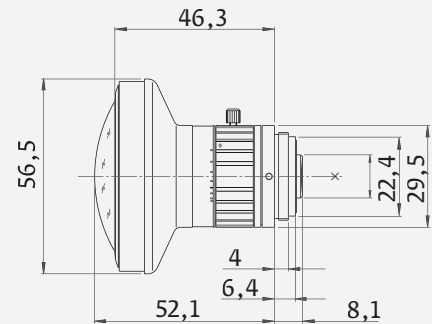
Примененная телевизионная камера, помимо изменений формата и компрессии, позволяет осуществлять управление другими параметрами, такими как яркость, контрастность, четкость, насыщенность, баланс белого, включение режима компенсации встречных засветок (BLC) и режимов работы: автоматической регулировки усиления, автоматической экспозиции, подавителя шума, ночного режима, бининга, скипинга, оконного режима, подавления мерцаний и др.

Параметры сверхширокоугольного объектива Fujinon



Рис. 5. Телевизионный канал кругового обзора с верхней полусферой

Fig. 5. Television channel with the all-around viewing and the upper hemisphere



- Для сетевых камер видеонаблюдения с мегапиксельными (до 5 Мпикс) ПЗС-матрицами
- Оптimalен для видеонаблюдения за статичными или медленноперемещающимися объектами
- Сверхширокий угол обзора 185° для панорамного видеонаблюдения

Размеры в мм

Фокусное расстояние, мм	2,7	
Диапазон изменения диафрагмы	F1,8-F16	
Управление	Фокус	Фиксированное фокусное расстояние
	Диафрагма	Ручная регулировка
Углы обзора (г × в)	1"	$185^\circ \times 185^\circ$ ($\varnothing 8,6$ мм)
	2/3"	$185^\circ \times 140^\circ 35'$
	1/2"	$136^\circ 18' \times 102^\circ 19'$
Минимальное расстояние до объекта, м	0,2	
Задний фокусный отрезок (в воздухе), мм	9,75	
Положение выходного зрачка, мм	-49 (относительно плоскости изображения)	
Использование дополнительного фильтра	Не предусмотрено конструкцией объектива	
Тип крепления	C*	
Вес, г	160	
Особенности	Металлическое крепление Механизм фиксации раскрытия диафрагмы	

Рис. 6. Объектив Fujinon FE185C046HA-1

Fig. 6. Fujinon FE185C046HA-1 lens

FE185C046HA-1 полностью совместимы с параметрами телевизионной камеры типа VEC-555-IP. Габаритные размеры и технические характеристики объектива Fujinon FE185C046HA-1 приведены на рис. 6.

Объективы типа «рыбий глаз» обычно содержат два отрицательных мениска, позволяющих захватить и направить в объектив наклонные пучки лучей света и линзовые компоненты с апертурной диафрагмой [2]. Отсутствие подвижных частей и высокая светосила объектива Fujinon FE185C046HA-1 (1:1,8) гарантируют высокую надежность панорамного прибора в эксплуатации и как нельзя лучше решают задачи кругового обзора больших пространств.

Вариант возможного вида поля зрения, наблюдаемого через панорамный телевизионный канал кругового обзора с верхней полусферой при использовании сверхширокоугольного объектива типа «рыбий глаз», показан на рис. 7.

В поле зрения канала наблюдается Солнце, что красноречиво демонстрирует возможности и динамический диапазон телевизионного канала, а также некий объект типа БПЛА, замаскированный под птицу, различные типы которого разрабатывают сегодня наши военные «партнеры».

Разрешающая способность канала может быть оценена по длинной стороне кадра (~2500 пикселей), которая занимает угол ~180°. Один пиксел телевизионной камеры будет соответствовать углу $180/2500 \approx 0,072^\circ \approx 4,32$ угловых минуты или ~1,2 тысячных в малых делениях угломера, что соответствует 1,2 м на дистанции 1 км.

Это говорит о том, что одним пикселем фотоприемника телевизионной камеры может обнаруживаться БПЛА размером (1,2-1,5) м на дистанции в 1 км. Спектр применения аппаратов такого размера в военных действиях достаточно широк. Один из вариантов БПЛА американского производства, стилизованный под птицу, можно оценить по образцу, сбитому в Пакистане в 2011 году (рис. 8).

Вычислительная система панорамного прибора кругового обзора с верхней полусферой в составе программно-алгоритмического обеспечения и штатных вычислительных средств решает следующие задачи: обнаружение и целеуказание беспилотника, распознавание и идентификация класса беспилотника, сопровождение и измерение координат обнаруженной цели.

В качестве единственного устойчивого признака для обнаружения цели (атакующий БПЛА) может быть принят лишь кинематический признак движения БПЛА (вектор скорости) по направ-



Рис. 7. Поле зрения канала обнаружения. Птица – БПЛА
Fig. 7. Field of view of the detection channel. A bird – an UAV

In addition to the geometric scanning, a horizontal panorama can be obtained by projecting a hemispherical image onto a cylindrical surface surrounding the mirror, i. e. by converting a hemispherical image from a polar coordinate system to a rectangular coordinate system by the so-called fast scanning method [6].

A feature of the panoramic device option with a spherical attachment is its single-channel design that determines its simplicity and producibility, does not require new technologies and is available for implementation at almost any production site. The panoramic device can be mounted on any type of vehicle, it is easy to install and assembly and solves most of the all-round visibility tasks.

The present-day circumstances have set new tasks for the all-round viewing systems, and the most



Рис. 8. Пакистан. 2011 год
Fig. 8. Pakistan. 2011



лению к объекту защиты комплекса анти-БПЛА. Другие возможные для измерений физически отличимые признаки малогабаритных маскируемых БПЛА: спектрально-энергетический контраст яркости цели и фона; топологические и геометрические признаки (форма, размер объекта и др.) в условиях естественных и организованных помех при сверхмалых размерах микро- и мини-БПЛА и ограниченной чувствительности и разрешающей способности телевизионного канала, могут быть аппаратурно и алгоритмически однозначно невыделимыми из-за наличия иных (ложных) подвижных объектов (облака, птицы и т.д.).

Соответственно правильное решение задачи выделения цели на этапе обнаружения по единственному ее показателю – движению, не может быть выше вероятности $P_0 \leq 0,5$, т.е. выделенный объект может быть целью, но может и не быть таковой. Таким образом, реальные дальности опознавания малоразмерного объекта рассмотренным вариантом панорамного прибора кругового обзора с верхней полусферой составит порядка ~100–200 м, что в принципе достаточно для обеспечения срабатывания современных систем противодействия.

Как и предыдущий рассмотренный вариант панорамного прибора, телевизионная панорама со сверхширокоугольной оптикой является одноканальной системой, поэтому обладает такой же простотой и технологичностью, решая при этом задачи кругового обзора с верхней полусферой с дальностями опознавания до 1 км при наблюдении крупных БПЛА с размерами порядка ~10 м.

