



# МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ОБНАРУЖЕНИЯ И АНАЛИЗА УГРОЗ ДЛЯ ОХРАНЫ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ИК- И ВИДЕОСИСТЕМ

В.В.Стартцев, В.К.Попов, К.Е.Аношин,  
АО "ОКБ Астрон", ООО "Инфракристалл",  
г.Лыткарино

**Задачи построения распределенной всепогодной системы защиты железнодорожного пути и объектов железной дороги, газо- и нефтепроводов, а также других протяженных объектов от возможных угроз необычайно актуальны. Важнейшее значение в общей системе защиты имеет обнаружение различных угроз безопасности и своевременное на них реагирование. Решающую роль здесь играют видео- и тепловизионные приборы. В статье рассматриваются вопросы конструкции серийного мультиспектрального видео-тепловизионного модуля АСТРОН-3А и приводится обзор его технических характеристик.**

## ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ ИК-ДЕТЕКТОРОВ

Технологии производства инфракрасных детекторов развиваются и совершенствуются уже на протяжении более 200 лет с момента проведения опыта английским астрономом У. Гершелем. При испытании он обнаружил, что в полученном с помощью призмы спектре Солнца температура контрольного термометра повышается за границей красного света, и его значения отличаются от показаний других термометров. Первый работоспособный электронно-оптический преобразователь был разработан Холстом в фирме "Филипс" (Голландия) в 1934 году. С середины 30-х годов из открытой печати полностью исчезли публикации по ИК-технике. Началось первое соревнование великих держав – Англии, СССР, Германии и США в области ночного видения. "Стакан Холста" был доработан до серийного производства фирмой EMI (Англия), и с 1942 по 1945 год их было выпущено несколько тысяч штук для нужд британской армии. В конце войны в американской зоне оккупации Германии на заводе "Karl Zeiss" была

# IR- AND VIDEO SYSTEM BASED MULTISPECTRAL MODULE OF DETECTION AND ANALYSIS OF THREATS FOR THE PROTECTION OF EXTENDED OBJECTS

V.V.Startsev, V.K.Popov, K.E.Anoshin,  
JSC "OKB ASTRON", LLC "Infrakristall", Lytkarino,  
Moscow Region

Under modern conditions, the tasks of constructing a distributed all-weather system for protecting the railway track and railway facilities, gas and oil pipeline facilities, as well as other extended objects from possible threats, are on the front burner. The detection of various security threats and timely response is of paramount importance in the overall protection system. The decisive role is played by video and thermal imaging devices. This article deals with the design of serial multispectral video thermal imaging module ASTRON-3A, and provides an overview of its technical characteristics.

## BACKGROUND OF CREATING INFRARED DETECTORS

The technologies for the production of infrared detectors have been developing and improving for over 200 years since the experiment was conducted by English astronomer W.Herschel. During the test, he has found that in the spectrum of the Sun obtained with the help of a prism, the temperature of the reference thermometer rises beyond the boundary of red light, and its values differ from those of other thermometers. The first operating electro-optical converter was developed by Holst of "Philips" (Holland) in 1934. Since the mid-1930s, publications on IR technology have completely disappeared from the open press. The first competition of the great powers – England, the USSR, Germany and the USA – has begun in the field of night vision. "Holst Glass" was finalized to serial production by EMI (England), and from 1942 to 1945 they were produced in the amount of several thousand pieces for the needs of the British army. At the end of the war in the American zone of the German occupation, a production line for the production of



