



Особенности приборов солнечно-слепого УФ-диапазона спектра

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

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

² ЗАО «ЭВС», Москва, Россия

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

В статье рассмотрен особый класс оптико-электронных приборов, имеющих рабочий спектральный диапазон от 0,25 до 0,3 мкм, получивший название солнечно-слепой ультрафиолет, так как солнечное излучение указанных длин волн практически не достигает земной поверхности. Этот класс приборов функционируют даже в условиях работы против Солнца, что недоступно никакой другой системе. В статье, наряду с особенностями приборов солнечно-слепого УФ-диапазона, приведены варианты приборов для различных сфер применения.

Ключевые слова: солнечно-слепой, УФ-диапазон, УФ-пеленгатор, УФ-системы наведения, датчик вспышки

Статья поступила в редакцию: 14.08.2021

Статья принята к публикации: 10.09.2021

Атмосфера Земли в стратосфере на высоте 25–30 км имеет полосу поглощения озона в области ультрафиолетового (УФ) спектра 0,25–0,3 мкм. Поэтому УФ-излучение Солнца не доходит до поверхности Земли, образуя в низких слоях атмосферы, а именно в тропосфере, так называемую «солнечно-слепую» зону. В этой зоне солнечное излучение указанных длин волн практически не достигает земной поверхности, а прозрачность оптических трасс отличается от нулевой.

Оптико-электронные системы, имеющие солнечно-слепой УФ-рабочий спектральный диапазон, функционируют даже в условиях работы

Specific Features of Solar Blind UV-Range Devices

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

¹ ROMZ OJSC, Rostov, Yaroslavl region, Russia

² EVS CJSC, Moscow, Russia

³ EDB ROMZ OJSC, Rostov, Yaroslavl region, Russia

This article reviews a specific variety of optico-electronic devices operating in the spectral range from 0,25 to 0,3 μm , which is commonly referred to as Solar Blind Ultra Violet (SBUV) spectral range as the solar radiation of the said wavelengths does not virtually reach the earth surface. The devices of this category are operable even in the viewing conditions “against the sun”, which is not possible with any other system. Apart from special features of the SBUV devices, their designs for various areas of application are reviewed.

Keywords: Solar Blind, UV range, UV direction finder, UV targeting systems, flash sensor

Received on: 14.08.2021

Accepted on: 10.09.2021

The Earth’s atmosphere in the stratosphere at an altitude of 25–30 km has an ozone absorption band in the ultraviolet (UV) spectrum of 0.25–0.3 μm . Therefore, UV radiation from the Sun does not reach the Earth’s surface, forming in the lower atmosphere, namely in the troposphere, the so-called “solar blind” zone. In this zone, the solar radiation of the indicated wavelengths practically does not reach the earth’s surface, and the transparency of the optical paths differs from zero.

Optoelectronic systems, which have a solar blind UV working spectral range, function even when they work “against the sun”, which is inaccessible to any other system. For example, in optical-electronic systems of the visible and infrared (IR) spectral ranges, when working “against the sun”, intense solar radiation hits the photosensitive area of the photodetector and creates strong interference or disables the entire device.

Let’s consider the features of solar blind UV devices for different applications.

против Солнца, что недоступно никакой другой системе [1]. Например, в оптико-электронных системах видимого и инфракрасного (ИК) спектральных диапазонов при работе против Солнца интенсивное солнечное излучение попадает на светочувствительную область фотоприемного устройства и создает сильные помехи или же выводит из строя весь прибор [2, 3].

Рассмотрим особенности приборов солнечного-слепого УФ-диапазона для разных применений.

1. УФ-ПЕЛЕНГАТОРЫ

Наиболее широкое применение приборы солнечного-слепого УФ-спектра в виде УФ-пеленгаторов нашли в системах противодействия террористическим атакам в составе комплексов бортовой обороны не только военных, но и гражданских авиабортот [4].

С их помощью экипажи могут получать предупреждения о приближении ракет по обнаружению следов их ракетных двигателей. Обеспечивая скорости от 600 до 1400 м/с, двигатели ракет выбрасывают

1. UV DIRECTION FINDERS

Devices of the solar blind UV spectrum in the form of UV direction finders have found the most widespread use in the systems of countering terrorist attacks as part of the airborne defense systems of not only military, but also civilian aircraft [1].

With their help, crews can receive warnings about the approach of missiles by detecting traces of their rocket engines. Providing speeds from 600 to 1400 m/s, rocket engines emit a jet of exhaust gases heated to high temperatures, which are high-temperature sources that ionize the air to form UV radiation.

One of the variants of the UV direction finder was developed at the ROMZ PJSC enterprise. The design solution with the traditional placement of functional units in a single body is shown in Fig. 1.

The device contains a narrow-band light filter, a UV lens, an UFK-2 UV radiation sensor, additional sensors, which include a GPS/GLONASS receiver, a compass, an altimeter, and electronic units for processing and issuing signal information.

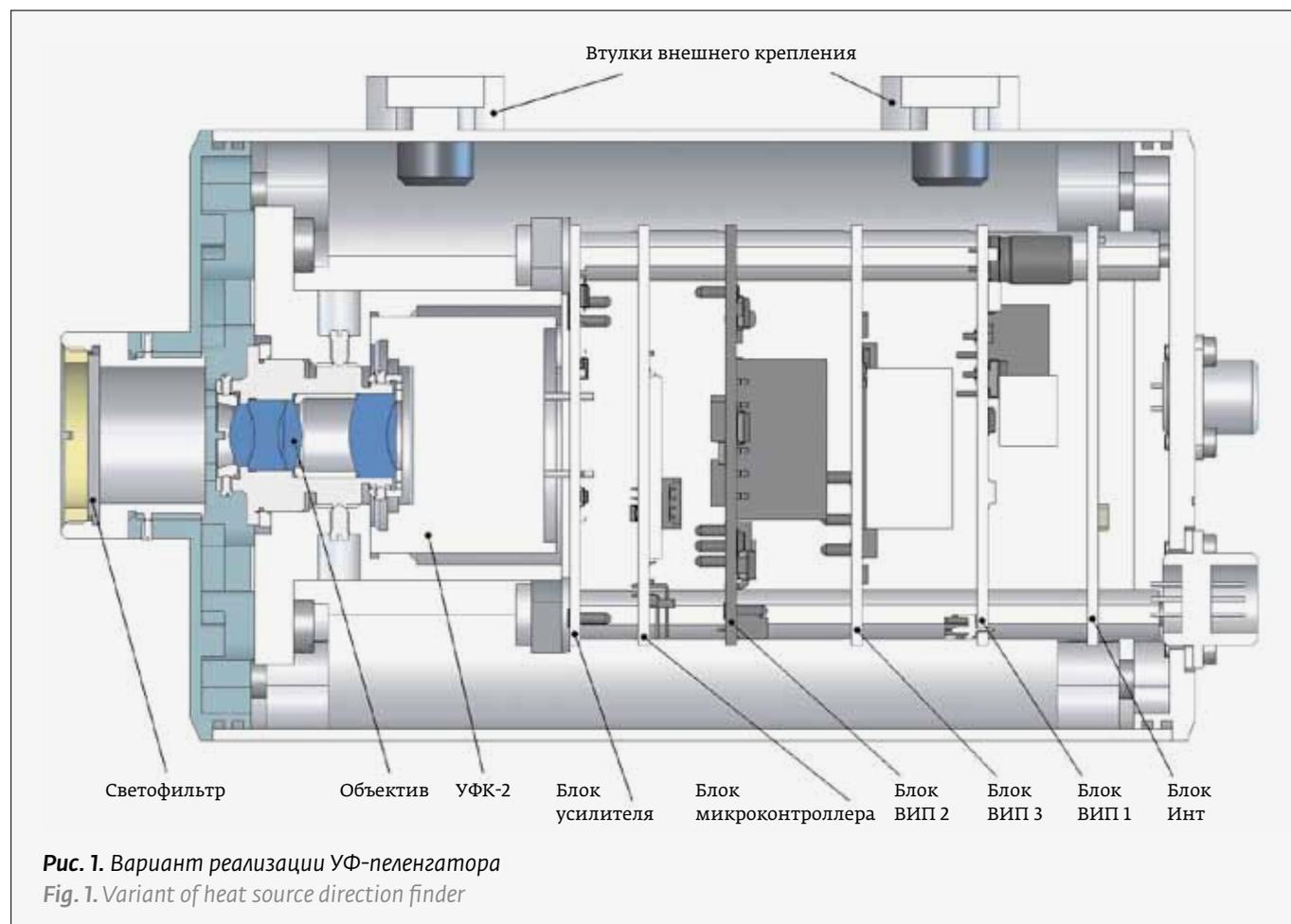


Рис. 1. Вариант реализации УФ-пеленгатора
Fig. 1. Variant of heat source direction finder



струю выхлопных газов, разогретых до высоких температур, которые представляют собой высокотемпературные источники, ионизирующие воздух с образованием излучения УФ-спектра [5].

Один из вариантов УФ-пеленгатора разработан на предприятии ПАО «РОМЗ». Конструктивное решение с традиционным размещением функциональных узлов в едином корпусе представлено на рис. 1.

Прибор содержит узкополосный светофильтр, УФ-объектив, датчик УФ-излучения УФК-2, дополнительные датчики, к которым относятся приемник GPS/ГЛОНАСС, компас, альтиметр (высотомер) и электронные блоки для обработки и выдачи сигнальной информации.

При такой комплектации УФ-пеленгатор в составе бортового комплекса обеспечивает измерение трехмерных координат источников УФ-излучения, а именно: определение широты, долготы и высоты над поверхностью Земли.

Датчик УФ-излучения представляет собой фотоэлектронный умножитель отечественного производства УФК-2, преобразующий электромагнитное излучение оптического диапазона с длинами волн от 210 до 350 нм в электрический сигнал. Он имеет полупрозрачный фотокатод на основе гетероэпитаксиальных наноструктур соединений GaN/AlN, выращенных на подложке из сапфира, систему умножения, состоящую из двух микроканальных пластин, и четырехсекторный анод с четырьмя отдельными выводами, который позволяет определить центр электронной лавины, формируемой двумя микроканальными пластинами даже в случае попадания на фотокатод всего одного фотона. Именно центр лавины считается координатой попадания фотона на фотокатод.

Координату определяют по соотношению напряжений, эквивалентных зарядам на каждом аноде, согласно следующим формулам:

$$X = (U_1 + U_4 - U_2 - U_3) / (U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_{\text{фэ}}),$$

$$Y = (U_1 + U_2 - U_3 - U_4) / (U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_{\text{фэ}}),$$

где: U_i – напряжения, снимаемые с i -го квадранта коллектора.

Функциональная схема варианта УФ-пеленгатора представлена на рис. 2. Функционирование системы происходит следующим образом. Токовые сигналы с анодов УФК-2 подаются на трансимпедансные усилители, преобразующие ток в напряжение. С выходов усилителей сигналы поступают на дифференциальные усилители, формирующие

In this configuration, the UV direction finder as part of the onboard complex measures the three-dimensional coordinates of UV radiation sources, namely: determination of latitude, longitude and altitude above the Earth's surface.

The UV radiation sensor is a domestically produced photomultiplier UFK-2, which converts electromagnetic radiation in the optical range with wavelengths from 210 to 350 nm into an electrical signal. It has a semitransparent photocathode based on heteroepitaxial nanostructures of GaN/AlN compounds grown on a sapphire substrate, a multiplication system consisting of two microchannel plates, and a four-sector anode with four separate leads, which makes it possible to determine the center of an electron avalanche formed by two microchannel plates even in the case of only one photon hits the photocathode. It is the center of the avalanche that is considered the coordinate of the photon hitting the photocathode.