Однако быстрое развитие класса миниатюрных БПЛА ставит новые задачи перед системами панорамного наблюдения с сохранением дальностей опознавания малоразмерных целей. На первый план вышла необходимость повышения пространственной разрешающей способности панорамного прибора кругового обзора с верхней полусферой, обеспечивающей дальности опознавания, требуемые для своевременного реагирования и подключения систем противодействия.

ВАРИАНТ ПАНОРАМЫ С ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ КАНАЛАМИ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ФОТОПРИЕМНИКЕ

Современные конструктивные решения систем панорамного наблюдения базируются на комбинации нескольких телевизионных каналов, размещаемых вокруг машины или вокруг шасси, если машина имеет башню. Такой многоканальный принцип построения панорамной системы позво-

urgent is to detect and counteract UAVs that requires the possible observation in the anti-aircraft area.

Since the central part of the circular image does not transmit images in the upper hemisphere, the works have been continued towards the development of a multi-purpose all-around viewing device capable of simultaneously surveying the ground situation and airspace without any dead areas during the observation process.

PANORAMIC OPTION WITH ULTRA-WIDE-ANGLE OPTICS

The specialists are aware of the development of UAVs for various purposes. However, there is a class of military UAVs that pose high danger, namely the individual killing drones: each human target is aimed by its own UAV carrying the required 200 g of explosive. Such a drone can be used for reconnaissance and surveillance, but its ultimate purpose is to make flights as a loitering munition.

The development of this UAV class is a serious threat to humans and any military equipment. The need to counter the UAVs has become the most important goal, the main parameter of which is detection of a flying small target. This problem can be solved by using a panoramic device with a view not only of the area adjacent to the observer, but also of the entire upper hemisphere.

To make such a panoramic viewing device that provides a circular view not only of the ground environment, but also of the upper hemisphere with a radius of (1–1.5) km, a combination of an upwardly directed ultra-wide-angle lens, a megapixel photodetector and specialized software that expands the resulting circular field of $360^\circ \times 180^\circ$ into a familiar rectangular picture on a widescreen display [7] was used.

A prototype TV channel contained a VEC-555-IP 5-megapixel TV camera developed and manufactured by EVS LLC and a fisheye lens that was an ultra-wide-angle lens Fujinon FE185C046HA-1 providing the required image quality for 5-megapixel matrices. The channel is oriented vertically, can be installed in any convenient place and closed with an optically transparent cap.

An example of such a design is shown in Fig. 5. The 5-megapixel VEC-555-IP color television camera allows to get images with maximum resolution in the mode of 2592×1920 elements with a minimum noise level. When combined with a fisheye lens, a TV channel can provide a 185° view of the upper hemisphere while capturing the terrestrial part of the image as well.

In addition to changing the format and compression, the applied television camera allows to control other

ляет реализовать одновременно круговое поле обзора и высокое угловое разрешение по всему полю [8].

Именно для применения в специальных системах телевизионного наблюдения предприятием ООО «ЭВС» разработан специализированный телевизионный модуль, тип 742, обеспечивающий работу в диапазоне рабочих освещенностей от 0,003 до 30000 лк, на основе которого предприятием ОАО «ЛЗОС» создана специализированная универсальная телевизионная камера ТВКТ-95Н для телевизионной системы наружного кругового наблюдения. Вариант системы кругового обзора с использованием камер ТВКТ-95Н практически реализован в виде прибора для командира танка Т-90М/МС [7]. Проектировщики машины впервые пересмотрели подход к организации системы обзора танка, реализовав полностью телевизионный вариант системы. Параметры телевизионных камер приведены в табл. 1.

Система наружного наблюдения обеспечивает командиру и наводчику круговой обзор местности, прилегающей к танку. На крыше вращающегося боевого отделения установлена антенная мачта с датчиками метеоусловий, на которой размещены три телевизионные камеры, обеспечивающие почти круговой обзор, передавая изображения на мониторы командира и наводчика. Четвертая камера находится на правой стороне башни, так как в случае размещения ее на датчике ветра дистанционная пулеметная установка на крыше башни перекрывает обзор (рис. 9).

Для наблюдения за полем боя в боевом отделении имеется пульт управления и 10-дюймовый монитор, связанный с видеокамерами кругового обзора, на который выводится картинка с 4-х видеокамер. Дополнительно для наблюдения за обстановкой на задней части машины, а также для удобства движения задним ходом механиком-водителем используется отдельная телевизионная камера заднего обзора.

Разрешающая способность системы может быть оценена по длинной стороне кадра (752 пиксела), которая занимает угол $\sim 95^\circ$. Один пиксель телевизионной камеры будет соответствовать углу $95/752 \approx 0,126^\circ \approx 7,5$ угловых минуты или $\sim 2,1$ тысячных в малых делениях угломера (а это 2,1 м на дистанции 1 км). Эти параметры более чем достаточны для вождения машины, ориентировки на местности и оценки угроз в ближней и средней области дистанций. Для систем дальнего действия на машине имеется отдельный прибор.

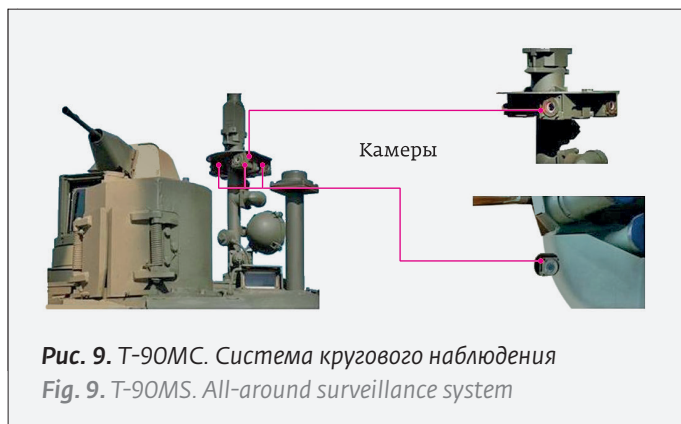


Рис. 9. Т-90МС. Система кругового наблюдения
Fig. 9. T-90MS. All-around surveillance system

parameters, such as brightness, contrast, sharpness, saturation, white balance, switching on the backlight compensation (BLC) mode and operating modes: automatic gain control, automatic exposition, noise suppressor, night mode, binning, skipping, windowed mode, flicker reduction, etc.

The parameters of the Fujinon FE185C046HA-1 ultra-wide-angle lens are fully compatible with those of the VEC-555-IP TV camera. The overall dimensions and specifications of the Fujinon FE185C046HA-1 lens are shown in Fig. 6.

The fisheye lenses usually contain two negative concave-convex lenses that allow oblique light beams to be captured and directed into the lens, and the lens components with an aperture diaphragm [2]. The absence of moving parts and the high aperture ratio of the Fujinon FE185C046HA-1 lens (1:1.8) guarantee the high reliability of the panoramic device in the field and help to solve the tasks of a circular view of large areas in the best possible way.

An option of the possible field of view observed through a panoramic television channel with an all-around viewing and an upper hemisphere using an ultra-wide-angle fisheye lens is shown in Fig. 7.