обнаружена производственная линия по выпуску тепловых головок самонаведения "Kiel-IV" с фотоприемниками из сульфида свинца. Крупные исследования по фотоприемникам начались в США в 1940 году после организации Национального совета по оборонным исследованиям при президенте США. В задачи совета входило курирование вопросов оптики и ИК-техники. Известныочные прицелы для стрелкового оружия, удачно примененные при десанте американцев на остров Окинава. В 1944 году стало известно об использовании немецкой армией теплопеленгационной аппаратуры для обнаружения с берега морских целей (нагретые трубы английских кораблей с расстояний до 10 км). Позже стало известно, что немецкими войсками береговой обороны применялись инфракрасные теплопеленгаторы на длину волны 10 мкм с использованием болометрического эффекта. В этих приборах излучение от целей (кораблей, катеров и др.) собиралось параболическим зеркалом на зачерненной пластинке, нагревало ее, что приводило к возрастанию сопротивления. Момент изменения сопротивления свидетельствовал о нахождении корабля в поле зрения теплопеленгатора. Около ста таких приборов было изготовлено на заводе "Karl Zeiss". В Советском Союзе приборами ночного видения занимались П.В.Тимофеев и В.И.Архангельский, а также академики С.И.Вавилов и А.А.Лебедев из ленинградского Государственного оптического института. К началу войны Черноморский флот располагал 15 комплектами корабельных систем ночного видения. Аппаратура, разработанная в 1943-1944 годах, предназначалась в основном для инженерных войск. Постановлением ГКО был сформирован моторизированный инженерный полк специального назначения, который был вооружен ночными приборами "Альфа", "Гамма", "Комета" и инфракрасными прожекторными станциями "ОСА-1" и "ОСА-2". Прибор "Альфа" с прожекторной станцией "ОСА-2" позволял обнаруживать цель в темноте на расстоянии до 250 метров, а прибор "Гамма" - до 150 метров. Прибор "Комета" предназначался для поиска проходов в минных полях вочных условиях. Для целей дальнего наблюдения был разработан опытный образец прибора ночного видения "Слон", который при прожекторном ИК-освещении позволял видеть человеческую фигуру на расстоянии до 450 метров. Для вооружения инженерного полка было изготовлено 7 прожекторных станций, 100 приборов "Альфа", 78 приборов "Гамма" и 363 прибора "Комета". В 1943-1945 годах полк провел свыше

Kiel-IV homing heads with photodetectors from lead sulphide was discovered at the Karl Zeiss plant. Large studies on photodetectors have been started in the United States in 1940 after the organization of the National Council for Defense Research under the US President, who supervised the issues of optics and infrared technology. The night sights for small arms are known, successfully applied when the Americans landed on the island of Okinawa. In 1944 the use by the German army of the direction-finding equipment for detecting offshore targets from the shore (heated pipes of English ships from distances of up to 10 km) became known. Later it was reported that the German coastal defense forces were using infrared thermal direction-finders at a wavelength of 10  $\mu\text{m}$  using the bolometric effect. In these devices, radiation from targets (ships, boats, etc.) was collected by a parabolic mirror on a blackened plate, heating it, which led to an increase in resistance. The moment of change of resistance testified the finding of the ship in the field of view of the direction finder. About a hundred of such instruments were manufactured at the Karl Zeiss plant. In the Soviet Union, P.V.Timofeev and V.I.Arkhangelsky, as well as academicians S.I.Vavilov and A.A.Lebedev from the Leningrad State Optical Institute were engaged in the development of night vision devices. By the beginning of the war, the Black Sea Fleet had 15 sets of ship borne night vision systems. The equipment developed in 1943-1944 was intended mainly for engineering troops. By decree of the State Defense Committee, a special purpose motorized engineering regiment was formed, which was armed with night sight devices "Alpha", "Gamma", "Comet" and infrared spotlights "OSA-1" and "OSA-2". The device "Alpha" with searchlight station "OSA-2" allowed detecting the target in the dark at a distance of up to 250 meters, and the device "Gamma" - up to 150 meters. The device "Comet" was intended for the search of passes in minefields in the night conditions. For the purposes of long-range observation, a prototype of the night vision device "Elephant" was developed, which, under IR illumination, allowed seeing a human figure at a distance of up to 450 meters. For the armament of the engineering regiment, 7 searchlight stations, 100 "Alfa" devices, 78 "Gamma" devices and 363 "Comet" devices were manufactured. In 1943-1945, the regiment conducted more than 300 thematic drills that showed the suitability and effectiveness of the developed devices for night observation of the enemy's forward edge of defense, for forcing water obstacles, for indicating passageways in minefields, etc. By 1944, domestic sight for night shooting "Iskra"

300 тематических учений, показавших пригодность и эффективность разработанных приборов для ночного наблюдения за передним краем обороны противника, для форсирования водных преград, для указания проходов в минных полях и др. К 1944 году инженерные войска получили первый отечественный прицел для ночной стрельбы "Искра". Однако в боевых условиях эти приборы не успели себя показать [1].