The coordinate is determined by the ratio of voltages equivalent to charges at each anode, according to the following formulas:

$$X = (U_1 + U_4 - U_2 - U_3) / (U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_{\text{фэ}}),$$

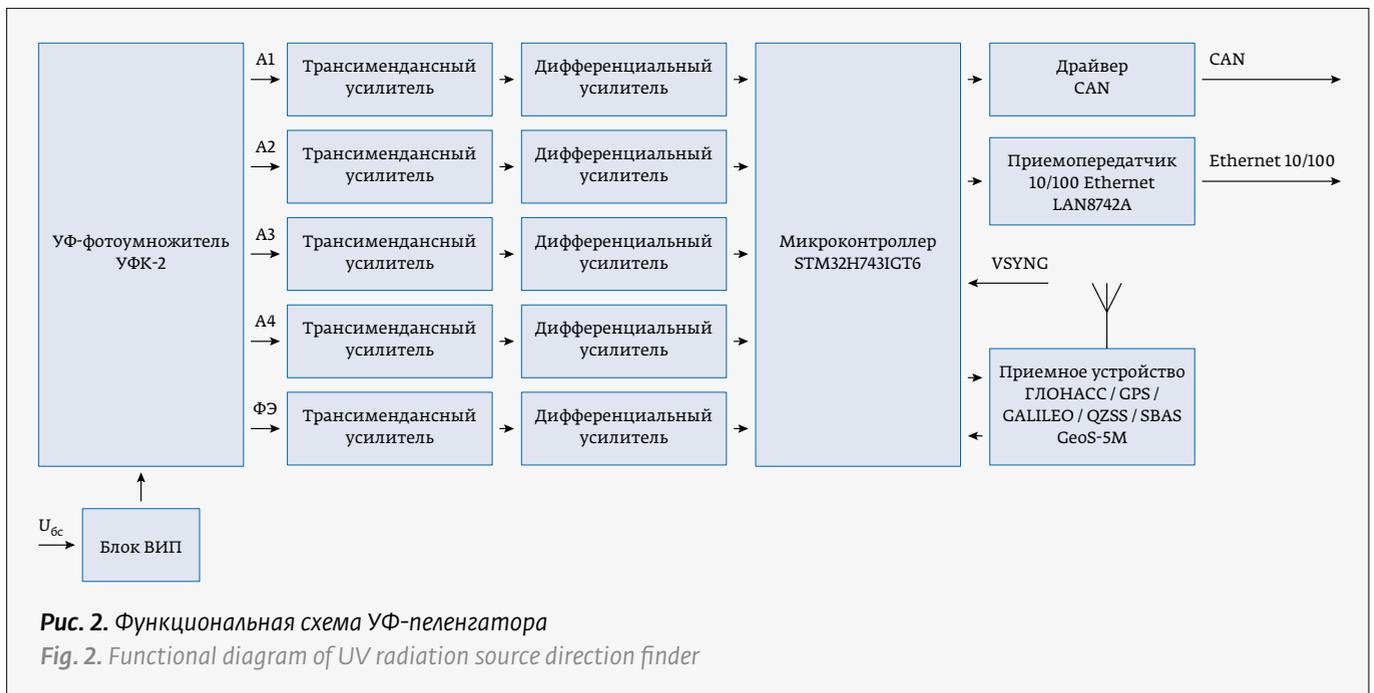
$$Y = (U_1 + U_2 - U_3 - U_4) / (U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_{\text{фэ}}),$$

where: U_i are the voltages taken from the i -th quadrant of the collector.

The functional diagram of the UV direction finder option is shown in Fig. 2. The functioning of the system is as follows. Current signals from the UFK-2 anodes are fed to transimpedance amplifiers that convert current into voltage. From the outputs of the amplifiers, the signals are fed to differential amplifiers that generate parapsignals necessary to match the levels of three differential analog-to-digital converters (ADC) of the STM32H743IGT6 microcontroller with multiplexing of the input analog channels. The use of differential channels of a 16-bit ADC can reduce the conversion noise from the digital ground of the microcontroller.

In the 14-bit ADC mode, the maximum conversion frequency is 4 MHz, and when the input multiplex channels are allocated to three channels for each ADC, the maximum conversion frequency for all channels is 4/3 MHz.

Please note that the microcontroller has a maximum clock frequency of 480 MHz, which is sufficient to run software without an operating system (OS). For communication with external systems, two interfaces are used: CAN or Ethernet 10/100. The microcontroller is connected with the receiver of the



парафазные сигналы, необходимые для согласования с уровнями трех дифференциальных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) микроконтроллера STM32H743IGT6 с мультиплексированием входных аналоговых каналов. Использование дифференциальных каналов 16-ти разрядного АЦП позволяет уменьшить шум преобразования от цифровой земли микроконтроллера.

В режиме 14-ти разрядов АЦП максимальная частота преобразования равна 4 МГц, а при распределении входных мультиплексных каналов по три канала на каждый АЦП максимальная частота преобразования всех каналов составляет 4/3 МГц.

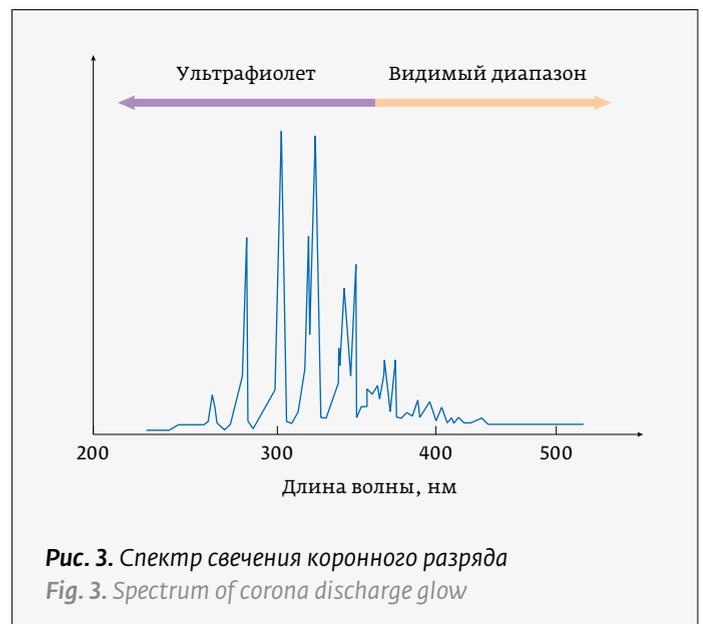
Следует обратить внимание, что микроконтроллер имеет максимальную тактовую частоту 480 МГц, достаточную для использования программного обеспечения без операционной системы (ОС). Для связи с внешними системами используются два интерфейса: CAN или Ethernet 10/100. Микроконтроллер с помощью двух последовательных интерфейсов USART (RS232) связан с приемником космической навигационной системы ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/QZSS/SBAS модулем GeoS-5M.

В гражданских применениях солнечно-слепой УФ-пеленгатор может быть эффективен в составе беспилотного комплекса, решающего задачи фиксации дефектных мест высоковольтных линий электропередач по возникновению коронных разрядов, спектр свечения которых показан на рис. 3.

GLONASS/GPS/GALILEO/QZSS/SBAS space navigation system by the GeoS-5M module using two serial USART (RS232) interfaces.

In civil applications, a solar blind UV direction finder can be effective as part of an unmanned complex that solves the problem of fixing defective places of high-voltage power lines upon the occurrence of corona discharges, the emission spectrum of which is shown in Fig. 3.

The calculation of the UV direction finder objective is based on the spectral characteristics of the corona



Расчет объектива УФ-пеленгатора основан на спектральной характеристике свечения коронного разряда, и окончательный вариант схемы реализован с применением следующей линейки материалов: фтористого кальция, кварцевого стекла и сапфира.

Узкополосный оптический УФ-фильтр блокирует спектр солнечного излучения и выделяет солнечно-слепой участок УФ-спектра с $\Delta\lambda=(0,24-0,28)$ мкм.

Основные технические характеристики УФ-пеленгатора:

- спектральный рабочий диапазон – от 240 до 280 нм;
- дальность обнаружения коронных разрядов – до 15 км;
- угол поля зрения – 30° ;
- точность определения угловых координат – не более $\pm 0,5^\circ$;
- точность определения трехмерных координат – не более $\pm 0,5$ м;
- интерфейс связи с ботовым компьютером – CAN, Ethernet 10/100;
- габаритные размеры – не более $120 \times 120 \times 250$ мм;
- напряжение питания – 22,2 В (или другое по выбору заказчика);
- ток потребления при напряжении питания 22,2 В – до 3 А;
- масса – не более 2 кг;
- диапазон рабочих температур – от -40 до $+55$ °С.

Четыреханодный умножитель УФК-2 обладает высокими параметрами. Так, усиление порядка 10^6 и более раз открывает широкие возможности для обнаружения слабых сигналов, а заявленная точность определения угловых координат $\pm 0,5^\circ$ является вполне достаточной для многих практических применений.

Для проведения специализированных измерений, требующих кардинального повышения точности определения координат, предприятие «Производственно-технический центр «УралАлмазИнвест» предложило новую, конструктивно упрощенную схему позиционно-чувствительного фотоприемника на основе алмаза, обладающую уменьшенными габаритными размерами.

На рис. 5 показана схема квадратного расположения контактов приемного элемента такого четырехконтактного позиционно-чувствительного фотоприемника с обозначением «привязки» координат его точек и пятна засветки. Приемник является полностью аналоговым прибором и мгновенно срабатывает на засветку. Разрешение прибора зависит от разрешения оптики и равномерности свой-

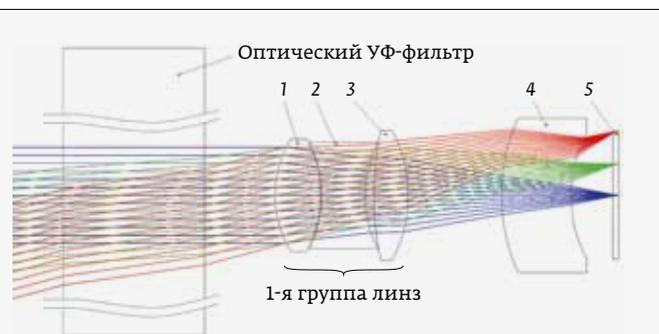


Рис. 4. Оптическая схема УФ-объектива

Fig.4. Optical arrangement of UV lens

discharge and the final version of the scheme is implemented using the following line of materials – calcium fluoride, quartz glass and sapphire.

A narrow-band optical UV filter blocks the solar radiation spectrum and emits a solar blind portion of the UV spectrum with $\Delta\lambda=(0.24-0.28)$ microns.

Main technical characteristics of UV direction finder:

- spectral working range is from 240 to 280 nm;
- detection range of corona discharges is up to 15 km;
- angle of view is 30° ;
- the accuracy of determining the angular coordinates is no more than $\pm 0,5^\circ$;
- accuracy of determination of three-dimensional coordinates is no more than ± 0.5 m;
- communication interface with the bot computer: CAN, Ethernet 10/100;
- overall dimensions is no more than $120 \times 120 \times 250$ mm;
- supply voltage is 22.2 V (or another one at the customer's choice);

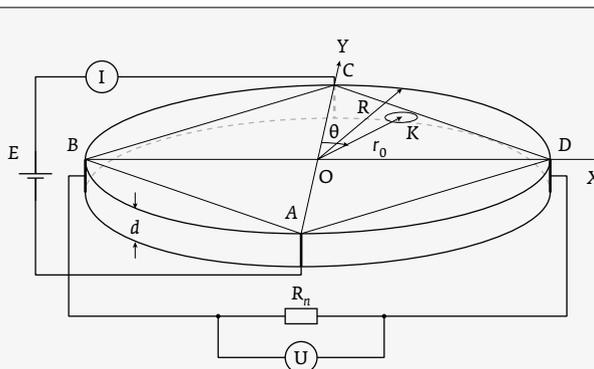


Рис. 5. Схема 4-х контактного фотоприемника

Fig.5. Layout of 4-contact photodetector



ств фоточувствительного материала по площади. Прием сигнала, его оцифровка и определение координат занимает минимальное количество времени и не требует больших вычислительных мощностей, так как в отличие от матрицы 1000×1000 элементов обрабатывается всего одна, заранее известная, единственно нужная точка изображения.

Характерной особенностью канала пеленгации с использованием ФЭУ является способность точного определения координат только одной опасной цели. При наличии нескольких целей их одновременное положение не определяется, а обработка сигнала становится невозможной.

В связи с этим безусловный интерес представляет разработка УФ-фотоприемника ЭОП архитектуры на основе новой конструкции твердотельного спектрального преобразователя УФ-изображения диапазона 20–270 нм в изображение диапазона (738 ± 10) нм и в видимое изображение, проведенная предприятиями НИУ МИЭТ и ООО «МЭЛЗ ФЭУ» (рис. 6).

На рис. 6а показана конструкция вакуумного эмиссионного приемника: 1 – вакуумно-плотный металл-керамический корпус, 2 – входное окно, выполненное на основе алмазной пластины, насыщенной с внешней стороны SiV центрами как минимум до толщин $\sim \alpha^{-1}$ (α – коэффициент поглощения света в рабочем спектральном диапазоне), 3 – фотокатод, чувствительный в спектральном диапазоне 730–740 нм и сформированный на тыльной стороне пластины алмазного входного окна, 4 – микроканальная пластина (МКП), 5 – катодолюминесцентный экран (КЛЭ), 6 – волоконно-оптическое стекло (ВОС).

На рис. 6б представлено фото УФ-фотокатод сетчатого типа на основе алмазной пленки, на рисунке 6с – фото УФ ЭОП в корпусе 2+ поколения с алмазным фотокатодом, на рисунке 6д – видимое изображение

- consumption current at a supply voltage of 22.2 V is up to 3 A;
- weight is no more than 2 kg;
- operating temperature range is from -40 to $+55$ °C.

The four-anode multiplier UFK-2 has high parameters. Thus, an amplification of the order of 10^6 and more times opens up wide opportunities for detecting weak signals, and the declared accuracy of determining the angular coordinates of $\pm 0.5^\circ$ is quite sufficient for many practical applications.

To carry out specialized measurements requiring a radical increase in the accuracy of determining the coordinates, the UralAlmazInvest Production and Technical Center proposed a new, structurally simplified scheme of a position-sensitive photodetector based on diamond, with smaller overall dimensions.

Fig. 5 shows a diagram of the square arrangement of the contacts of the receiving element of such a four-contact position-sensitive photodetector with the designation of the “binding” of the coordinates of its points and the illumination spot. The receiver is a fully analog device and instantly responds to ambient light. The resolution of the device depends on the resolution of the optics and the uniformity of the properties of the photo-sensitive material over the area. Receiving a signal, digitizing it and determining coordinates takes a minimum amount of time and does not require large computing power, since, unlike a matrix of 1000×1000 elements, only one, known in advance, the only needed image point is processed.