The Sun can be observed in the field of view of the channel that eloquently demonstrates the capabilities and dynamic range of the television channel, as well as a certain UAV-type object disguised as a bird, various types of which are being developed today by our military "partners".

The channel resolution can be estimated along the long frame side (~ 2500 pixels) that has an angle of $\sim 180^\circ$. One pixel of a TV camera corresponds to an angle of $180/2500 \approx 0,072^\circ \approx 4,32$ arc minutes or $\sim 1,2$ thousandths in small divisions of the goniometer being equal to 1.2 m at a distance of 1 km.

This fact suggests that one photodetector pixel of a television camera can detect an UAV with the dimensions of (1.2–1.5) m at a distance of 1 km. The application

Таблица 1. Система кругового обзора Т-90МС
Table 1. All-around viewing system T-90MS

Тип телевизионной камеры Type of TV camera	ТВКТ-95Н TVKT-95N
Количество ТВ камер в комплекте, шт. Number of TV cameras in the set, pcs.	4
Характеристики ТВ камеры ТВКТ-95Н Specifications of TV camera TVKT-95N	
Угол обзора по горизонту, град. Horizontal viewing angle, degrees	не менее 95 Not less than 95
Угол обзора по вертикали, град. Vertical viewing angle, degrees	не менее 40 Not less than 40
Разрешающая способность, ТВ-линий Resolution, TV lines	не менее 460 Not less than 460
Диапазон рабочей освещенности, лк Operating illumination range, lux	0,003–30000

Для увеличения дальности в ряде разработок наблюдается тенденция к увеличению числа телевизионных каналов. Одной из таких систем является система видеонаблюдения и целеуказания «Панорама», разработанная белорусским ОАО «Конструкторское бюро «Дисплей».

В состав «Панорамы» входит модуль на штанге (рис. 10, левое фото), оснащенный шестью видеокамерами, установленными с шагом 60° в горизонтальной плоскости, вычислительный модуль и сенсорный жидкокристаллический монитор с диагональю 15 дюймов.

На экране рабочего места командира в режиме «Панорама» сформированы три строки и три столбца (рис. 10, правое фото). В верхней строке



Рис. 10. КБ «Дисплей». Система кругового наблюдения «Панорама»

Fig. 10. Design bureau "Display". All-around surveillance system "Panorama"

range of the devices with such dimensions in military activities is quite wide. One version of the American-made UAV, stylized as a bird, can be assessed based on a sample shot down in Pakistan in 2011 (Fig. 8).

The computing system of the all-around panoramic device with the upper hemisphere, as a part of the software and algorithmic support and standard computing facilities, allow to solve the following issues: detection and target indication of the drone; recognition and identification of the drone class; auto-tracking and coordinate measurement of the detected "target".

The only stable sign for detecting a "target" (attacking UAV) can only be the kinematic UAV motion cue (velocity vector) towards the protection facility of the anti-UAV complex. Other measurable and physically distinguishable features of small-sized camouflaged UAVs are as follows: spectral-energy brightness contrast of the "target" and the background; topological and geometric features (shape, size of an object, etc.) in the conditions of natural and jamming interference with the ultra-small sizes of micro- and mini-UAVs and limited sensitivity and resolution of a television channel. Such features can be unambiguously indistinguishable by the hardware and algorithms due to the availability of other (false) moving objects (clouds, birds, etc.).

Accordingly, the correct solution to the "target" identification problem at the stage of "detection" by its only indicator ("movement") cannot be higher than the probability $P_0 \leq 0.5$, i.e. the selected object may or may not be a "target". Thus, the real identification range of a small-sized object by the considered option of the all-around panoramic device with the upper hemisphere will be about ~ 100–200 m that, in principle, is sufficient to ensure the operation of modern countermeasure systems.

Similar to the previous option of the panoramic device considered, the TV panoramic device with ultra-wide-angle optics is a single-channel system, therefore it has the same simplicity and producibility, while solving the issues of all-around visibility with the upper hemisphere and identification ranges up to 1 km when observing the large UAVs with the dimensions of about ~ 10 m.

However, the rapid development of the miniature UAV class poses new challenges for the panoramic surveillance systems while maintaining the identification ranges of small targets. The need to increase the spatial resolution capability of the circular viewing panoramic device with the upper hemisphere, providing identification ranges required for timely response and activation of countermeasure systems has come to the forefront.

размещаются изображения от трех видеокамер переднего плана, в нижней строке размещаются зеркальные изображения от видеокамер заднего плана. В центре экрана (вторая строка, второй столбец) размещено изображение от отдельной видеокамеры дальнего действия. Вторая строка, первый столбец используются для отображения панели «Управление экраном». Вторая строка, третий столбец используются для отображения панели «Состояние комплекса «АДУНОК».

Угол поля зрения видеокамер в горизонтальной плоскости составляет 62° . Разрешающая способность камеры, оценка которой проведена по вышеизложенной методике по длинной стороне кадра (752 пиксела), занимающей угол $\sim 62^\circ$, составляет величину порядка 1,3-тысячных в малых делениях угломера или 1,3 м на дистанции 1 км. Этот показатель позволяет не только осуществлять ориентировку на местности и оценку угроз в средней области дистанций, но и обеспечить приемлемую точность целеуказания. Система «Панорама» разработана для комплекса «Адунок», но может применяться и как самостоятельное изделие на легких небронированных или слабо бронированных автомобилях и других подвижных и неподвижных объектах.

Многоканальными системами кругового обзора можно решить практически все задачи, в том числе и задачу обеспечения возможности наблюдения в верхней полусфере. Однако это требует дополнительного числа каналов, что увеличивает трудоемкость изготовления самой панорамной системы, сложность ее установки на объекте и эксплуатации в реальных условиях.



Рис. 11. Бронетранспортер СМ-32 8×8 Cloud Leopard

Fig. 11. Armored personnel carrier CM-32 8 × 8 Cloud Leopard

PANORAMIC OPTION WITH TV CHANNELS ON A SPECIALIZED PHOTODETECTOR

The modern design solutions for panoramic surveillance systems are based on a combination of several television channels placed around the vehicle or around the chassis if the vehicle has a turret. Such a multichannel construction principle of a panoramic system makes it possible to simultaneously implement a circular field of view and high angular resolution over the entire field [8].

EVS LLC has developed a specialized television module for use in the special television surveillance systems. This type 742 module can be applied in the operating illumination range from 0.003 to 30,000 lux. On the basis of this module, Lytkarino Optical Glass Plant OJSC has developed a specialized multi-purpose TV camera TVKT-95N for television system of field all-around surveillance. An option of the all-around viewing system using the TVKT-95N cameras is practically implemented as a device for the commander of the T-90M/MS armored fighting vehicle [7]. For the first time, the vehicle designers revised the approach to arranging the armored vehicle's viewing system, while implementing a completely television version of the system. The parameters of television cameras are given in Table 1.