Интенсивность процессов исследований, разработки и освоения тепловизионного направления значительно возросла в последние 50 лет. Сегодня, рассматривая физические принципы обнаружения теплового излучения и существующие технологии, можно классифицировать ИК-детекторы по группам (рис.1).

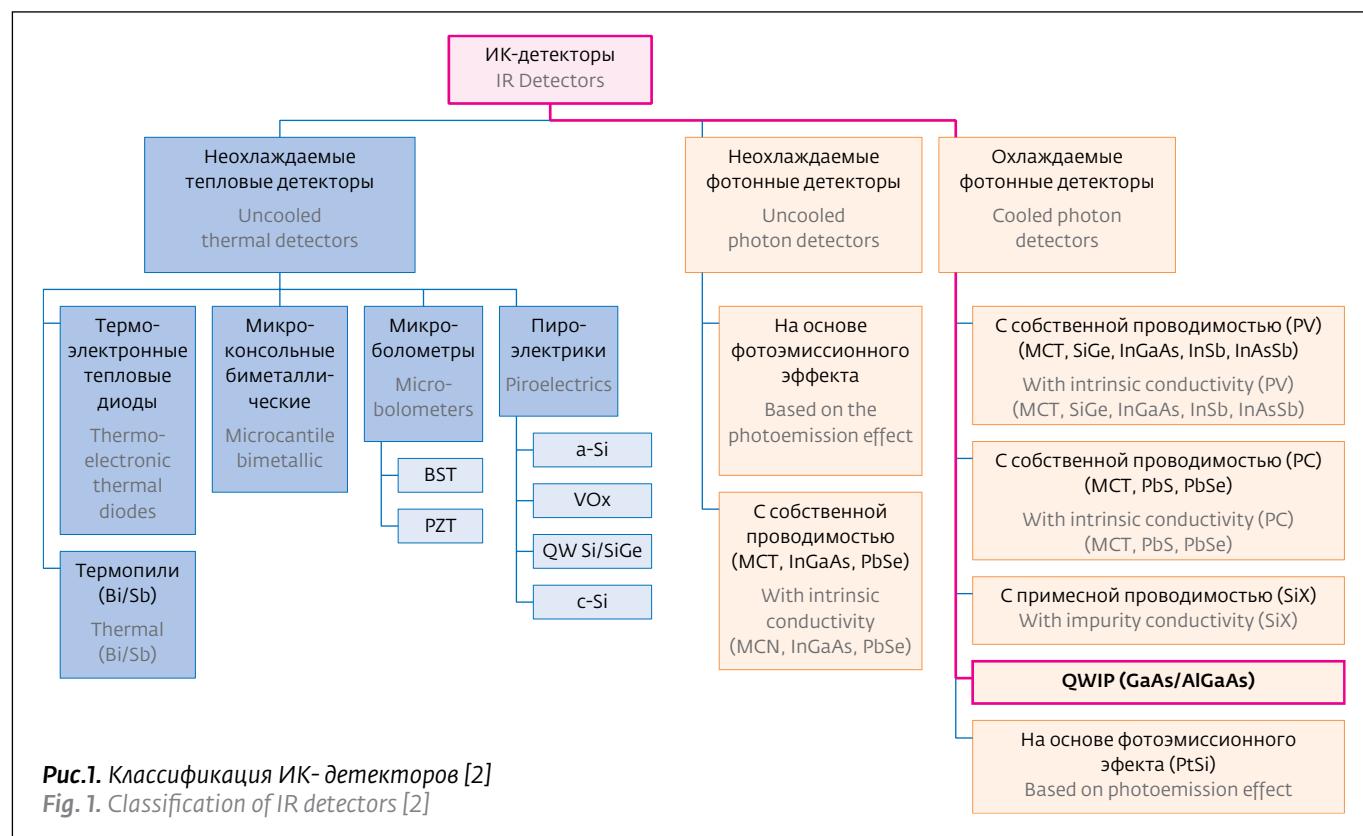
Принцип работы всех тепловых детекторов основан на изменении электрических характеристик материала приемника за счет энергии поглощенного теплового излучения. У микроболометров повышение температуры приемника изменяет его электропроводность, у термопилей появляется термоЭДС, у пироэлектрического приемника изменяется значение поверхностного заряда, а у термоэлектронных тепловых диодов – значение тока внутренней термоэлектронной эмиссии.