A characteristic feature of the direction-finding channel using a PMT is the ability to accurately determine the coordinates of only one dangerous target. If there are several targets, their simultaneous position is not determined, and signal processing becomes impossible.

In this regard, the development of a UV photodetector of an EOC architecture based on a new design

преобразованного УФ-излучения широкоапертурного пучка от источника ДДС-30 (0,18–0,28 мкм).

Изображение объекта проецируется на входное окно 2 и поглощается в объеме сенсорно-преобразовательного слоя входного окна (алмазная пленка с SiV-центрами на любом материале входного окна ЭОП, прозрачном для излучения 730–740 нм), где в плоскости алмазной пластины генерируются пропорционально освещенности неравновесные электроны и дырки. Последние, захватываясь SiV-центрами, излучательно рекомбинируют с рождением квантов света длиной волны ~738 нм. Их число пропорционально интенсивности распределения входного УФ-изображения в плоскости входного окна ЭОП. Результатом взаимодействия является прямое пропорциональное спектральное преобразование УФ-картины изображений в оптическое изображение на длине волны в 738 нм.

Полученное изображение объекта попадает на фотокатод 3, осажденный на тыльной стороне входного окна 2 и имеющий высокую квантовую эффективность с максимумом чувствительности в диапазоне 730–740 нм, который пропорционально преобразует его в двумерное изображение в фотоэлектронах. Фотоэлектроны двумерного изображения ускоряются полем, их энергия и число пропорционально преобразуются МКП 4 во вторичные электроны, затем вторичные электроны картины изображения ускоряются полем в каналах МКП, испытывая вторичные умножения их числа, и, выходя из каналов МКП, ускоряются и направляются на КЛЭ 5, преобразующий усиленную картину изображений во вторичных электронах в оптическое изображение в видимой части диапазона, выводимое из УФ ЭОП через ВОС 6.

Минимально разрешаемая величина такого УФ ЭОП может составлять доли микрона, а точность пеленгации с его помощью многократно возрастает. При этом становится возможным определение координат не одной, а множества опасных целей.

Принцип регистрации источника излучения в солнечно-слепом УФ-диапазоне можно оценить по характерным кадрам специальной видеосъемки (рис. 7).

На рисунке представлены результаты работы ТВ камеры, чувствительной к УФ- и видимой части спектра. Верхний снимок демонстрирует работу солнечно-слепого канала, не реагирующего на солнечное излучение, так как кадр получен в темноте, и наблюдается непосредственно только тот участок с коронным разрядом. На нижнем снимке выведено изображение того же самого участка при солнечной засветке. Учитывая, что ТВ камера вос-

of a solid-state spectral converter of a UV image in the range of 20–270 nm into an image of the range (738±10) nm and into a visible one, carried out by the Moscow Institute of Electronic Technology and MELZ FEU LLC, is of undoubted interest. (Fig. 6).

Fig. 6a shows the design of a vacuum emission detector: 1 – a vacuum-tight metal-ceramic body, 2 – an entrance window made on the basis of a diamond plate saturated from the outer side of the SiV with centers at least to a thickness of $-\alpha^{-1}$ (α is the light absorption coefficient in the working spectral range), 3 – photocathode, sensitive in the spectral range of ~730–740 nm and formed on the back side of the diamond entrance window plate, 4 – microchannel plate (MCP), 5 – cathodoluminescent screen (CLS), 6 – fiber-optic glass (FOG).

Fig. 6b shows a photo of a grid-type UV photocathode based on a diamond film, Fig. 6c shows a photo of a UV EOC in a 2+ generation housing with a diamond photocathode, and Figure 6d shows a visible image of converted UV radiation from a wide-aperture beam from a DDS-30 (0.18–0.28 μm).

The object image is projected onto the input window 2 and absorbed in the volume of the sensor-transforming layer of the input window (a diamond film with SiV centers on any material of the input window of the EOC, transparent for radiation of 730–740 nm), where nonequilibrium electrons are generated in the plane of the diamond plate in proportion to the illumination and holes. The latter, being captured by SiV centers, radiatively recombine with

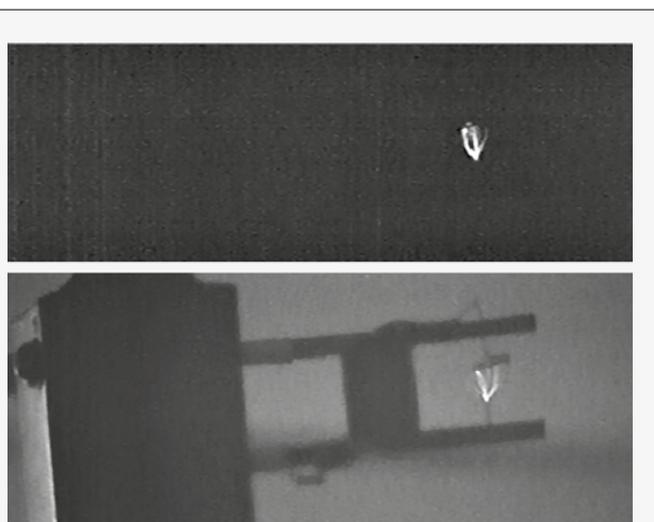


Рис. 7. Коронный разряд в темноте (вверху) и при солнечном свете (внизу)

Fig. 7. Corona discharge in the dark (at the top) and in bright sunlight (below)

принимает и видимый спектр, это дает представление еще и об окружающей обстановке в том виде, в котором она воспринимается при визуальном наблюдении.

Пеленгаторы, работающие в УФ-части спектра, значительно дешевле ИК-пеленгаторов, не требуют охлаждения и, как уже было сказано выше, менее подвержены действию помех от солнечного излучения, так как оно поглощается слоем озона в верхних слоях атмосферы (полоса Гартля).

Появление авиационных УФ-пеленгаторов привело разработчиков к мысли о возможности введения УФ-пеленгаторов атак в состав танковых комплексов защиты, и в 2000–2006 годах на Западе были предприняты попытки разработки таких приборов [7]. В процессе испытаний удавалось зарегистрировать импульс срабатывания стартового ускорителя противотанковых управляемых ракет (ПТУР) Milan, но не было устойчивого слежения за работой маршевого двигателя.

Это связано с тем, что, в отличие от авиационных ракет, ПТУР имеют скорости ~500 м/с, а состоящие на вооружении старые типы – менее 300 м/с. Их энергетика почти на порядок слабее, чем у зенитных и авиационных ракет. Пик излучения факела смещен в более длинноволновую область, к тому же присутствующее на срезе сопла УФ-излучение экранируется элементами корпуса летящей прямо на танк ракеты.

Регистрация только импульса старта недостаточно информативна, так как не позволяет определить направление полета ракеты и оценить степень угрозы. К тому же сложная помеховая обстановка наземного боя (пыль, дым, выстрелы, взрывы) снижает надежность применения пеленгатора и ведет к ложным срабатываниям. Результаты полевых испытаний, проведенных в Германии, показали недостаточность чувствительности и помехоустойчивости УФ-пеленгаторов. Испытатели пришли к выводу о целесообразности перехода к более устойчивым каналам сбора информации, например к радиолокационному каналу [8].

С 2007 года УФ-пеленгаторы из-за недостаточной эффективности не используются для оснащения серийных объектов бронетанковой техники и были исключены из предполагаемого состава перспективной германской БМП Puma.

Отечественные исследования также позволяют сделать вывод о том, что УФ-пеленгатор атаки не может быть основным датчиком в бортовом комплексе защиты наземной боевой машины, но полезен как дополнительный источник сбора информации, цена ложного срабатывания кото-

the production of light quanta with a wavelength of ~738 nm. Their number is proportional to the intensity of the distribution of the input UV image in the plane of the input window of the EOC. The result of the interaction is a direct proportional spectral transformation of the UV image pattern into an optical image at a wavelength of 738 nm.

The resulting image of the object falls on the photocathode 3, deposited on the back side of the entrance window 2 and having a high quantum efficiency with a maximum sensitivity in the range of 730–740 nm, which proportionally transforms it into a two-dimensional image in photoelectrons. Photoelectrons of a two-dimensional image are accelerated by the field, their energy and number are proportionally converted by MCP 4 into secondary electrons, then the secondary electrons of the image pattern are accelerated by the field in the MCP channels, experiencing secondary multiplication of their number, and, leaving the MCP channels, are accelerated and directed to the CLS 5, which converts an enhanced picture of images in secondary electrons into an optical image in the visible part of the range, output from the UV EOC through FOG 6.

The minimum resolved value of such a UV EOC can be fractions of a micron, and the direction finding accuracy with its help increases many times over. In this case, it becomes possible to determine the coordinates of not one, but many dangerous targets.

The principle of registration of a radiation source in the solar blind UV range can be estimated from the characteristic frames of special video filming (Fig. 7).

The figure shows the results of a TV camera that is sensitive to UV and visible parts of the spectrum. The upper image demonstrates the operation of the solar blind channel, which does not react to solar radiation, since the frame was taken in the dark and only that area with a corona discharge is directly observed. The lower image shows the image of the same area under sun exposure. Considering that the TV camera also perceives the visible spectrum, this also gives an idea of the environment in the form in which it is perceived during visual observation.

Direction finders operating in the UV part of the spectrum are much cheaper than infrared direction finders, do not require cooling and, as mentioned above, are less susceptible to interference from solar radiation, since it is absorbed by the ozone layer in the upper atmosphere (Gartley band).

The emergence of aviation UV direction finders led the developers to the idea of the possibility of introducing UV direction finders of attacks into the tank defense systems, and in 2000–2006, attempts were

рого невысока и может быть проверена другими устройствами [8].

2. УФ-СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ВООРУЖЕНИЯ

Особенности солнечно-слепого УФ-диапазона спектра открывают возможность модернизации комплексов ПТУР в части усовершенствования систем управления полетом ракет, использующих ИК-трассер для коррекции траектории полета.

Не секрет, что использование ИК-трассера подвержено помехам за счет отражений солнечного излучения от земной поверхности и наземных предметов. Их переизлучение становится причиной сбоя ИК-датчиков системы наведения. Однако при прямом наблюдении среза сопла двигателя летящего ПТУР со стороны оператора при отсутствии помех от Солнца можно эффективно использовать собственное УФ-излучение двигателя ПТУР в качестве трассера для управления полетом ракеты. Это упрощает конструктивное исполнение комплекса ПТУР, так как из состава ракеты полностью исключается ИК-трассер.

Требуемый узкий спектральный диапазон определяется, исходя из конструктивных особенностей двигателей используемых ракет, что обуславливает ряд общих признаков. Остановимся на некоторых из них.

Работа малогабаритного двигателя ориентации на топливной паре «метан-кислород» в видимом спектральном диапазоне представлена на рис. 8. Невооруженным глазом фронт пламени имеет сине-зеленый цвет свечения. Диаграмма спектра излучения факела пламени при сжигании газа изображена на рис. 9.

На графике явно выражен «всплеск» излучения в ультрафиолетовой области спектра, который приходится как раз в зоне солнечно-слепого диапазона 0,2–0,3 мкм. Именно его наиболее целесообразно использовать в системах коррекции направления полета ракет при наблюдении со стороны сопла двигателя.

Сомнение вызывает только дальность действия в солнечно-слепом УФ-диапазоне. Эта главная особенность УФ-диапазона была исследована поверхностно, а существующая инженерная методика расчета прозрачности атмосферы в диапазоне 0,22–14 мкм разрабатывалась ГОИ

made to develop such devices in the west. During the tests, it was possible to register the triggering impulse of the launching accelerator of the anti-tank guided missiles (ATGM) “Milan”, but there was no stable tracking of the propulsion engine.

This is due to the fact that, unlike aircraft missiles, ATGMs have speeds of ~500 m/s, and the older types in service are less than 300 m/s. Their energy is almost an order of magnitude weaker than that of anti-aircraft and aircraft missiles. The peak of the torch radiation is shifted to a longer wavelength region, moreover, the UV radiation present at the nozzle exit is screened by the elements of the body of the rocket flying directly to the tank.

Registration of only the launch impulse is not informative enough, since it does not allow determining the direction of the missile’s flight and assessing the degree of threat. In addition, the complex jamming environment of ground combat (dust, smoke, shots, explosions) reduces the reliability of the direction finder and leads to false alarms. The results of field tests carried out in Germany have shown the lack of sensitivity and noise immunity of UV direction finders. The testers came to the conclusion that it is advisable to switch to more stable channels for collecting information, for example, to a radar channel [2].

Since 2007, due to insufficient efficiency, UV direction finders have not been used to equip serial objects of armored vehicles and were excluded from the proposed composition of the promising German infantry fighting vehicle, Puma.

Domestic studies also allow us to conclude that the UV attack direction finder cannot be the main sensor in the on-board defense system of a ground combat vehicle, but it is useful as an additional source of information collection, the cost of false triggering of which is low and can be checked by other devices [3].