The field surveillance system provides the commander and gunner with an all-around view of the area adjacent to the armored vehicle. An antenna mast with the weather sensors is installed on the roof of the rotating fighting cab. This mast has three TV cameras that provide an almost all-around view, while transmitting images to the monitors of the commander and gunner. The fourth camera is located on the right side of the turret, since if it is placed on the wind sensor, the remote machine gun mount on the turret roof blocks the view (Fig. 9, top image).

To monitor the battlefield in the fighting cab, there is a control panel and a 10-inch display connected to the all-around video cameras that shows the images from 4 video cameras (Fig. 9, bottom image). Additionally, to monitor the situation over the rear vehicle part, as well as for the convenience of reverse movement, the driver uses a separate rear-view television camera.

The system resolution can be estimated along the long frame side (752 pixels) with an angle of $\sim 95^\circ$. One pixel of a TV camera corresponds to an angle of $95/752 \approx 0.126^\circ \approx 7.5$ arc minutes or ~ 2.1 thousandths in small divisions of the goniometer (that is 2.1 m at a distance of 1 km). These parameters are more than sufficient for driving a vehicle, navigating the ground and assessing threats at the near and medium distances. For the long-range systems, there is a separate device on the vehicle.

Попытку кардинального улучшения качества панорамного изображения увеличением числа каналов предприняло Министерство обороны Тайваня, которое представило систему камер внешнего наблюдения, предназначенную для бронетранспортера CM-32 8×8 Cloud Leopard. Система кругового обзора, разработанная 209-м военным заводом, представляет собой одно из последних достижений тайваньской технологии, показанное на выставке TADTE (Taipei Aerospace & Defense Technology Exhibition 2015), прошедшей в Тайбее (рис. 11).

Панорамная система состоит из 16-ти камер высокого разрешения, обеспечивающих наблюдение даже при низкой освещенности. Три камеры установлены впереди, по три камеры по бортам, две камеры в корме и по одной на зеркалах заднего вида. Этим обеспечивается круговой обзор вокруг машины на 360°. Три дополнительные камеры установлены на люке водителя с целью наблюдения за обстановкой при вождении с закрытыми люками. Изображения с 16-ти камер объединяются в составное изображение, на котором наблюдается окружающий ландшафт, но при желании можно выводить на экран изображения с каждой отдельной камеры.

Система обработки сигналов автоматически распознает движения пикселей на выводимых изображениях, используя сложные алгоритмы. Осознавая существующую вероятность ложных срабатываний в зашумленном пространстве, инженеры запрограммировали систему так, чтобы она игнорировала подвижные объекты определенного размера, например, птиц и небольших животных. По данным некоторых производителей, проблема

To raise the range in a number of developments, there is a tendency to increase the number of television channels. One of such novelties is the Panorama video surveillance and target designation system developed by Design Bureau “Display” OJSC (Belarus) (Fig. 10).

The Panorama set includes a module on an arm (Fig. 8, left photo), equipped with six video cameras installed at 60° increments in the horizontal plane, a computing module, and a 15-inch LCD touchscreen monitor.

On the screen of the commander’s workplace in the Panorama mode, there are three rows and three columns. The top row contains images from three foreground cameras, the bottom row contains mirror images from the background cameras. The screen center (second row, second column) shows an image from a separate long-range video camera. The second row of first column is used to display the Screen Control panel. The second row of the third column is applied to display the ADUNOK Status panel.

The field angle of video cameras in the horizontal plane is 62°. The camera resolution that has been assessed according to the above method along the long frame side (752 pixels) having an angle of ~62°, is about 1.3 thousandths in small divisions of the goniometer or 1.3 m at a distance of 1 km. This indicator allows not only the ground navigation and threat assessment in the middle range, but also ensures the acceptable target designation accuracy. The Panorama system has been developed for the Adunok complex, but can also be used as an independent tool on the light unarmored or slightly armored vehicles and other moving and stationary facilities.

The multichannel all-around viewing systems can solve almost all problems, including the issue of possible observation in the upper hemisphere. However, this problem requires an additional number of channels that increases the labor intensity of the panoramic system production, difficulty of its installation at the facility and operation in a live situation.

An attempt to radically improve the panoramic image quality by increasing the number of channels was made by the Ministry of Defense of Taiwan that presented the external surveillance camera system designed for the CM-32 8×8 Cloud Leopard armored personnel carrier. The all-around viewing system developed by the 209th munition factory is one of the latest achievements of Taiwanese technology demonstrated at the TADTE exhibition (Taipei Aerospace & Defense Technology Exhibition 2015) held in Taipei (Fig. 11).

The panoramic system consists of 16 high-resolution cameras that provide surveillance even in the low illumination conditions. Three cameras are installed in the front part, three cameras are installed on the



Рис. 12. Пример восприятия информации с 16 видеокамер
Fig. 12. An example of information perception from 16 video cameras

разработки таких систем сосредоточена на точном размещении комплекса камер, а также на слиянии отдельных потоков изображений с целью представления понятной и точной информации об обстановке вокруг машины.

Следует отметить, что сложность восприятия и анализа информации возрастает с увеличением числа каналов, а при использовании 16-ти видеокамер это требует дополнительного изучения и всесторонней оценки в эксплуатации, особенно для различных ситуаций в боевой обстановке (рис. 12).

Специалистами предприятия ПАО «РОМЗ» был рассмотрен другой путь повышения параметров за счет реализации варианта панорамного прибора с фотоприемниками нестандартного формата. Целью разработки было кардинальное (в несколько раз) повышение разрешающей способности при круговом наблюдении окружающей местности и при видимости всей верхней полусферы без «мертвых» зон при применении только 4-х телевизионных каналов.

Возможность создания всеракурсной панорамной системы с высокими параметрами по разрешающей способности базируется на применении фотоприемника GMAX2518 производства компании Grixel, который представляет собой 18-мегапиксельный сенсор нестандартного формата с соотношением сторон ~11:10. Пиксел размером 2,5 мкм обеспечивает максимальный динамический диапазон в пределах 66 дБ. Благодаря технологии, объединяющей применение микролинз и световодов, квантовая эффективность (QE) датчика достигает 65%. Матрица использует 32 пары sub-LVDS-каналов, каждый из которых работает на максимальной скорости 960 МГц и поддерживает получение изображений с частотой кадров до 64 Гц в 12-битном режиме и 150 Гц в 10-битном режиме при полном разрешении.

Основные технические параметры фотоприемника GMAX2518 приведены в табл. 2.