has been developed. However, in combat conditions, these devices never got a chance to demonstrate their performance [1].

The intensity of the processes of research, development and exploring of the thermal imaging area has significantly increased in the last 50 years. Today, considering the physical principles of detecting thermal radiation and existing technologies, it is possible to classify IR detectors into groups (Fig. 1).

The operational principle of all thermal detectors is based on a change in the electrical characteristics of the receiver material due to the energy of absorbed thermal radiation. In microbolometers, an increase in the temperature of the receiver changes its electrical conductivity, thermal electromotive force appears for the thermopile, the value of the surface charge changes for the pyroelectric receiver, and the thermionic thermal diodes have the value of the internal thermionic emission current.

The technology of manufacturing thermal detectors has reached a certain degree of perfection and predetermined a number of advantages due to which sensors of this type occupy a dominant position in the market in quantitative terms. Their advantages are the simplicity of the design and the lack of cooler. There is practically no need for servicing. Microbolometers do not require cooling; they achieve



**Рис.1. Классификация ИК-детекторов [2]**  
**Fig. 1. Classification of IR detectors [2]**



Технологии изготовления тепловых детекторов достигли определенной степени совершенства и предопределили ряд преимуществ, благодаря которым сенсоры этого типа занимают доминирующее положение на рынке в количественном отношении. Их достоинства – простота конструкции и отсутствие необходимости в охладителе. Практически нет необходимости в сервисном

Noise Equivalent Temperature Difference (NETD) of 40–50 mK for an aperture value of one [2].

When passing through the Earth's atmosphere, the thermal radiation is weakened due to the absorption of gases by molecules, as well as the scattering of molecules and particles (aerosols) by rain, snow, fog, smoke, smog, dust. The "spectral windows" of the Earth's atmosphere are known:

**Таблица 1.** Общие характеристики модуля АСТРОН

**Table 1.** General specifications of ASRTRON module

Параметр Parameter	Значение Value	Примечание Note
Напряжение питания, В Supply voltage, V	~220В (+50/-100) ~220V (+ 50 / -100)	Возможно 12, 24, 48 12, 24, 48 possible
Установленная мощность, Вт Installed power, W	Не более 20 Not more than 20	–
Изоляция по входу, В Insulation by input, V	3000	–
Импульсный ток, кА Pulse current, kA	До 20 Up to 20	Разрядный до 150 Discharge to 150
Частота сети питания, Гц Mains frequency, Hz	50	Отклонение от 45 до 65 Deviation from 45 to 65
Допустимая вибрация Permissible vibration	2G	–
Разрешение видеоканала, Мпкс Video channel resolution, Mpx	1280×960, 20×576	Возможно до 5 up to 5 possible
Частота кадров, кадров в секунду Frame rate, frames/second	25	–
Протоколы сжатия видео Video compression protocols	M-JPEG, H.264	–
Дальность обнаружения, м Range of detection, m	1 200	Обнаружение человека Human detection
Дальность распознавания, м Recognition range, m	1 000	Детекция аналитикой Analytical detection
Спектральный диапазон, мкм Spectral range, μm	7–14	Болометр FPA Bolometer FPA
Разрешение ИК-сенсора IR sensor resolution	384×288	–
Фокусное расстояние, мм Focal length, mm	120, 100, 75, 60, 40	Соответствующая оптика Appropriate optics
Апертура Aperture	f/1,4; 1,0; 0,8	Большая светосила High aperture ratio
Размер точки ИК-матрицы, мкм Size of the infrared dot, μm	25	–
Стандарт передачи видео Standard video transmission	PAL, NTSC	

обслуживании. Микроболометры не требуют охлаждения, для них достигнут температурный эквивалент шума (NETD) 40–50 мК для апертурного числа, равного единице [2].