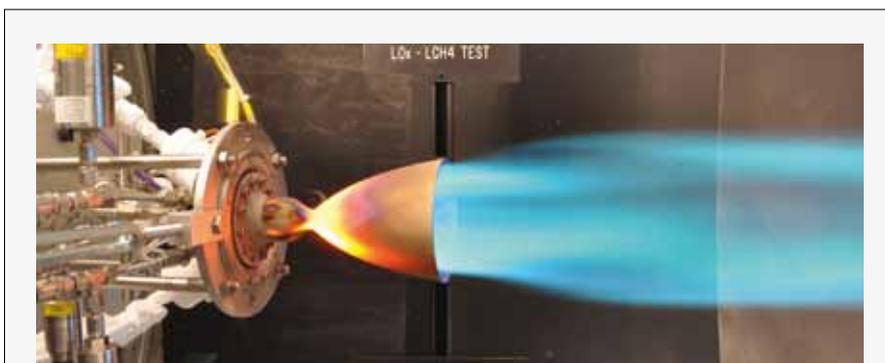


Рис. 8. Двигатель на топливной паре «метан-кислород», NASA
Fig.8. Methane and oxygen fuel engine, NASA

им. С. И. Вавилова в интересах обработки информационного тракта космического эшелона системы предупреждения о ракетном нападении, область ее применения распространялась на условия наблюдения из космоса [10], поэтому не требовала особой детализации условий наблюдения в приземном слое.

В 2008 году сотрудниками ГУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета проведены эксперименты по определению особенностей распространения УФ-излучения в горах, а также через облака, которые дали уникальные результаты. В облаках, на высоте 2 км, при дожде и снеге обнаружилось прохождение УФ-сигнала с дальности 1 км при метеорологической дальности видимости (МДВ) менее 80 м, при этом имелась возможность не только обеспечивать прием энергетических сигналов в УФ-диапазоне, но и находить с точностью до 1 градуса положение источника. Это подтверждает факт отсутствия существенного поглощения излучения УФ-диапазона на водяных парах и дает возможность говорить о ведении работ в данном спектральном диапазоне в условиях тумана и облачности на дальностях до нескольких км.

Такой дальности вполне достаточно для управления полетом ПТУР в наземной обстановке при отсутствии фонового излучения и, следовательно, при отсутствии мешающих отражений от земной

2. UV TARGETING SYSTEMS FOR GUIDED WEAPONS

The features of the solar blind UV range of the spectrum open up the possibility of modernizing ATGM systems in terms of improving missile flight control systems using an IR tracer to correct the flight trajectory.

It is no secret that the use of an IR tracer is susceptible to interference due to reflections of solar radiation from the earth's surface and terrestrial objects. Their re-radiation becomes the cause of failures of the IR sensors of the targeting system. However, with direct observation of the nozzle cut of the flying ATGM engine from the operator's side in the absence of interference from the Sun, it is possible to effectively use its own UV radiation from the ATGM engine as a tracer for controlling the rocket flight. This simplifies the design of the ATGM complex, since the IR tracer is completely excluded from the rocket.

The required narrow spectral range is determined based on the design features of the engines of the missiles used, which leads to a number of common features. Let's dwell on some of them.

The operation of a small-sized engine of orientation on a fuel pair "methane-oxygen" in the visible spectral range is shown in Fig. 8. With the naked eye, the flame front has a blue-green glow. The diagram of the emission spectrum of the flame during gas combustion is shown in Fig. 9.

The graph clearly shows a "burst" of radiation in the ultraviolet region of the spectrum, which occurs just in the zone of the solar blind range of 0.2÷0.3 microns. It is the most expedient to use in systems for correcting the direction of flight of missiles when observed from the side of the engine nozzle.

The range in the solar blind UV band calls in question. This main feature of the UV range was investigated superficially, and the existing engineering method for calculating the transparency of the atmosphere in the range 0.22-14 μm was developed by the S. I. Vavilov State Optical Institute, in the interests of working out the information path of the space echelon of the missile attack warning system, the scope of its application extended to the conditions of observation from space [4], therefore, it did not require special detailing of the observation conditions in the surface layer.

In 2008, the employees of the State Institution "High-Mountain Geophysical Institute" of Russian Meteorological Service conducted experiments to determine the characteristics of the propagation of UV radiation in the mountains, as well as through clouds, which gave unique results. In the clouds, at an altitude of 2 km, with rain and snow, a UV signal was detected

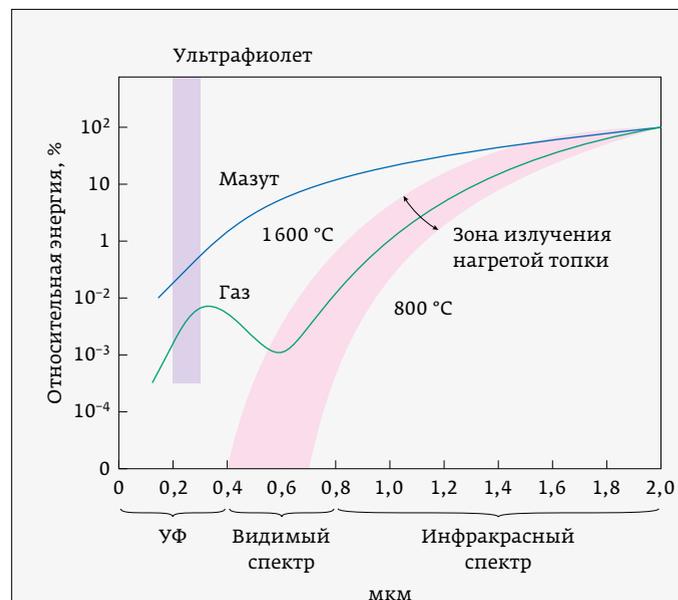


Рис. 9. Сжигание газа и мазута, спектры излучения факела пламени

Fig. 9. Burning of natural gas and black oil fuel, flame bush emission spectra



поверхности и наземных предметов, которые служат помехой ИК-датчикам и радиолокационным системам (РЛС).

3. УФ-СИСТЕМЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ПОДРЫВА СНАРЯДОВ

В последние годы большое значение придается работам над созданием высокоточных артиллерийских боеприпасов, обеспечивающих за короткое время поражение в тактической зоне (на глубину до 2-3 км) малоразмерных и укрытых целей. В основе работ использована технология дистанционного управления подрывом боеприпаса на заданной дальности и на определенной высоте над целью.

Среди первых разработчиков подобных снарядов была швейцарская компания Oerlikon Contraves AG, вошедшая в 2000 году в состав германского оружейного концерна Rheinmetall-DeTec AG. Этой компанией были созданы боеприпасы воздушного подрыва AHEAD (Advanced Hit Efficiency And Destruction – «повышенная эффективность попадания и разрушения»).

В ней наиболее ярко проявилось отличие западной конструкторской школы от российской, которое заключается в следующем: на дульном срезе западных орудий установлены специальные катушки, которые при вылете снаряда подают на него импульс со временем замедления на разрыв. Суть метода иллюстрируется рис. 10.

Процесс ввода данных о времени подрыва снаряда осуществляется по следующему алгоритму. Характеристики движения цели определяются лазерным дальномером и передаются в ЭВМ системы управления огнем (Fire Control Unit) для расчета дальности до цели. Данные о цели поступают в блок электроники установщика взрывателя (ABM Electronics), куда также передается измеренная дульная скорость снаряда. Дульная скорость определяется с помощью двух индукционных катушек, расположенных на расстоянии 10 см друг от друга. При прохождении первой катушки запускается таймер, при прохождении второй катушки таймер останавливается. Зная расстояние между катушками и время полета снаряда между ними, вычисляется фактическая скорость снаряда. Эти данные поступают в компьютер системы управления огнем. Он вычисляет время встречи снаряда с целью и с помощью программатора передает его на снаряд.

Программатор содержит третью катушку индуктивности, на которую подаются кодированные импульсы времени подрыва взрывателя.

from a distance of 1 km at a meteorological visibility range (MVR) of less than 80 m, while it was possible not only to ensure the reception of energy signals in the UV range, but also to find with an accuracy of 1 degree, the position of the source. This confirms the fact that there is no significant absorption of UV radiation by water vapor and makes it possible to talk about conducting work in this spectral range in conditions of fog and cloudiness at ranges of up to several km.

This range is quite enough to control the ATGM flight in a ground environment in the absence of background radiation and, therefore, in the absence of interfering reflections from the earth's surface and ground objects that interfere with IR sensors and radar systems.

3. UV SYSTEMS FOR THE IMPLEMENTATION OF REMOTE DETONATION OF PROJECTILES

In recent years, great importance has been attached to work on the creation of high-precision artillery ammunition, which ensures, in a short time, the defeat in the tactical zone (to a depth of 2-3 km) of small and sheltered targets. The work is based on the technology of remote control of the detonation of ammunition at a given range and at a certain height above the target.

Among the first developers of such projectiles was the Swiss company Oerlikon Contraves AG, which became part of the German arms concern Rheinmetall-DeTec AG in 2000. This company created AHEAD (Advanced Hit Efficiency And Destruction) air bursting ammunition.

Here, the difference between the Western design school and the Russian one was most clearly manifested, which is as follows. On the muzzle of the western guns, special coils are installed, which, when the projectile leaves, feeds it with an impulse with a time of deceleration to rupture. The essence of the method is illustrated in Fig. 10.

The process of entering data on the time of the projectile detonation is carried out according to the following algorithm. The characteristics of the target's movement are determined by a laser rangefinder and are transmitted to the computer of the fire control system (Fire Control Unit) for calculating the range to the target. Target data is sent to the fuse installer electronics unit (ABM Electronics), where the measured muzzle velocity of the projectile is also transmitted. Muzzle velocity is determined using two induction coils spaced 10 cm apart. When the first coil passes, the timer starts, when the second coil passes, the timer stops. Knowing the distance between the coils and the time

Для приема данных о времени подрыва в хвостовой части снаряда находится четвертая катушка – приемная. При дульной скорости снаряда около 1050 м/с весь процесс измерения дульной скорости, вычислений и программирования снаряда занимает менее 0,002 секунд, после чего данные с приемной катушки внутри снаряда передаются на программируемый электронный взрыватель, содержащий высокоточный электронный таймер.

Вид надульного устройства пушки МК 30-2/АВМ с датчиками-соленоидами начальной скорости и программатором взрывателей снарядов типа АВМ в составе комплекса вооружения БМП «Пума» первой серии (2015 год) представлен на фотографии (рис. 11).

Таким образом, западный подход к реализации дистанционного подрыва базируется на изменении конструкции основного вооружения и для его полноценного использования автоматическая пушка нуждается в доработках. Кроме того, датчики и кабель передачи данных располагаются снаружи и открыты для любого механического воздействия, что особенно критично при боестолкновениях или при прямом огневом контакте. Вопрос боевой живучести такой системы всегда остается открытым.

Задача, решаемая отечественными проектировщиками, имеет другую направленность и заключается в использовании артиллерийских

of flight of the projectile between them, the actual velocity of the projectile is calculated. This data is fed to the fire control computer. He calculates the time of the meeting of the projectile with the target and, using the programmer, transfers it to the projectile.

The programmer contains a third inductance coil, to which coded pulses of fuse detonation time are fed.

To receive data on the detonation time in the tail of the projectile, there is a fourth coil, a receiver. At a muzzle velocity of the projectile of about 1050 m/s, the entire process of measuring the muzzle velocity, calculating and programming the projectile takes less than 0.002 seconds, after which the data from the receiving coil inside the projectile is transmitted to a programmable electronic fuse containing a high-precision electronic timer.

A view of the muzzle device of the МК 30-2/АВМ cannon with initial velocity solenoid sensors and an АВМ-type projectile fuse programmer as part of the Puma BMP armament complex of the first series (2015) is shown in the photo fig. eleven.

Thus, the Western approach to the implementation of remote detonation is based on a change in the design of the main armament and for its full use, the automatic cannon needs improvements. Furthermore, the sensors and data transmission cable are located outside and are open to any mechanical impact, which is especially critical during combat or direct fire contact. The question of the combat survivability of such a system always remains open.