На рис. 13 представлена структурная схема телевизионного канала на основе 18-мегапиксельной КМОП-матрицы. В качестве основного ядра обработки видео служит микросхема Artix 7 серии UltraScale+ производства компании Xilinx, являющаяся программируемой логической интегральной схемой, на которую поступают данные от видео

Таблица 2. Основные параметры GMAX2518

Table 2. Basic parameters of GMAX2518

Число элементов КМОП Number of CMOS elements	4508×4096
Формат фотоприемника, дюйм Photodetector format, inch	1
Размеры пиксела, мкм Pixel output size, μm	2,5×2,5
Размер чувствительной области, мм Active region size, mm	11,3×10,2
Диагональ, мм Diagonal, mm	15,2
Спектральная чувствительность, мкм Spectral response, μm	0,4–0,75
Шум считывания, ē Readout noise, ē	1,6
Максимальная кадровая частота, Гц Maximum frame frequency, Hz	150
Динамический диапазон, дБ Dynamic range, dB	66
Квантовая эффективность, % Conversion quantum efficiency, %	65,5
Интерфейс сенсора Sensor interface	Sub-LVDS
Энергопотребление, Вт Power consumption, W	1,5
Габаритные размеры, мм Overall dimensions, mm	19,49×20,49×3,00

sides, two cameras – in the rear and one camera in each rear-view mirror. Such construction provides a 360° view around the vehicle. Three additional cameras are installed on the driver’s hatch to monitor the situation when driving with the closed hatches. The images from 16 cameras are combined into a composite image that

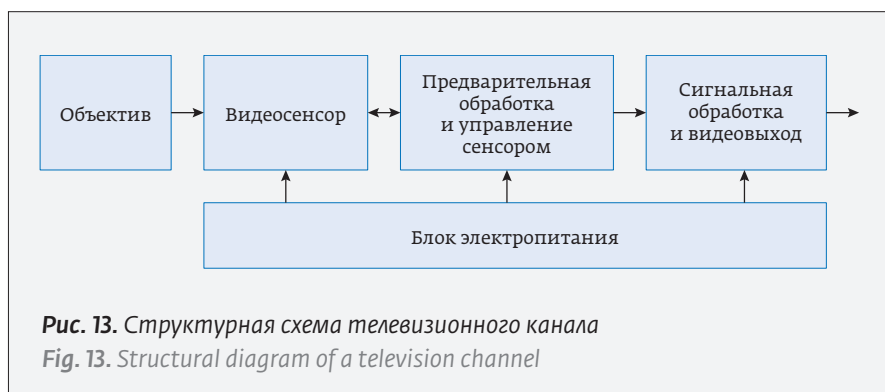


Рис. 13. Структурная схема телевизионного канала

Fig. 13. Structural diagram of a television channel



Главное событие отрасли
в России и странах СНГ

ФОТОНИКА МИР ЛАЗЕРОВ И ОПТИКИ

28 – 31 марта 2023

17-я международная специализированная выставка
лазерной, оптической и оптоэлектронной техники



Реклама 12+

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»
www.photonics-expo.ru



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

 **ЭКСПОЦЕНТР**

сенсора с частотой 960 МГц. Микросхема производит первичную обработку поступающего сигнала и подготавливает данные на видеовыход для последующей интеллектуальной обработки изображения, а также определяет области интереса видеокadra.

Ядро обработки видео осуществляет управление видео сенсора, настраивая параметры матрицы для максимального качества получаемого сигнала.

Блок электропитания вырабатывает все необходимые напряжения питания для микросхем телевизионного канала от входного напряжения 12-30 В.

Для кругового наблюдения фотоприемник в каждом из каналов ориентируется по горизонтали короткой стороной, на которой объектив обеспечивает угол поля зрения 92° , т.е. четыре канала перекрывают 360° горизонтального обзора. Соответственно вертикальный угол поля зрения составляет 101° , что позволяет каждому каналу вести наблюдение в зените и в наземной части поля зрения с охватом всей верхней полусферы без «мертвых» зон и без больших дисторсионных искажений. При этом диагональное поле зрения составляет $\sim 136^\circ$.

Разработанное конструктивное решение телевизионного панорамного прибора кругового обзора с верхней полусферой базируется на размещении 4-х 16-мегапиксельных каналов, неподвижно уста-

demonstrates the surrounding landscape. If desired, it is possible to display images from each individual camera.

The signal processing system automatically detects pixel movements in the output images using the sophisticated algorithms. Having recognized the potential for false alarms in a noisy environment, the engineers have programmed the system to ignore moving objects of a certain size, such as birds and small animals. According to some manufacturers, the design challenge of such systems is focused on the precise placement of a set of cameras, as well as on fusion of individual image streams in order to provide understandable and accurate information relating to the circumstances around the vehicle.

It should be noted that the complexity of data perception and analysis is raised with increase in the number of channels. When using 16 video cameras, such fact requires additional study and a comprehensive assessment, especially for various situations in the combat conditions (Fig. 12).

The specialists of Rostov Optical and Mechanical Plant PJSC have considered another way to increase the parameters by implementing a panoramic option with the non-standard photodetectors. The purpose of development has been a drastic (by several times) resolution enhancement during the all-around observation of the surrounding area with visibility of the entire upper hemisphere without any dead areas using only 4 television channels.

The ability to develop an all-angle panoramic system with high resolution parameters is based on the use of the GMAX2518 photodetector manufactured by Gpixel being an 18-megapixel non-standard sensor with an aspect ratio of $\sim 11:10$. The $2.5 \mu\text{m}$ pixel provides a maximum dynamic range of 66 dB. Due to the technology combining the use of micro-lenses and light guides, the quantum efficiency (QE) of the sensor reaches 65%. The matrix uses 32 pairs of sub-LVDS channels, each of which operates at a maximum velocity of 960 MHz and supports the image acquisition at the frame rate of up to 64 Hz in 12-bit mode and 150 Hz in 10-bit mode at full resolution.

The main technical parameters of the GMAX2518 photodetector are given in Table 2.

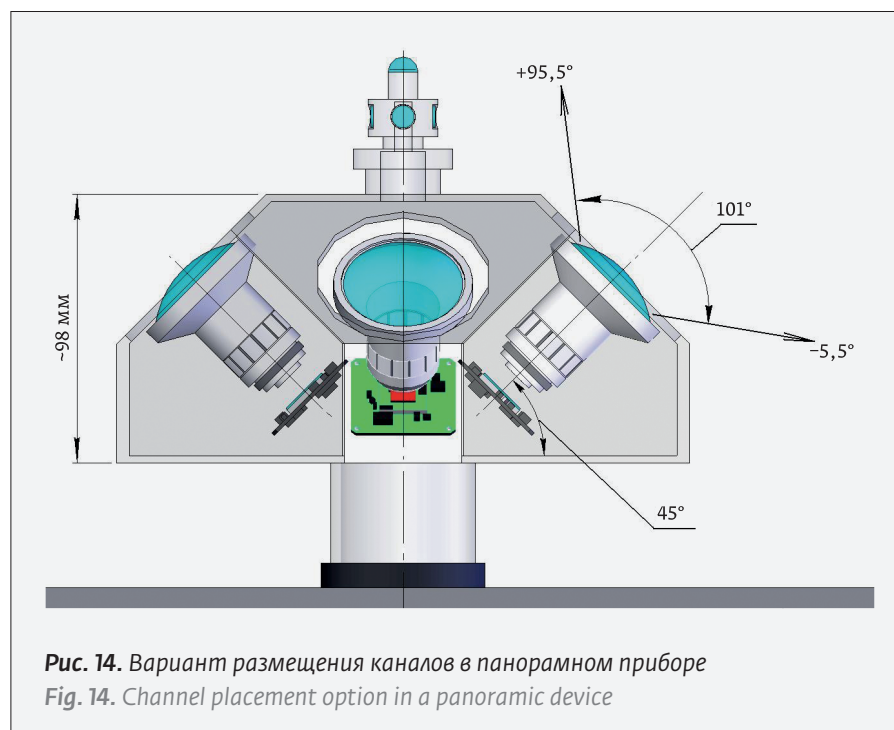
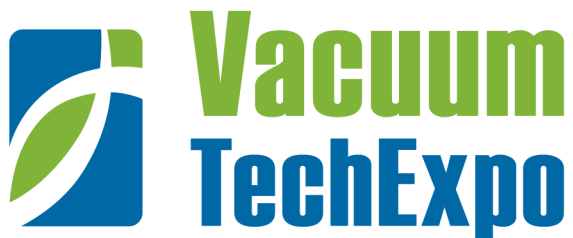