При прохождении через атмосферу Земли тепловое излучение ослабляется вследствие поглощения молекулами газов, а также рассеяния скоплениями молекул и частиц (аэрозолями)–дождем, снегом, туманом, дымом, смогом, пылью. Известны "окна прозрачности" атмосферы Земли:

- 0,3–1,3 мкм (видимый диапазон) – "большое окно",
- 1,5–1,8 мкм (ИК диапазон) – "первое окно",
- 2,0–2,6 мкм (ИК диапазон) – "второе окно",
- 7,0–15,0 мкм – "тепловой ИК-диапазон", или "третье окно".

Молекулярное поглощение является главной причиной ослабления излучения (в отсутствие сильного задымления и иных причин), причем наиболее сильно излучение поглощается парами воды, углекислым газом и озоном (рис.2). Между полосами прозрачности существуют полосы полного поглощения ИК-излучения атмосферой, в основном углекислым газом  $\text{CO}_2$  (2,6–2,9; 4,2–4,4 мкм) и парами воды  $\text{H}_2\text{O}$  (5–8 мкм) [2].

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЯ АСТРОН-ЗА

Мультиспектральные видео-тепловизионные модули АСТРОН-ЗА (рис.3), являются базовыми элементами построения распределенной системы защиты железнодорожного пути и объектов железной дороги от возможных угроз. Модули разработаны с учетом значительного опыта эксплуатации тепловизионных систем типа АСТРОН (табл.1) по охране протяженных объектов компаний "Газпром" и РЖД. Применение в модуле хорошо зарекомендовавших себя тепловизионных систем АСТРОН-320A100, АСТРОН-320A75, которые серийно выпускаются на протяжении последних лет, позволяет гарантировать устойчивую работоспособность модуля в течение трех лет (или более 30 000 часов наработки).

Мультиспектральный модуль АСТРОН-ЗА работает в двух диапазонах излучения: видимом и дальнем ИК (7–14 мкм). В модуле, кроме тепловизионного канала, предусмотрен видеоканал с дальностью видения и распознавания до 1000 метров. Углы обзора видео- и тепловизионного канала идентичны. Видеоканал используется в основном в дневное время. Однако применение в камерах видимого диапазона низкоуровне-

- 0.3–1.3 мкм (visible range) – "large window"
- 1.5–1.8 мкм (IR range) – "first window"
- 2.0–2.6 мкм (IR range) – "second window"
- 7.0–15.0 мкм – "thermal IR range" or "third window"

Molecular absorption is the main reason for the attenuation of radiation (in the absence of strong smoke and other causes), and the most intense radiation is absorbed by water vapor, carbon dioxide and ozone (Fig. 2). Between the spectral bands, there are bands of complete absorption of IR radiation by the atmosphere, mainly by carbon dioxide  $\text{CO}_2$  (2.6–2.9, 4.2–4.4 мкм) and water vapor  $\text{H}_2\text{O}$  (5–8 мкм) [2].

## ASTRON-3A MODULE SPECIFICATIONS

Multispectral video-thermal imaging modules ASTRON-3A (Fig. 3) are the basic elements of building a distributed railway track and railway facilities protection system against possible threats. The modules are designed taking into account the considerable experience of operating thermal imaging systems of ASTRON (Tabl.1) type for the protection of extended objects of Gazprom and RZD. Application of the well-proven thermal imaging systems ASTRON-320A100, ASTRON-320A75 in the module, which are serially produced during the last years, allows to guarantee the stable operation of the module within three years (or more than 30,000 operating hours).