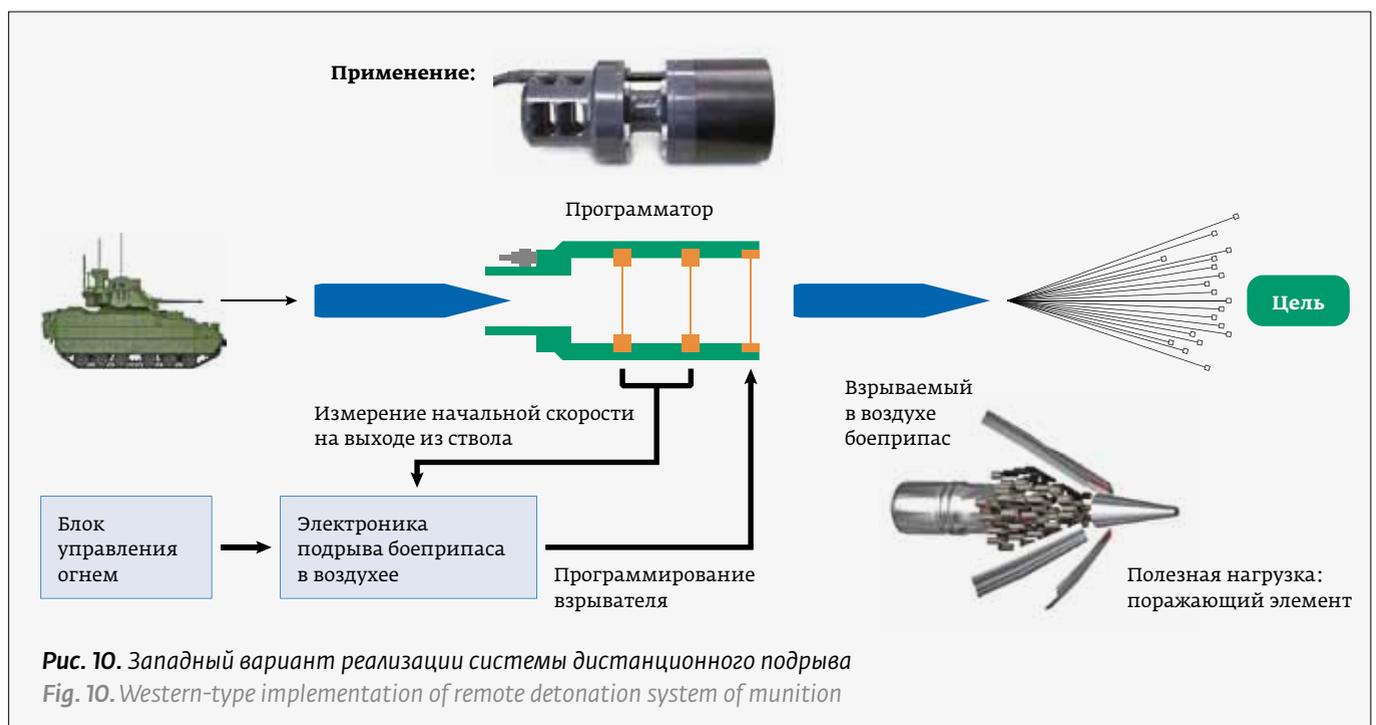




Рис. 11. Надульное устройство в составе комплекса вооружения БМП «Пума»
Fig. 11. Muzzle device as part of Puma IFV armament system

систем без изменения их конструкции, то есть все системы управления дистанционным подрывом должны быть встроены в оптико-электронные приборы и в снаряд с минимальными доработками серийных изделий.

Предприятием ПАО «РОМЗ» в качестве датчика выхода снаряда из ствола был предложен вариант фиксации пламени выстрела так называемым датчиком вспышки, встроенным в прицел. Пламя при выстреле образуется вследствие догорания на воздухе вылетающих из канала ствола горючих газов (окиси углерода, водорода, метана) и свечения раскаленных газов и твердых частиц [9]. Оно появляется на некотором расстоянии от дульного среза в передней части вырывающегося из канала ствола газового облака (рис. 12).

Горением пороха осуществляют метание снаряда в сторону наименьшего сопротивления, при этом возникает дульное свечение. Это красноватое свечение, которое видно до того, как снаряд покинет ствол. Свечение создается перегретыми газами, просочившимися мимо снаряда и с опережением вышедшими из ствола.

Вообще говоря, дульную вспышку можно разделить на пять отдельных компонентов. Первичная вспышка вызвана перегретыми пороховыми газами, выходящими из огнестрельного оружия за снарядом, которые излучают свою энергию в окружающую среду частично как видимый свет. Яркость первичной вспышки является самой высокой, однако ее тепло

The problem solved by domestic designers has a different focus and consists in using artillery systems without changing their design, that is, all remote bursting control systems must be built into optoelectronic devices and a projectile with minimal modifications to serial products.

ROMZ PJSC proposed the option of fixing the flame of the shot by the so-called flash sensor built into the sight as a sensor for the exit of the projectile from the barrel. When fired, the flame is formed due to the afterburning in air of combustible gases (carbon monoxide, hydrogen, methane) escaping from the barrel bore and the glow of incandescent gases and solid particles [5]. It appears at some distance from the muzzle in the front part of the gas cloud escaping from the bore (Fig. 12).

By burning gunpowder, the projectile is thrown in the direction of least resistance, while a muzzle glow occurs. This is reddish glow that is visible before the projectile leaves the barrel. The glow is created by superheated gases that seeped past the projectile and emerged from the barrel ahead of time.

Generally speaking, a muzzle flash can be divided into five distinct components. The primary flash is caused by superheated propellant gases escaping from the firearm behind the projectile, which emit their energy into the environment in part as visible light. The brightness of the primary flash is the highest, but its heat dissipates very quickly and therefore is usually not visible to the eye.

Intermediate flash is caused by the shock waves generated by the high velocity of the exiting gases and



Рис. 12. БМП-2. Пламя выстрела при стрельбе из изделия 2А42
Fig. 12. IFV-2. Blaze of flash when firing 2A42 item

рассеивается очень быстро, и поэтому она обычно малозаметна для глаза.

Промежуточная вспышка вызывается ударными волнами, создаваемыми высокой скоростью выходящих газов и снаряда, и проявляется в виде красноватого диска перед дульным срезом.

Вторичная вспышка появляется дальше всего от дульного среза в виде большого белого или желтого пламени и возникает в результате повторной вспышки воспламенения – окислительной реакции не полностью сгоревшего выброса при смешивании с обильным кислородом в окружающей атмосфере.

После рассеивания дульной вспышки частично несгоревший порох или другие нагретые материалы могут выбрасываться из дульного среза и проявляться в виде остаточных искр. Дульные вспышки создают отчетливую картину – подписи, которые могут быть обнаружены с помощью ИК-визуализации, так как здесь высоки температуры вспышек, горения и температуры взрыва, некоторые значения которых [10] для разных взрывчатых веществ (ВВ) приведены в табл. 1.

Для каждой температуры максимум излучения соответствует определенной длине волны, которая, согласно закону Вина, полученному дифференцированием закона Планка [11], возрастает с уменьшением температуры.

Используя закон смещения Вина: $\lambda_{\max} = 2898/T$ [мкм], где T – температура излучающего тела [K], и переведя значения температуры по Цельсию (T_C) в градусы Кельвина (T_K): $T_K = T_C + 273,16$, определим интервал длин волны с максимумом излучения для различных взрывчатых веществ. Например, для нитроцеллюлозного пороха с температурой вспышки ~ 200 °C и температурой горения ~ 2000 °C (см. табл. 1) интервал длин волны с максимумом излучения составит $\sim \Delta\lambda_{\max} \approx (1,2-6,1)$ мкм ($2898/2273,16$ и $2898/473,16$).

При таком спектральном диапазоне в качестве датчика вспышки можно использовать фотоприемник типа ФЭ723-3 производства НИИ «Гириконд», спектральный диапазон которого

the projectile and appears as a reddish disc in front of the muzzle.

A secondary flash appears farthest from the muzzle as a large white or yellow flame and results from a re-flash of ignition – an oxidative reaction of an incompletely burnt outburst when mixed with abundant oxygen in the surrounding atmosphere.

After the muzzle flash dissipates, partially unburned gunpowder or other heated materials may be ejected from the muzzle and appear as residual sparks. Muzzle flashes create a clear picture, signatures, that can be detected using infrared imaging, since there are high flash, combustion and explosion temperatures, some values of which [5] for different explosives are given in Table 1.

For each temperature, the maximum radiation corresponds to a certain wavelength, which, according to Wien's law, obtained by differentiating Planck's law [6], increases with decreasing temperature.

Using Wien's law of displacement: $\lambda_{\max} = 2898/T$ [μm], where T is the temperature of the emitting body [K], and converting the temperature values from Celsius (T_C) to degrees Kelvin (T_K): $T_K = T_C + 273.16$, we define

Таблица 1. Температуры вспышек, горения и взрыва для разных взрывчатых веществ

Table 1. Temperatures of flash, combustion and explosion for different explosives

Взрывчатое вещество Explosive	Температура вспышки, °C Flash temperature, °C	Температура горения, °C Combustion temperature, °C	Температура взрыва, K Explosion temperature, K
Азид свинца Lead azide	330–340	–	–
Гремучая ртуть Explosive mercury	175–180	–	–
Гексоген RDX	230	–	4000
Дымный порох Black powder	290–310	–	–
Нитроцеллюлозный порох Nitrocellulose gunpowder	180–200	2000–3500	–
Тетрил Tetryl	195–220	–	3800
Тротил TNT	290–295	–	3500
Тэн Penthrite	215	–	4600

* По данным: <https://slide-share.ru/brizantnie-vzrivchatie-veshchestva-263935>
According to: <https://slide-share.ru/brizantnie-vzrivchatie-veshchestva-263935>



охватывает наиболее эффективную часть излучения первичной вспышки. Параметры фотоприемника ФЭ723-3 приведены в табл. 2.

Существенным преимуществом является то, что в таком датчике выстрела, ввиду значительной апертуры приемника и небольшим рабочим дистанциям, не требуется дополнительной оптической системы. Таким образом, конструктивное исполнение прибора наблюдения-прицела для дистанционного подрыва снарядов может быть выполнено простой модернизацией серийных прицелов.

В качестве примера можно привести модернизацию штатного варианта серийного прицела боевой машины БТР-82А, состоящего из головной части и двух каналов: однократного оптического канала и многократного оптико-электронного канала [14].

Фотоприемник датчика вспышки выстрела целесообразно устанавливать в головной части прицела, поэтому в рассматриваемом варианте компоновки он расположен непосредственно под головным отражающим зеркалом, кинематически связанные с основным вооружением.

Датчик вспышки регистрирует поток ИК-излучения спектрального диапазона 2,6–4,3 мкм, появляющийся в момент первичной вспышки выстрела. Излучение от первичной вспышки проходит приборные защитные стекла, отражается от головного зеркала и фиксируется приемной площадкой фотоприемника 1, который формирует соответствующий электрический сигнал (рис. 13).

Прицел дополнительно оснащается двумя модулями: оптико-электронным модулем 2, 3 блока лазерного программатора-излучателя (ЛПИ) канала дистанционного управления временем подрыва снарядов (КДУ ВПС) и излучательным каналом импульсного лазерного дальности 4.

Каждый из каналов имеет собственное приемное устройство. Приемное устройство канала импульсного лазерного дальности встроено в один из оптических каналов прицела, а приемное устройство ЛПИ КДУ ВПС в виде самостоятельного узла размещено непосредственно на снаряде, разработанном на предприятии НПО «Прибор».

the interval wavelengths with maximum emission for various explosives. For example, for nitrocellulose gunpowder with a flash point of ~200 °C and a combustion temperature of ~2000 °C (see Table 1), the wavelength interval with a maximum radiation will be $\sim \Delta\lambda_{\max} \approx (1.2-6.1) \mu\text{m}$ (2898/2273.16 and 2898/473.16).

With such a spectral range, an FE723-3 type photodetector manufactured by the Girikond Research Institute can be used as a flash sensor, the spectral range of which covers the most effective part of the primary flash radiation. The parameters of the FE723-3 photodetector are given in Table 2.

A significant advantage is that in such a shot sensor, due to the large receiver aperture and short working distances, an additional optical system is not required. Thus, the design of the observation device-sight for remote detonation of projectiles can be performed by a simple modernization of serial sights.

As an example, we can cite the modernization of the standard version of the serial sight of the BTR-82A combat vehicle, consisting of a head part and two channels: a single optical channel and a multiple optoelectronic channel [7].

It is advisable to install the photodetector of the shot flash sensor in the head of the sight, therefore, in the considered variant of the layout, it is located directly under the head reflective mirror, kinematically connected with the main armament.

The flash sensor registers the flux of infrared radiation in the spectral range of 2.6–4.3 microns, which appears at the time of the primary flash of the shot.

Таблица 2. Параметры фотоприемника ФЭ723-3 (НИИ «Гириконд»)

Table 2. Parameters of the FE723-3 (Girikond Research Institute) photodetector

Параметр Parameter	Значение Value
Рабочий спектральный диапазон, мкм Operating spectral range, μm	2,6÷4,3
Длина волны максимума спектральной чувствительности, мкм Wavelength of the maximum spectral sensitivity, μm	3,2
Напряжение «холостого хода», мВ No-load voltage, mV	100
Фототок в режиме короткого замыкания, мкА Photocurrent in short circuit mode, μA	50
Сопротивление в «нулевой точке» ВАХ, кОм Resistance at the "zero point" of the VAC, kOhm	4
Время нарастания (спада) общего тока, мкс Rise (fall) time of the total current, μs	7
Размер чувствительного элемента, мм Sensing element size, mm	3×3

В тыльную часть снаряда встроено защитное оптическое окно из лейкосапфира с интерференционным фильтром для модуля фотоприемного дистанционно-управляемого взрывателя (ДУВ), которое обеспечивает необходимую помехозащищенность ДУВ.

Таким образом, в основе российского проекта лежат компоновочные решения, не повторяющие зарубежные.

В западном проекте вооружение объекта нуждается в установке новых систем управления и электромагнитного программатора. Монтаж последнего может быть связан с существенными трудностями компоновочного и конструктивного характера, в то время как отечественный проект предусматривает применение простой и дешевой лазерной системы управления, позволяющей обойтись минимальными переделками боевой машины.