Рис. 14. Вариант размещения каналов в панорамном приборе

Fig. 14. Channel placement option in a panoramic device



17-я Международная выставка
вакуумного и криогенного оборудования

11–13 апреля 2023

Москва, ВДНХ, Павильон 57



Представьте
свою продукцию
потенциальным
заказчикам



Вакуумное
оборудование

Криогенное
оборудование

Оборудование
для нанесения
функциональных
покрытий



Забронируйте стенд
vacuumtechexpo.com

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+ 7 (495) 252 11 07
vacuumtechexpo@mvk.ru

новленных в едином корпусе под углом 90° друг к другу и с наклоном каждого канала в 45° к горизонтальной плоскости (рис. 14).

Следует отметить, что современные оптические решения способны обеспечить и одноканальный вариант, аналогичный варианту панорамы со сверхширокоугольным объективом. Например, компания Theia Technologies представила в 2014 году вариант объектива Theia SY185F с углом поля зрения до 190°, рассчитанный на использование с одноматричными фотоприемниками формата до 20-ти мегапикселей [9]. Объектив способен работать с размером пикселя от 1,2 мкм, в его конструкции использованы асферические оптические элементы из стекла со сверхнизкой степенью рассеяния света (ELD-glass). Свойственная сверхширокоугольным объективам неравномерность оптических свойств выражается у нового продукта в том, что в центральной зоне его оптическое разрешение составляет 400 штр/мм, а при отклонении от неё на 85° – 200 штр/мм.

Однако 4-канальный вариант обеспечивает в разы большую разрешающую способность панорамного прибора, а следовательно, и большие дальности обнаружения.

В новой конструкции панорамного прибора объектив для телевизионной панорамы должен иметь поле зрения ~136°, что позволяет увеличить фокусное расстояние объектива и минимизировать дисторсию, применяя достаточно типовые схемные оптические решения при проектировании конструкции объектива. Взаимосвязь параметров у таких объективов может определяться не по классической формуле [3]:

$$y' = F_{об} \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2},$$

а, например, по формуле:

$$y' = F_{об} \cdot \sin \frac{\beta}{2},$$

где: y' – половина линейного поля зрения по диагонали;
 $F_{об}$ – фокусное расстояние объектива;
 β – угловое диагональное поле зрения объектива.

При линейном поле зрения по диагонали, равном 15,2 мм (см. данные в табл. 2), и в случае углового диагонального поля зрения, равного $\beta=136^\circ$, значе-

Fig.13 shows a structural diagram of a television channel based on an 18-megapixel CMOS sensor. The main video processing core is Artix 7 UltraScale+ chip by Xilinx being a field-programmable gate array that receives data from a video sensor at a frequency of 960 MHz. This array performs primary processing of the incoming signal and prepares data for the video output for subsequent intelligent image processing. Moreover, it determines the zones of interest of the video frame.

The video processing core controls the video sensor, while adjusting the matrix parameters for the maximum received signal quality.

The power supply unit generates all the necessary supply voltages for the TV channel microcircuits using an input voltage of 12–30 V.

For the all-around observation, the photodetector in each of the channels is oriented horizontally by the short side, on which the lens provides a field of view angle of 92°, i. e. four channels cover 360° horizontal view. Accordingly, the vertical angle of the field of view will be 101° that allows each channel to observe in the ascendant and in the ground part of the field of view, covering the entire upper hemisphere without any dead areas and without large distortions. In this case, the diagonal field of view is ~136°.

The developed design solution for a television panoramic all-around viewing device with an upper hemisphere is based on the placement of four 16-megapixel channels stationary installed in a single housing at an angle of 90° to each other and with

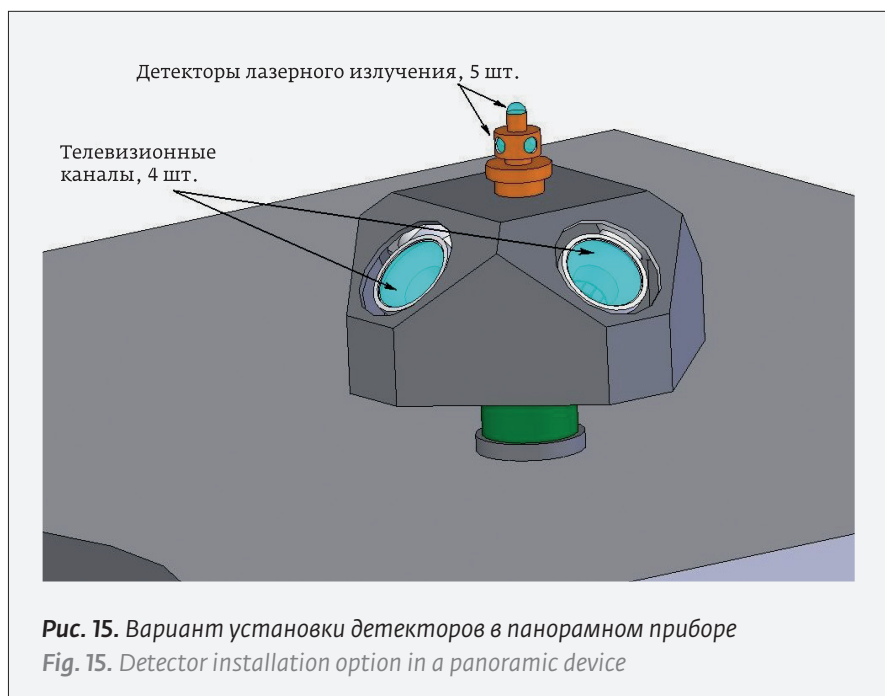


Рис. 15. Вариант установки детекторов в панорамном приборе
Fig. 15. Detector installation option in a panoramic device

20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям

City Park Hotel, СОЧИ
12-15 СЕНТЯБРЯ 2023



На HOLOEXPO 2023 вас ждет

10+ тематических секций

Пленарное заседание

Семинары, круглые столы

Секция стендовых докладов

Демозона и выставка голограмм

Нетворкинг с коллегами

Приветственный коктейль

Конкурс «Лучший доклад»

*Торжественный ужин
в честь юбилея HOLOEXPO*

Экскурсия



HOLOEXPO
science & practice

Подать доклад и зарегистрироваться → www.holoexpo.ru

ние фокусного расстояния объектива может составлять величину порядка $F_{об}=8$ мм.