Multispectral module ASTRON-3A works in two ranges of radiation: visible and far infrared (7–14 мкм). In the module, in addition to thermal imaging, a video channel with a range of vision and recognition of up to 1000 meters is provided. Viewing angles of video and thermal imaging channel are identical. The video channel is used mainly in the daytime. However, the use of low-level sensors in the visible range cameras allows using the optical channel at low illumination (up to 0.001 lx), which is especially effective during the morning and evening

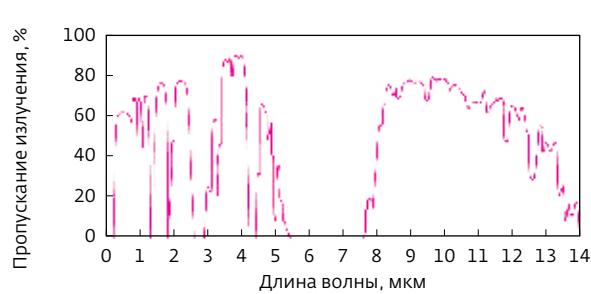
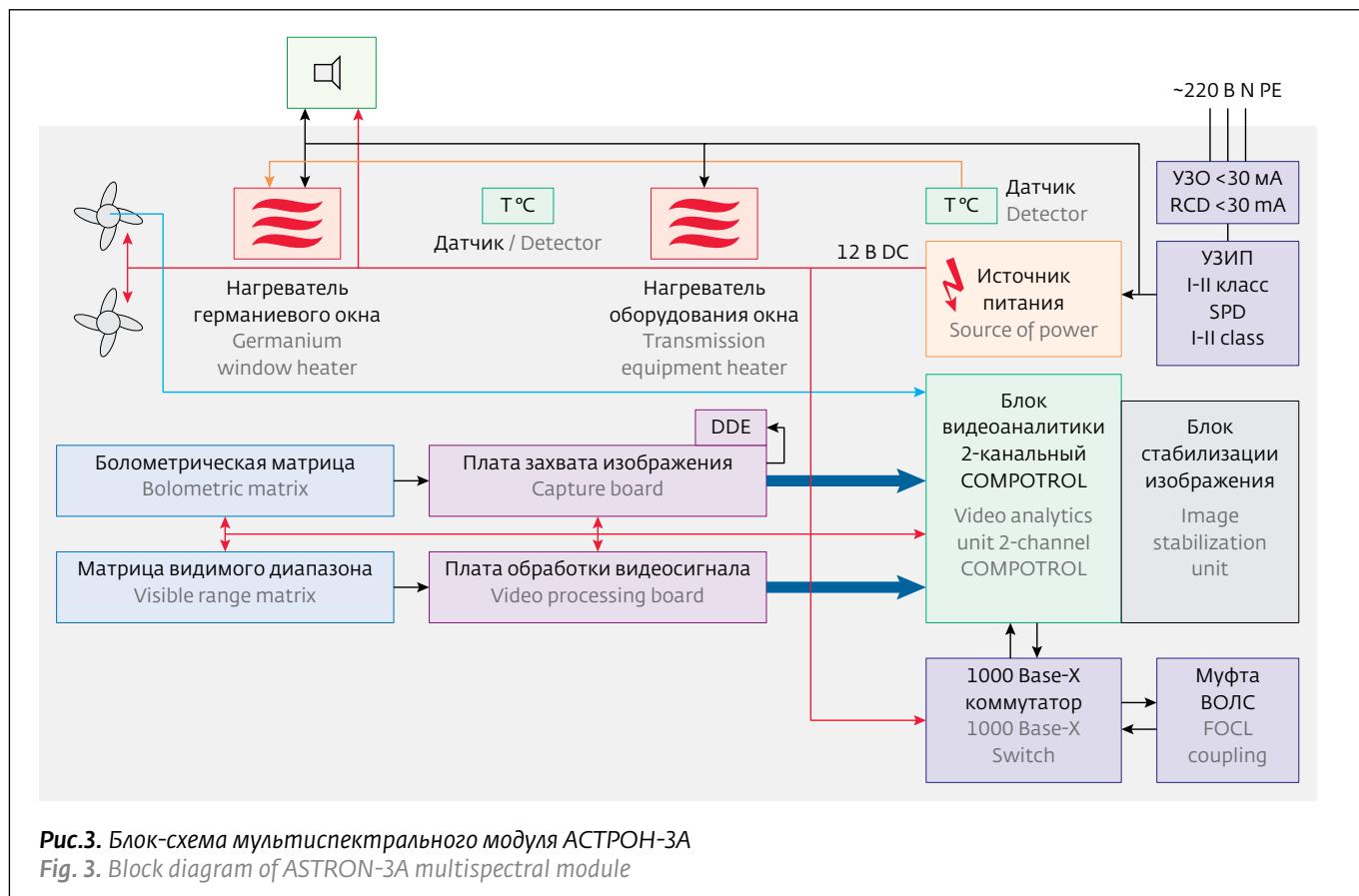