Преимущества такой архитектуры очевидны. Она позволяет дать технике новые возможности с минимальными временными и материальными затратами. При этом следует отметить, что снаряд с дистанционным управлением существенно дешевле изделия с программируемым взрывателем западного типа.

В августе 2014 года на подмосковном полигоне ОАО «НПО «Прибор» были проведены первые натурные испытания в реальных условиях эксплуатации варианта прицела ТКН-4ГА-02 в составе макетного стенда с установкой 30-мм пушки [12].

Стрельбовые испытания на задаваемых дальностях подрыва снарядов в различных погодных условиях были признаны успешными, так как эффективность подрыва снарядов составила более 75%, что для первых опытных образцов прицела и снарядов является вполне удовлетворительным (рис. 14).

Безусловно, отечественная разработка явилась новым шагом в развитии технологий программирования воздушного подрыва.

The radiation from the primary flash passes through the instrument protective glasses, is reflected from the head mirror and is fixed by the receiving area of the photodetector 1, which forms the corresponding electrical signal (Fig. 13).

The sight is additionally equipped with two modules: an optoelectronic module 2, 3 of a laser programmer-emitter unit (LPE) of a channel for remote control of the projectile detonation time (CRC PDT) and an emitting channel of a pulsed laser rangefinder 4.

Each of the channels has its own receiver. The receiving device of the channel of the pulsed laser rangefinder is built into one of the optical channels

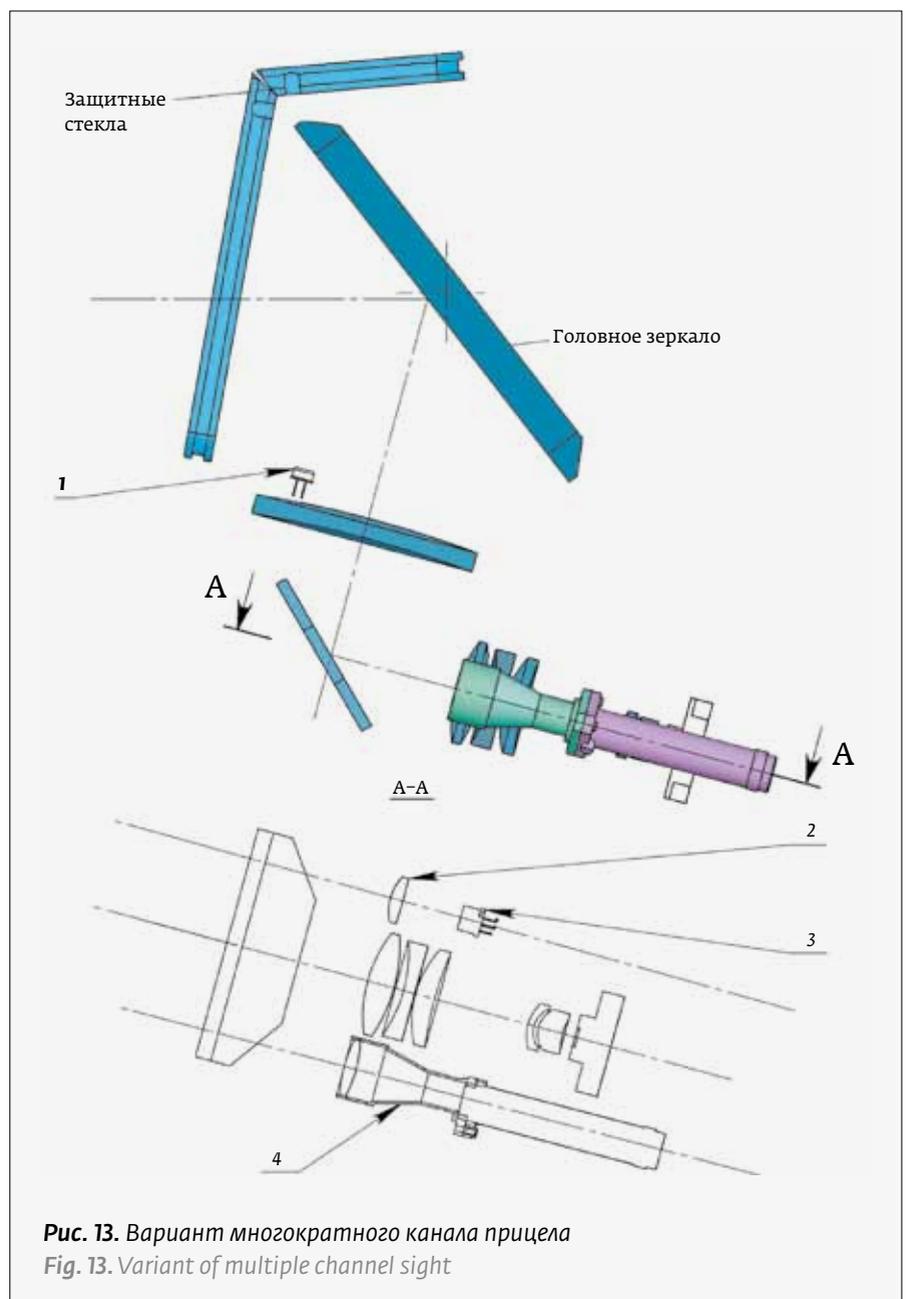


Рис. 13. Вариант многоканального прицела
Fig. 13. Variant of multiple channel sight

Баллистический вычислитель, выполненный с использованием микроконтроллера 1886BE2U, обрабатывает данные о дальности до цели, полученные от лазерного дальномера, а также данные об условиях стрельбы (температура окружающего воздуха, температура заряда и др.), и в следящем режиме вычисляет величину полетного времени. В момент выстрела датчик вспышки выстрела формирует короткий импульс, который переводит баллистический вычислитель в режим формирования импульсов управления ЛПИ. Баллистический вычислитель обеспечивает ввод дальности до цели, формируя по согласованному алгоритму кодовые послышки управляющих импульсов, которые поступают в блок излучения. В блоке излучения формируется импульсное оптическое излучение, направленное вдоль траектории полета снаряда и обеспечивающее установку взрывателя снаряда на подрыв в заданное время.

Датчик выстрела находится на расстоянии до 2 м от среза ствола, регистрируя вспышку от выстрела и формируя импульсный сигнал для баллистического вычислителя. Апертурный угол фотоэлемента, равный $\sim 30^\circ$, обеспечивает надежное срабатывание датчика выстрела без дополнительной выверки по направлению.

Однако для датчика выстрела, чувствительного в ИК-диапазоне спектра, всегда существует проблема внешних помех, особенно при работе против Солнца, мощное излучение которого буквально «забивает» фотоприемник (рис. 15). Именно в этой ситуации могут быть в полной мере реализованы преимущества фотоприемников солнечно-слепого УФ-диапазона.

of the sight, and the receiving device of the CRC PDT LPE in the form of an independent unit is placed directly on the projectile developed at the NPO Pribor enterprise.

A protective optical window made of leucosapphire with an interference filter for the remotely controlled photodetector fuse (RCF) module is built into the rear of the projectile, which provides the necessary RCF noise immunity.

Thus, the Russian project is based on layout solutions that do not repeat foreign ones.

In the western project, the armament of the object requires the installation of new control systems and an electromagnetic programmer. The installation of the latter can be associated with significant layout and design difficulties, while the domestic project provides for the use of a simple and cheap laser control system, which makes it possible to do with minimal alterations of the combat vehicle.

The advantages of this architecture are obvious. It allows you to give technology new opportunities with minimal time and material costs. It should be noted that a remote-controlled projectile is significantly cheaper than a product with a Western-type programmable fuse.

In August 2014, the first full-scale tests in real operating conditions of a variant of the TKN-4GA-02 sight as part of a mock-up stand with the installation of a 30-mm cannon were carried out at the proving ground of NPO Pribor OJSC [8].

Shooting tests at specified ranges of projectile detonation in various weather conditions were recognized as successful, since the projectile detonation efficiency was more than 75%, which is quite satisfactory for the first prototypes of the sight and projectiles (Fig. 14).

Undoubtedly, the domestic development was a new step in the development of technologies for programming air bursting.

The ballistic computer, made using the 1886BE2U microcontroller, processes the data on the target range obtained from the laser rangefinder, as well as data on the firing conditions (ambient temperature, charge temperature, etc.), and calculates the value of the flight time in the tracking mode. At the moment of firing, the shot flash sensor generates a short impulse, which transfers the ballistic computer to the mode of formation of the LPE control impulses. The ballistic computer provides the input of the range to the target, forming, according to an agreed algorithm, code messages of control pulses that enter the radiation unit. In the radiation unit, pulsed optical radiation is formed, directed along the trajectory of the projectile and ensuring the



Рис. 14. БТР-82А. Стендовая отработка при стрельбе из изделия 2А72

Fig. 14 IFV-82A. Developmental testing when trap-shooting with 2A72 armament

Только солнечно-слепые фотоприемные устройства способны регистрировать дульную вспышку при сильном солнечном фоне, поскольку практически не реагируют на этот фон, тогда как другие приемники видимого и ИК-диапазонов в таких сложных условиях просто «слепнут» [14-16].

Анализируя пороховые заряды, можно отметить, что самое древнее взрывчатое вещество (ВВ) – дымный порох – представляет собой смесь двух горючих веществ (уголь и сера) с окислителем (калиевая селитра) в следующем процентном составе: калиевая селитра – 75%, древесный уголь – 15% и сера – 10%. Селитра является окислителем, легко отдающим кислород при нагревании, уголь – горючим веществом, а сера служит цементатором, связывающим селитру с углем, и одновременно горючим веществом, облегчающим воспламенение пороха.

При горении серы на воздухе образуется достаточно много УФ-излучения. На диаграмме спектра излучения пламени серы [17], представленном рис. 16, видно, что излучение ИК- и видимого диапазона в спектре пламени почти отсутствуют, поэтому пламя серы кажется нам бледно-голубым. Если бы можно было видеть УФ-лучи, пламя серы показалось бы ярким. При горении серы на воздухе наличие значительной доли энергии в УФ-диапазоне от 250 до 300 нм позволяет применить солнечно-слепое фотоприемное устройство в качестве датчика выстрела и применить его в варианте исполнения системы КДУ ВПС с повышенной помехоустойчивостью.

Также возможен вариант введения в состав прицела еще одного канала – канала фиксации разрыва снаряда, состоящего из узкоугольного объектива

installation of the projectile fuse for detonation at a given time.

The shot sensor is located at a distance of up to 2 m from the barrel cut, registering the flash from the shot and generating a pulse signal for the ballistic computer. The aperture angle of the photocell equal to $\sim 30^\circ$ provides reliable actuation of the shot sensor without additional alignment in the direction.

However, for a shot sensor that is sensitive in the infrared range of the spectrum, there is always a problem of external interference, especially when working “against the sun”, the powerful radiation of which literally “clogs” the photodetector (Fig. 15). It is in this situation that the advantages of solar blind UV photodetectors can be fully realized.

Only solar blind photodetectors are capable of registering a muzzle flash in a strong solar background, since they practically do not react to this background, while other receivers of the visible and IR ranges simply “go blind” in such difficult conditions.

Analyzing powder charges, it can be noted that the oldest explosive, black powder, is a mixture of two combustible substances (coal and sulfur) with an oxidizer (potassium nitrate) in the following percentage composition: potassium nitrate – 75%, charcoal – 15% and sulfur 10%. Saltpeter is an oxidizing agent that easily releases oxygen when heated, coal is a combustible substance, and sulfur serves as a cementing agent that binds nitrate with coal, and at the same time a combustible substance that facilitates the ignition of gunpowder.

When sulfur burns in air, a lot of UV radiation is generated. In the diagram of the emission spectrum of a sulfur flame [9], shown in Fig. 16, it can be seen that

	<p>Вакуумное оборудование для оптики и микроэлектроники</p>	<p>Разработка и изготовление тонкопленочных изделий</p>	
	<p>Проектирование и производство вакуумных напылительных установок «под ключ»</p>	<p>Разработка технологий формирования тонких пленок</p>	
	<p>Програмное обеспечение и автоматизация</p>	<p>Оптические элементы</p>	
<p>Изготовление технологических устройств</p>		<p>Напылительный сервис</p>	
<p>ООО «Изовак», ул. М. Богдановича, 155-907, 220040, Минск, Беларусь, тел.: +375 17 293 18 42, факс: +375 17 2931845</p>		<p>Сложные и уникальные покрытия</p>	
		<p>www.izovac.com</p>	
		<p>www.izovac-coatings.com</p>	

и соответствующего фотоприемника, что позволяет полностью контролировать и оценивать результаты стрельбы с управляемым подрывом.

При взрыве разрывного заряда осколочного снаряда под действием расширяющихся газообразных продуктов детонации корпус снаряда дробится на осколки, которые разлетаются в разные стороны, поражая на своем пути живую силу и уязвимые части боевой техники. Для снаряжения боеприпасов обычно применяется гексоген, являющийся по сравнению, например с тротилом, более мощным взрывчатым веществом, поэтому взрыв сопровождается очень высокими значениями температуры, скорости и давления.