Угол поля зрения видеокамер в горизонтальной плоскости составляет 92° . Разрешающая способность канала, оценка которой также проведена по короткой стороне кадра (4096 пикселей), которая занимает угол $\sim 92^\circ$, составляет $\sim 0,37$ тысяч в малых делениях угломера или 0,37 м на дистанции 1 км. Для обеспечения такого углового разрешения достаточно применения объектива с фокусным расстоянием не менее величины порядка $F_{об}=6,5$ мм.

Разрешающая способность при 4-х телевизионных каналах дает наиболее высокие показатели панорамного прибора, что позволяет не только осуществлять ориентировку на местности и оценку угроз в средней и дальней области дистанций, но и применить методы электронного увеличения с программной обработкой изображения, обеспечивающие рабочие дальности более 1 км по маломерным БПЛА и до нескольких километров по наземным целям. Вывод информации может осуществляться отработанными решениями на монитор, связанный с видеокамерами кругового обзора, на который выводится картинка с 4-х видеокамер (аналогично рис. 9, нижнее фото).

Конструктивное решение панорамного прибора также предусматривает установку детекторов лазерного излучения в верхней части корпуса (рис. 15).

Детекторы лазерного излучения должны быть согласованы с телевизионными каналами по направлению, а для зенитной области установлен дополнительный детектор. При облучении с любого направления средствами наведения противника с квантовыми приборами дальнометрирования или подсветки панорамный прибор регистрирует факт облучения объекта, определяет тип излучателя (дальномер или подсветчик) и координаты источника излучения и выдает информацию, на основании которой как вариант запускается один из режимов управления системой противодействия.

Особенностью варианта конструкции 4-х канальной панорамы является оптимальное сочетание полей зрения по вертикали и по горизонту, позволяющее реализовать высокоразрешающий круговой обзор с верхней полусферой без «мертвых» зон при наблюдении. При необходимости панорама может устанавливаться на выдвижной или фиксированной штанге, высота которой определяется конкретным типом машины. Вариант панорамы прост и технологичен, предназначен для

the title of each channel by 45° to the horizontal plane (Fig. 14).

It should be noted that the up-to-date optical solutions can also provide a single-channel option, similar to the panoramic option with an ultra-wide-angle lens. For example, in 2014 Theia Technologies introduced an option of the Theia SY185F lens with a field of view of up to 190° , designed for the use with single-matrix photodetectors up to 20 megapixels [9]. The lens is capable of using a pixel size of 1.2 microns and applies the aspherical optical elements made of glass with an extra low light dispersion degree (ELD-glass). The non-uniformity of optical properties typical for the ultra-wide-angle lenses is demonstrated by the new product in the fact that its optical resolution in the central zone is 400 lines/mm, and in the case of deviation by 85° – 200 lines/mm.

However, the 4-channel option provides much greater resolution of the panoramic device, and, consequently, the greater detection ranges.

In the new panoramic device design, the TV panorama lens should have a field of view of $\sim 136^\circ$ that allows to increase the focal length of the lens and minimize distortion by using fairly typical circuit optical solutions when making the lens design. The relations between the parameters of such lenses can be determined not by the classical formula [3]:

$$y' = F_{lens} \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (4)$$

by, for example, by the following formula:

$$y' = F_{lens} \cdot \sin \frac{\beta}{2},$$

where: y' is a half of the linear field of view along the diagonal;

F_{lens} is the focal length of the lens;

β is the angular diagonal field of view of the lens.

With a linear diagonal field of view equal to 15.2 mm (see the details in Table 2), and in the case of an angular diagonal field of view equal to $\beta=136^\circ$, the lens focal length value can be about $F_{lens}=8$ mm.

The field angle of video cameras in the horizontal plane is 92° . The channel resolution that has also been assessed along the short frame side (4096 pixels) having an angle of $\sim 92^\circ$, is ~ 0.37 thousandths in small divisions of the goniometer or 0.37 m at a distance of 1 km. To ensure such an angular resolution, it is sufficient to use a lens with a focal length of at least $F_{lens}=6.5$ mm.

The resolution of 4 television channels provides the highest performance of a panoramic device that

NMF

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЙ
ФОРУМ

2023

#ТЕХНОЛОГИЧНЫЙ #МЕЖДУНАРОДНЫЙ #ИННОВАЦИОННЫЙ #ДОСТУПНЫЙ

#НЕ ТАКОЙ КАК ВСЕ – **ЛУЧШЕ!**

#ПОНЯТНЫЙ #СОВРЕМЕННЫЙ

УБЕДИТЕСЬ В ЭТОМ ЛИЧНО!



23-25.05.2023

Москва, «Крокус Экспо»

Абсолютно новое мероприятие в
станкоинструментальной отрасли

Обширная выставочная экспозиция
Российские и зарубежные производители
и поставщики металлообрабатывающего
оборудования, инструмента, программного
обеспечения, средств измерения
и комплектующих



16 000 за кв.м.

Насыщенная деловая программа

Тематические конференции / Круглые столы / Панельные дискуссии -
в числе спикеров только ТОП-эксперты в сфере металлообработки

Регистрация:

Премия лучшим спикерам

Биржа деловых контактов

www.nmf-expo.ru

При поддержке:



КРОКУС ЭКСПО

Международный выставочный центр





реализации в условиях серийного производства, характеризуется простотой установки на любом типе транспортного средства, удобством в эксплуатации и позволяет решать задачи мгновенного обзора с предоставлением информации в формате, привычном для оператора.

Таким образом, показано, как разные варианты исполнения панорамных приборов позволяют вести наблюдения верхней полусферы без «мертвых» зон при применении 4-х телевизионных каналов и решить задачу обнаружения и противодействия БПЛА в зенитной области.

REFERENCES

1. **Solomatin V. A.** Panoramic video camera. *Photonics Russia*. 2009;4: 26–28. (In Russ)
Соломатин В. А. Панорамная видеокамера. *Фотоника*. 2009;4: 26–28.
2. **Medvedev A. V., Grinkevich A. V., Knyazeva S. N.** *Perspektivnye napravleniya razvitiya v optiko-elektronnoy tekhnike i tekhnike nochnogo videniya, part 3.* – Rostov: OAO «Rostovskij optiko-mekhanicheskij zavod», OAO «Yaroslavskij poligrafkombinat». 2012. (In Russ)
Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н. *Перспективные направления развития в оптико-электронной технике и технике ночного видения, часть 3.* – Ростов: ОАО «Ростовский оптико-механический завод», ОАО «Ярославский полиграфкомбинат», 2012.
3. **Sakin I. L.** *Inzhenernaya optika.* – L.: Mashinostroenie. 1976. 288 pp. (In Russ)
Сакин И. Л. *Инженерная оптика.* – Л.: Машиностроение. 1976. 288 стр.
4. **Begunov B. N., Zakaznov N. P., Kiryushin S. I., Kuzichev V. I.** *Teoriya opticheskikh sistem.* – M., Mashinostroenie. 1981. 432 pp. (In Russ)
Б. Н. Бегунов, Н. П. Заказнов, С. И. Кирушин, В. И. Кузичев. *Теория оптических систем.* – М.: Машиностроение. 1981. 432 стр.
5. **Smelkov V. M.** K вопросу postroeniya televizionnoy kamery dlya panoramnogo nablyudeniya. *Spektexnika i svyaz'*. 2008;1. (In Russ)
Смелков В. М. К вопросу построения телевизионной камеры для панорамного наблюдения. *Спецтехника и связь*. 2008; № 1.
6. **Makareckij E., Ovchinnikov A., Hoa F. CH. D.** Polusfericheskie kamery prikladnykh televizionnykh sistem: Poluchenie i preobrazovanie polusfericheskikh izobrazhenij. *Komponenty i tekhnologii*. 2010;9: 30–32. (In Russ)
Макарецкий Е., Овчинников А., Хоа Ф. Ч. Д. Полусферические камеры прикладных телевизионных систем: Получение и преобразование полусферических изображений. *Компоненты и технологии*. 2010; 9: 30–32.
7. **Medvedev A. V., Grinkevich A. V., Knyazeva S. N.** *Praktika konstruktora optiko-elektronnoy tekhniki, part 5.* – Rostov: OAO «Rostovskij optiko-mekhanicheskij zavod». 2015. (In Russ)
Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н. *Практика конструктора оптико-электронной техники, часть 5.* – Ростов: ОАО «Ростовский оптико-механический завод». 2015.
8. **Prudnikov N. V., Shlishevskij V. B.** Panoramnye optiko-elektronnye ustrojstva krugovogo i sektornogo. *Vestnik SGUGiT*. 2016; 1 (33). (In Russ)
Прудников Н. В., Шлишевский В. Б. Панорамные оптико-электронные устройства кругового и секторного обзора. *Вестник СГУГиТ*. 2016; 1 (33).
9. URL: <http://www.secnews.ru/foreign/20637.htm#ixzz3GDWNfAkj>.

АВТОРЫ

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

allows not only the ground navigation and threat assessment at the middle and far distances, but also the use of electronic magnification methods with the software image processing, providing operating ranges of more than 1 km for the small UAVs and up to several kilometers for the ground targets. The data output can be performed by the proven solutions to the display connected to the all-around video cameras that demonstrates the view of 4 video cameras (similar to Fig. 9, bottom photo).

Moreover, the design solution of the panoramic device provides for the installation of laser detectors in the upper part of the housing (Fig. 15).

The laser detectors must be coordinated with the TV channels in direction, and an additional detector is installed for the anti-aircraft region. When irradiated from any direction by the enemy guidance devices with the quantum ranging or illumination tools, the panoramic device records the fact of object irradiation, determines the type of emitter (distance gauge or illuminator) and the radiation source coordinates, and provides information on the basis of which one of the counteraction system control modes is launched as an option.

A feature of the 4-channel panoramic design option is the optimal combination of vertical and horizontal fields of view that makes it possible to implement a high-resolution all-around viewing with an upper hemisphere without any dead areas during the observation process. If necessary, the panoramic device can be installed on a telescopic or fixed arm, the height of which is determined by the specific vehicle type. The panoramic option is simple and technologically advanced, designed for implementation in the batch production conditions, characterized by the ease of installation on any type of vehicle, ease of use, and allows to solve issues of instant review with the data provision in a format well-known to the operator.

Thus, it is shown how various options of the panoramic devices make it possible to observe the upper hemisphere without any dead areas when using 4 television channels and solve the problem of UAV detection and countering in the anti-aircraft area.

AUTHORS

Medvedev Alexander Vladimirovich, General Designer, Rostov Optical and Mechanical Plant OJSC (ROMZ OJSC), Rostov Veliky, Yaroslavl Region, Russia.
Grinkevich Alexander Vasilievich, ZAO "EVS", Moscow, Russia.
Knyazeva Svetlana Nikolaeвна, Design Engineer, Design Bureau of OJSC "Rostov Optical and Mechanical Plant, (OJSC "ROMZ"), Rostov the Great, Yaroslavl Region, Russia.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

22-26 | 05 | 2023

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



23-я международная
специализированная
выставка

МЕТАЛЛОБРАБОТКА

«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.metobr-expo.ru

12+ Реклама

ЭКСПОЦЕНТР



ОПТИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И СЕНСОРИКА

ПФИЦ УрО РАН
объявляет о проведении
международной конференции
с 24 по 26 мая 2023 года

Optical Reflectometry, Metrology & Sensing – это международная конференция, целью которой является обсуждение последних фундаментальных достижений и прикладных разработок в области волоконной оптики и смежных областей: распределенные волоконно-оптические датчики; методы их зондирования импульсными, непрерывными и сложными сигналами; методы регистрации и обработки сигналов обратного рассеяния; особенности применения систем рефлектометрии в областях науки и техники, их использование для высокоточной метрологии оптических волокон и кабелей; мониторинг волоконно-оптических линий связи; теоретические аспекты и моделирование обратного рассеяния с учетом нелинейных эффектов в оптическом волокне; квазираспределенные и другие датчики и их применение в био- и агробиофотонике. Конференция проводится Пермским федеральным исследовательским центром УрО РАН (Пермь) и Центром НТИ Фотоника при ПГНИУ (г. Пермь).

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- распределенные волоконно-оптические датчики;
- методы их зондирования импульсными, непрерывными и сложными сигналами;
- методы регистрации и обработки сигналов обратного рассеяния;
- особенности применения систем рефлектометрии в областях науки и техники, их использование для высокоточной метрологии оптических волокон и кабелей;
- мониторинг волоконно-оптических линий связи;
- теоретические аспекты и моделирование обратного рассеяния с учетом нелинейных эффектов в оптическом волокне;
- квазираспределенные и другие датчики и их применение в био- и агробиофотонике.

Сайт конференции: <https://or-2023.permsc.ru>
Группа в Вконтакте: <https://vk.com/opicalreflectometry>
Информация на «ResearchGate»: www.researchgate.net/project/Optical-Reflectometry-Metrology-and-Sensing-2023

По возникающим вопросам можно обращаться к ученому секретарю конференции Константинову Юрию Александровичу по адресу or-2023@permsc.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphaera.ru

ЭЛЕКТРОНИКА НАУКА
ТЕХНОЛОГИЯ
БИЗНЕС

Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru

www.photonics.su  научно-технический журнал

ФОТОНИКА

Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.su

Аналитика www.j-analytics.ru
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

Отраслевой научно-технический журнал

СТАНКОИНСТРУМЕНТ
НАУКА | ПРОЕКТИРОВАНИЕ | ПРОИЗВОДСТВО

Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.su

NANOINDUSTRY
НАНОИНДУСТРИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.su

LAST MILE ПЕРВАЯ
МИЛЯ

Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.su