Температура взрыва достигает 3500 К у тротила и 4000 К у гексогена (см. табл. 1) и, в соответствии с формулой (3), в этом случае оптимальным будет применение фотоприемника, чувствительного в спектральном диапазоне $\Delta\lambda \approx 0,7-0,8$ мкм.

Но в этом диапазоне достаточно много помехового излучения как естественного, так и искусственного происхождения.

Однако образующиеся при взрыве газы, разогретые до таких высоких температур, ионизируют воздух, в котором будет образовываться еще и излучение УФ-спектра. Это дает возможность осуществлять фиксацию разрыва снаряда наиболее оптимальным вариантом – с использованием многоэлементного двухспектрального алмазного фотоприемника – передовой разработки, реализованной на предприятии Производственно-технологический центр «УралАлмазИнвест» [18].

На изготовленных макетных образцах были обеспечены спектральные диапазоны чувствительности для УФ-канала – 0,19–0,23 мкм и для

the radiation of the IR and visible ranges in the spectrum of the flame is almost absent, so the sulfur flame seems to us pale blue. If UV rays could be seen, the sulfur flame would appear bright. When sulfur is burned in air, the presence of a significant fraction of energy in the UV range from 250 to 300 nm makes it possible to use a sun-blind photo-receiving device as a shot sensor and use it in a version of the CRC PDT system with increased noise immunity.

It is also possible to introduce another channel into the sight, a channel for fixing a projectile rupture, consisting of a narrow-angle lens and a corresponding photodetector, which allows you to fully control and evaluate the results of firing with controlled bursting.

When an explosive charge of a fragmentation projectile explodes under the action of expanding gaseous detonation products, the body of the projectile is crushed into fragments, which scatter in different directions, hitting manpower and vulnerable parts of military equipment on its way. For the equipment of ammunition, RDX is usually used, which is, in comparison, for example, with TNT, a more powerful explosive, therefore the explosion is accompanied by very high values of temperature, velocity and pressure.

The explosion temperature reaches 3500K for TNT and 4000K for RDX (see Table 1) and, in accordance with formula (3), in this case, it would be optimal to use a photodetector sensitive in the spectral range $\Delta\lambda \approx 0.7-0.8$ μm .

However, in this range there is a lot of interference radiation, both natural and artificial.



Рис. 15. БТР-82А. Солнце в поле зрения однократного канала прицела

Fig. 15. IFV-82A. The sun in the field of view of a single-channel sight

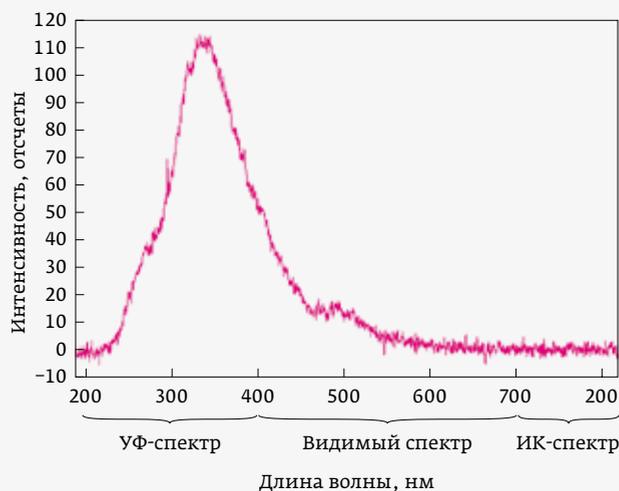


Рис. 16. Спектр пламени серы

Fig. 16. Spectrum of Sulphur flame

ИК-канала – 0,8–3,3 мкм, а также достигнуты пороги чувствительности для УФ-канала – $9 \cdot 10^{-12}$ Вт/Гц^{1/2} и для ИК-канала – $6 \cdot 10^{-10}$ Вт/Гц^{1/2}.

Принципиальное устройство биспектрального фотоприемника основано на использовании двух фотоприемников, сформированных на противоположных сторонах алмазной пластины. Фотоприемник, сделанный на основе алмаза, абсолютно прозрачен в видимой и ИК-области спектра, и за ним можно поместить любую изображающую матрицу. Точку УФ от цели можно потом наложить на видимое или ИК-изображение и рассматривать на одном кадре.

Технологии и конструкция биспектральных многоэлементных фотоприемников и фотоприемных устройств на основе алмазных материалов предполагает достижение формата фотоприемника 240×240 элементов с размером пикселей ~50×50 мкм и работу одновременно в двух диапазонах:

- спектральный диапазон (УФ): 0,12–0,28 мкм;
- спектральный диапазон (ИК): 0,7–3,6 мкм.

Эффективность применения УФ-систем наглядно демонстрируется комплексированным изображением, полученным в ИК- и УФ-участке спектра. На рис. 17 представлена съемка участка леса на берегу озера, где горит костер.

На рисунке слева – изображение в ИК-спектре, в центре – изображение костра в УФ-спектре (в правой части снимка яркое пятно). Справа представлено суммарное ИК- и УФ-изображение этого участка.

Многоэлементный фотоприемник позволяет осуществлять не только фиксацию события, но и проводить координатные измерения, необходимые для практической реализации канала фиксации разрыва снаряда, встраиваемого в основной прицел.

However, the gases formed during the explosion, heated to such high temperatures, ionize the air, in which UV radiation will also be formed. This makes it possible to fix the burst of the projectile with the most optimal option – using a multi-element two-spectral diamond photodetector – an advanced development implemented at the UralAlmazInvest Production and Technology Center [10].

On the manufactured prototypes, spectral ranges of sensitivity for the UV channel – 0.19–0.23 μm and for the IR channel – 0.8–3.3 μm were provided, as well as the sensitivity thresholds for the UV channel – $9 \cdot 10^{-12}$ W/Hz^{1/2} and for the IR channel – $6 \cdot 10^{-10}$ W/Hz^{1/2}.

The basic structure of a bispectral photodetector is based on the use of two photodetectors formed on opposite sides of a diamond plate. The diamond-based photodetector is absolutely transparent in the visible and infrared regions of the spectrum, and any imaging matrix can be placed behind it. The UV point from the target can then be superimposed on the visible or infrared image and viewed in one frame.

The technology and design of bispectral multi-element photodetectors and photodetectors based on diamond materials presupposes the achievement of a photodetector format of 240×240 elements with a pixel size of ~50×50 μm and simultaneous operation in two ranges:

- spectral range (UV): 0.12–0.28 microns;
- spectral range (IR): 0.7–3.6 microns.

The effectiveness of the use of UV systems is clearly demonstrated by the complexed image obtained in the IR and UV regions of the spectrum. Fig. 17 shows a survey of a forest area on the shore of a lake, where a fire is burning.

Диагностика и компоненты

- Фотоприемники с усилителем, лавинные, балансные
- Изоляторы Фарадея 400–1250 нм, до 60 дБ, до 15 мм
- Селекторы импульсов на 250–2700 нм до 2 МГц
- Измерители длительности импульсов, SPIDER
- Электроника ФАПЧ для синхронизации
- Спектрометры 190–3450 нм



Фемтосекундные лазерные системы

- Параметрические генераторы 340–4200 нм
- Волоконные лазеры на 780, 1030–1064, 1560 нм
- Лазеры со средней мощностью до 50 Вт
- Оптический синтезатор частоты ("комб-генератор")
- Титан-сапфировые генераторы от 6 до 100 фс
- Системы с пиковой мощностью до 15 ТВт



4. ПРОЧИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНО-СЛЕПЫХ УФ-ПРИБОРОВ

Исходя из опыта применения оптико-электронных приборов, следует отметить, что универсального прибора, решающего абсолютно все задачи с высокой степенью вероятности, не существует.

Приборы солнечно-слепого УФ-диапазона являются важным дополнением к каналам видимого, ИК- и РЛС-диапазонов, а в некоторых случаях они являются единственным вариантом решения поставленной задачи [19, 20].

Существует масса применений, где, кроме одного УФ-канала наведения или пеленгации, каналов других спектральных диапазонов просто не требуется. К ним можно отнести, например, приборы для ориентации по Солнцу и звездам в космическом пространстве, системы обнаружения и опознавания «свой-чужой», системы контроля технологий высокотемпературного производства, системы противопожарного мониторинга, системы обнаружения самолетов по УФ-излучению реактивных двигателей, системы обнаружения пламени различного происхождения и др.

Для таких приложений может использоваться только один УФ-канал, состоящий из оптики, УФ-фотоприемника и электронных узлов обработки сигнала.

Не меньший интерес представляют и другие приложения, такие как средства скрытой помехозащищенной УФ-оптической связи, лазерные системы локации и видения УФ-диапазона, которые являются структурно более сложными приборами, так как они должны содержать достаточно мощные лазерные источники УФ-излучения. В этой связи будет нелишним отметить, что в солнечно-слепой УФ-области спектра 0,2-0,3 мкм достаточно эффективным будет использование излучения

On the left is the image in the IR spectrum, in the center – the image of the campfire in the UV spectrum (on the right side of the image there is a bright spot). On the right is a summary of the IR and UV images of this area.

The multi-element photodetector allows not only recording an event, but also performing coordinate measurements necessary for the practical implementation of the channel for fixing the rupture of a projectile built into the main sight.

4. OTHER APPLICATIONS OF SOLAR BLIND UV DEVICES

Based on the experience of using optoelectronic devices, it should be noted that there is no universal device that solves absolutely all problems with a high degree of probability.

Devices of the solar blind UV range are an important addition to the channels of the visible, IR and radar ranges, and in some cases, they are the only option for solving the problem.

There are many applications where, in addition to one UV targeting or direction finding channel, channels of other spectral ranges are simply not required. These include, for example, devices for orientation by the Sun and stars in outer space, systems for detecting and identifying “friend or foe”, control systems for high-temperature production technologies, fire monitoring systems, aircraft detection systems based on UV radiation from jet engines, detection systems flames of various origins, etc.

For such applications, only one UV channel can be used, consisting of optics, UV photodetector and electronic signal processing units.

Other applications are of no less interest, such as means of covert interference-proof UV optical communication, laser systems for locating and seeing in

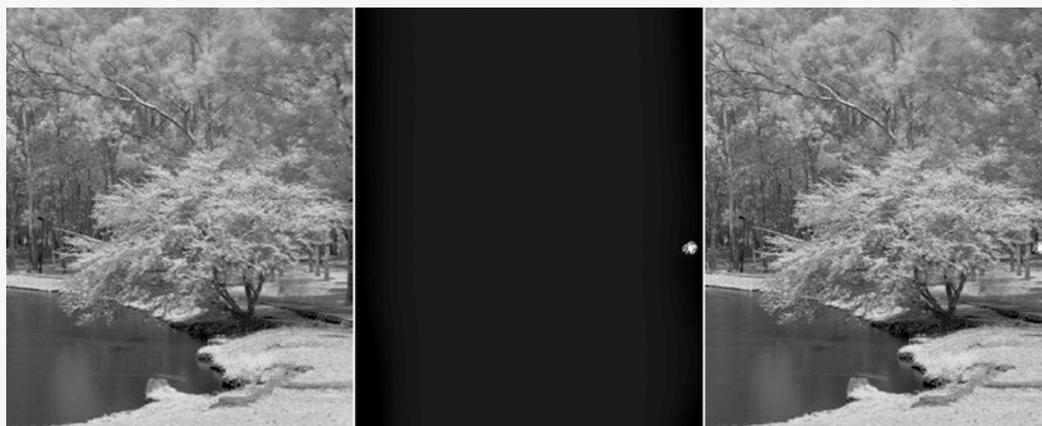


Рис. 17.
Изображение в ИК- и в УФ-диапазонах спектра
Fig. 17. Image in IR and in UV spectrum bands

четвертой гармоники (0,266 мкм) лазера на стекле с неодимом и на иттрий-алюминиевом гранате с неодимом [21].

Прикладные возможности таких приборов в значительной степени будут определяться потенциально достижимыми техническими характеристиками лазерных систем, основными из которых являются энергия в импульсе лазера и чувствительность УФ-приемника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Liao Meiyong.** Progress in semiconductor diamond photodetectors and MEMS sensors. *Functional Diamond*. 2021; 1(1):29–46. doi.org/10.1080/26941112.2021.1877019.
2. **Алымов О., Васильев И., Минкин В., Татаурщиков С.** Современные фотоприемники для видимого, УФ и ближнего ИК диапазонов спектра производства компании «ЦНИИ «Электрон». *Фотоника*. 2014; 44(2): 40–47.
3. **Груздев В. Н., Иванов В. Н., Суриков И. Н., Шилин Б. В.** Дистанционные наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне. *Оптический журнал*. 2003; 70(5): 56–59.
4. **Глебов В. В., Гордиенко В. И.** О решении проблемы обнаружения атаки противотанковых управляемых ракет. *Механіка та машинобудування*. 2013; 1.
5. **Баласный Л. М., Гордиенко Ю. Н., Грузевич Ю. К., Альков П. С., Чистов О. В.** Ультрафиолетовый фотоприемный модуль на основе электронно-оптического преобразователя с фотокатодом GaN/GaAlN на сапфире для применения в оптико-электронных комплексах космического базирования. *Лесной вестник*. 2019; 23(4):59–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-59-65.
6. **Rapanotti J. L. and al.** Preliminary study of defensive aids suite technology for the armour combat vehicle programme. DRDC Valcartier TM- 2003-274. February, 2007. URL: [http://pub.s.drdc.gc.ca].
7. *Electronic Warfare Associates.* [https://www.ewa.com/products/].

the UV range, which are structurally more complex devices, since they must contain sufficiently powerful laser sources of UV radiation. In this regard, it will be useful to note that in the solar blind UV spectral region of 0.2–0.3 μm , the use of the radiation of the fourth harmonic (0.266 μm) of a laser based on neodymium glass and on yttrium-aluminum garnet with neodymium will be quite effective [11].

The applied capabilities of such devices will largely be determined by the potentially achievable technical characteristics of laser systems, the main of which are the energy in the laser pulse and the sensitivity of the UV receiver.

REFERENCES

1. **Liao Meiyong.** Progress in semiconductor diamond photodetectors and MEMS sensors. *Functional Diamond*. 2021; 1(1):29–46. doi.org/10.1080/26941112.2021.1877019.
2. **Alymov O., Vasil'ev I., Minkin V., Tataurshchikov S.** Sovremennyye fotopriemniki dlya vidimogo, UF i blizhnego IK diapazonov spektra proizvodstva kompanii "CNII "Elektron". *Fotonika (Photonics Russia)*. 2014; 44(2): 40–47.
3. **Gruzdev V. N., Ivanov V. N., Surikov I. N., Shilin B. V.** Remote monitoring in UV spectral region. *Optical journal*. 2003; 70(5): 56–59. № 5, p. 56–59.
4. **Glebov V. V., Gordienko V. I.** O reshenii problemy obnaruzheniya ataki protivotanko-vyh upravlyaemykh raket. *Mekhanika ta mashinobuduvannya*. 2013; 1.
5. **Baliasny L. M., Gordienko Yu. N., Gruzevich Yu. K., Alkov P. S., Chistov O. V.** Ultra-violet photo-receive module based on image intensifier tube with GaN/GaAlN photocathode on sapphire for use in space-based optical-electronic systems. *Forestry Bulletin*. 2019; 23(4):59–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-59-65.

ЭССЕНТОПТИКС ESSENTOPTICS

PHOTON RT

Спектрофотометр для Оптиков | Spectrophotometer for Coaters



185 – 5200 nm

УНИКАЛЬНО ШИРОКИЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ
ДИАПАЗОН В ОДНОМ ПРИБОРЕ

—
WORLD-RECORD WAVELENGTH RANGE
IN ONE INSTRUMENT

ООО «ЭссентОптикс»

23а-81, ул. 40 лет Победы, Боровляны, Минская обл., Минский р-н, 223053 Беларусь
Тел.: +375-17-5112025 | Факс: +375-17-5112026 | www.essentoptics.com



- Евдокимов В. И., Лазоркин В. И., Сазыкин А. М. Оценка целесообразности введения оптико-электронного пеленгатора атаки ПТУР в бортовой комплекс защиты объекта бронетанковой техники. Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2013; 9–10.
- Писарев В. Н., Обрезков А. В., Родионов А. Ю., Чиванов А. Н., Коротаев В. В. Ультрафиолетовый фильтр для «солнечно-слепых» фотоприемных модулей, используемых при создании авиационных систем пеленгации угроз. Оптический журнал. 2016; 83(1): 11–15.
- Шагов Ю. В. Взрывчатые вещества и пороха. М.: Воениздат, 1976.
- Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М.: Мир, 1988.
- Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н. Перспективные направления развития в оптико-электронной технике и технике ночного видения. – Ярославль: ОАО «Ростовский оптико-механический завод», ОАО «Ярославский полиграфкомбинат», 2011.
- Корпоративная газета РОМЗ «Объектив» от 16.10.2014.
- Грузевич Ю. К., Гордиенко Ю. Н., Бальянский Л. М., Чистов О. В., Альков П. С., Широков Д. А., Жмерик В. Н., Нечаев Д. В., Иванов С. В. Разработка фотокатодов солнечно-слепого диапазона на основе ГЭС нитрида галлия алюминия, изготовленных методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Прикладная физика. 2015, (4):82–87.
- Айнбунд М. Р., Алексеев А. Н., Алымов О. В., Жмерик В. Н., Лапушкина Л. В., Мизеров А. М., Иванов С. В., Пашук А. В., Петров С. И. Солнечно-слепые УФ-фотокатоды на основе гетероструктур AlGaIn с границей спектральной чувствительности в диапазоне 300–330 нм. Письма в ЖТФ. 2012; 38(9):88–95.
- Нечаев Д. В. Солнечно-слепые фотокатоды на основе гетероструктур AlGaIn: Mg/AlIn/c-Al₂O₃, полученные плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксией. XI Ежегодная научно-техническая конференция молодых специалистов «Техника и технология современной фотополупроводниковой электроники» 14–15 апреля 2020 г. АО «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОН». URL: [http://www.nielectron.ru/solnechno-slepye-fotokatody-na-osnove-geterostruktur-algan-mg-aln-c-al2o3-poluchennye-plazmenno-aktivirovannoj-molekulyarno-puchkovoj-epitaksiej/].
- Пламя сероуглерода. Химия и химика. 2009;9:4–11. URL: [http://chemistry-chemists.com/N7_2009/4-11.pdf]
- Гуляев Ю. В., Митягин А. Ю., Фещенко В. С., Чучева Г. В. Двухспектральные алмазные гибридные фотоприемники. Доклады Академии Наук. 2013;450(4):401–405. DOI: 10.7868/S0869565213160093.
- Патент RU 188539 U1. Лазерное устройство видения. 2018.12.10. / Белов В. В., Самохвалов И. В., Симонова Г. В., Ванданов О. Ф., Тарасенков М. В.
- Маноменова В. Л., Руднева Е. Б., Волошин А. Э. Кристаллы простых и сложных сульфатов никеля и кобальта как оптические фильтры для приборов солнечно-слепой технологии. Усп. хим. 2016; 85(6):585–609. doi.org/10.1070/RCR4530.
- Белов М. Л., Гордничев В. А., Пашенина О. Е. Сравнительный анализ мощности входных сигналов лазерных систем локации и видения ультрафиолетового диапазона. Наука и образование. 2013;8: 255–267. URL: [https://www.researchgate.net/publication/319702896]. DOI: 10.7463/0813.0587120. Россия, МГТУ им. Н. Э. Баумана
- Rapanotti J. L. and al. Preliminary study of defensive aids suite technology for the armour combat vehicle programme. DRDC Valcartier TM-2003-274. February, 2007. URL: [http://pub.s.drdc.gc.ca/].
- Electronic Warfare Associates. [https://www.ewa.com/products/].
- Evdokimov V. I., Lazorkin V. I., Sazykin A. M. Ocenka celesoobraznosti vvedeniya optiko-elektronnogo pelengatora ataki PTUR v bortovoj komplekse zashchity ob'ekta bro-netankovoj tekhniki. Voprosy obronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. 2013;9–10.
- Pisarev V. N., Obrezkov A. V., Rodionov A. YU., Chivanov A. N., Korotaev V. V. Ul'traioletovyy fil'tr dlya "solnechno-slepyh" fotopriemnykh modulej, ispol'zuemykh pri sozdanii aviacionnykh sistem pelengacii ugroz. Opticheskij zhurnal. 2016; 83(1): 11–15.
- SHagov YU. V. Vzryvchatye veshchestva i poroha. – М.: Voениzdat, 1976.
- Gossorg ZH. Infrakrasnaya termografiya. Osnovy, tekhnika, primeneniye. –М.: Mir. 1988.
- Medvedev A. V., Grinkevich A. V., Knyazeva S. N. Perspektivnye napravleniya razvitiya v optiko-elektronnoy tekhnike i tekhnike nochnogo videniya. – YARoslavl: ОАО "Rostovskij optiko-mekhanicheskij zavod", ОАО "YARoslavskij poligrafkombinat". 2011.
- Korporativnaya gazeta ROMZ "Ob'ektiv" ot 16.10.2014.
- Gruzevich Y. K., Gordienko Y. N., Balyasnyy L. M., Chistov O. V., Alkov P. S., Shirokov D. A., Zhmerik V. N., Nechaev D. V., Ivanov S. V. Development of the solar-blind range photocathodes based on aluminum gallium nitride heterostructure fabricated by molecular beam epitaxial. Prikladnaya fizika. 2015, (4):82–87.
- Ajnbund M. R., Alekseev A. N., Alymov O. V., Zhmerik V. N., Lapushkina L. V., Mizerov A. M., Ivanov S. V., Pashuk A. V., Petrov S. I. Solnechno-slepye UF-fotokatody na osnove geterostruktur AlGaIn s granicej spek-tral'noj chuvstvitel'nosti v diapazone 300–330 nm. Pis'ma v ZHTF. 2012; 38(9):88–95.
- Nechaev D. V. Solnechno-slepye fotokatody na osnove geterostruktur AlGaIn: Mg/AlIn/c-Al₂O₃, poluchennye plazmenno-aktivirovannoj molekulyarno-puchkovoj epitaksiej. XI Ezhegodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya molodykh spetsialistov "Tekhnika i tekhnologiya sovremennoj fotoelektroniki" 14–15 aprelya 2020g. AO "CNII "ELEKTRON". URL: [http://www.nielectron.ru/solnechno-slepye-fotokatody-na-osnove-geterostruktur-algan-mg-aln-c-al2o3-poluchennye-plazmenno-aktivirovannoj-molekulyarno-puchkovoj-epitaksiej/].
- Plamya serougleroda. Himiya i himiki. 2009;9:4–11. URL: [http://chemistry-chemists.com/N7_2009/4-11.pdf]
- Gulyaev YU. V., Mityagin A. YU., Feshchenko V. S., Chucheva G. V. Dvuhspektral'nyealmaznye gibridnye fotopriemniki. Doklady Akademii Nauk. 2013;450(4):401–405. DOI: 10.7868/S0869565213160093.
- Patent RU 188539 U1. Lazernoe ustrojstvo videniya. 2018.12.10. / Belov V. V., Sa-mohvalov I. V., Simonova G. V., Vandarov O. F., Tarasenkov M. V.
- Manomenova V. L. et al. Crystals of the simple and complex nickel and cobalt sulfates as optical filters for the solar-blind technology. Russian Chem. Reviews. 2016;85(6):585–609. doi.org/10.1070/RCR4530.
- Belov M. L., Gorodnichev V. A., Pasheniina O. E. Sravnitel'nyj analiz moshchnosti vhodnykh signalov lazernykh sistem lokacii i videniya ul'traioletovogo diapazona. Nauka i obrazovanie. 2013;8: 255–267. URL: [https://www.researchgate.net/publication/319702896]. DOI: 10.7463/0813.0587120.

АВТОРЫ

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

ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья подготовлена на основе работы всех членов авторского коллектива.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. Все авторы приняли участие в написании статьи и дополнили рукопись в части своей работы.

AUTHORS

Medvedev Alexander Vladimirovich, design@romz.ru, General Designer, Rostov Optical and Mechanical Plant OJSC (ROMZ OJSC), Rostov Veliky, Yaroslavl Region, Russia.
Grinkevich Alexander Vasilievich, lyu1455@yandex.ru, ZAO «EVS», Moscow, Russia.
Knyazeva Svetlana Nikolaevna, ksn 61@yandex.ru, Design Engineer, Design Bureau of OJSC «Rostov Optical and Mechanical Plant, (OJSC» ROMZ «), Rostov the Great, Yaroslavl Region, Russia.

CONTRIBUTION BY THE MEMBERS OF THE TEAM OF AUTHORS

The article was prepared on the basis of work by all members of the team of authors.

CONFLICT OF INTEREST

The authors claim that they have no conflict of interest. All authors took part in writing the article and supplemented the manuscript in part of their work.

Синтетический САПФИР

Производство кристаллов и оборудования



Пластины, окна, подложки:
смотровые, защитные, сканерные окна, часовые
стекла, экраны для смартфонов и мобильных
телефонов, оптические компоненты



Трубы и тигли
трубки и тигли различной длины и сечения
для ламп высокого давления, термореакторов,
установок плазменного травления



Стержни круглого и
прямоугольного сечения:
световоды для пирометров, плунжера для
хроматографических насосов и сиквенаторов,
изоляторы, износостойкие направляющие



Индивидуальный заказ:
Термореакторы, часовые и приборные камни,
подшипники, компоненты для научной и
медицинской техники, брекеты, сувенирная
продукция



Оборудование для выращивания
кристаллов

Nika-M60, Nika-M30, Nika-3, Nika-PROFILE



ЗАО «РОСТОКС-Н»

Since 1993

142432 Россия, Московская обл., г. Черноголовка, Проспект Академика Семенова, д. 9, ЗАО «Ростокс-Н»
Тел.: +7 496 527 35 91, +7 496 527 35 96, +7 496 527 35 95 • Факс: +7 496 52 7 36 03
E-mail: belov@ezan.ac.ru, info@rostox-n.ru • <http://www.rostox-n.ru>