Рис.2. Спектр пропускания атмосферы Земли  
Fig. 2. Earth's transmissivity spectrum

**Таблица 2.** Тепловизионный, телевизионный блок и блок передачи**Table 2.** Thermal, television and transmission unit

№	Обозначение на схеме Symbol in the diagram	Описание Description	Назначение Designation
1	Болометрическая матрица Bolometric matrix	Неохлаждаемая матрица из оксида ванадия Uncooled matrix of vanadium oxide	Обеспечивает детектирование в фокальной плоскости изменения температурного поля, вызванного нагревом ИК-лучами пикселей болометрическим измерением температуры Provides detection in the focal plane of the change in the temperature field caused by heating by IR-rays of pixels by bolometric measurement of temperature
2	Плата захвата Capture board	Блок обработки информации Information processing unit	Плата захвата производит обработку информации от матрицы о значениях температурных полей и преобразование их в видеоизображение. The capture board processes information from the matrix about the values of the temperature fields and converts them into a video image.
3	Телевизионная матрица TV matrix	Высокочувствительная матрица Highly sensitive matrix	Прием светового излучения видимого диапазона и выдача сигнала на плату обработки Receiving light from the visible range and issuing a signal to the processing board
4	Плата обработки видеосигнала Video processing board	Обработка сигналов от телевизионной матрицы Processing of signals from TV matrix	Обработка сигнала матрицы, накопление зарядов, умножение сигнала для увеличения чувствительности, противотуманные эффекты Matrix signal processing, charge accumulation, signal multiplication for increased sensitivity, anti-fog effects
5	Блок видеоаналитики Comptotrol COMPOTROL video analytics unit	Сервер обработки видеоданных Video processing Server	Видеоанализ полученного от платы захвата видеоизображения по заданным многопараметральным условиям. Доступны все условия анализа: вход и выход из зоны, пересечение границы, детекция размеров и скорости, антидребезг, оставленные предметы и др. Интерфейс интуитивно понятен и настраивается удаленно из ОПО. Сигналы от этого блока также управляют обдувом германиевого окна при прохождении поезда, выдают тревогу на ОПО. Video analysis of video image capture received from the capture board for specified multiparameter conditions. All the analysis conditions are available: entry and exit from the zone, border crossing, detection of sizes and speeds, anti-bounce, abandoned items, etc. The interface is user-friendly and remotely configured from the Border patrol department. Signals from this unit also control the blown-off of the germanium window during the passage of the train, generate alarm at the Border patrol department.
6	DDE DDE	Блок автоматической настройки контраста и деталей. Аналог PIXIM для тепловидения Automatic adjustment of contrast and detailing. PIXIM analog for thermal imaging	Температурный диапазон, детектируемый в кадре матрицей, превышает несколько порядков, весь динамический диапазон не может уместиться в градациях серого телевизионного экрана. Для исключения затененных участков каждый пиксель имеет свою настройку контрастности и яркости. Автоматическая настройка учитывает также температурные изменения времени года и времени суток. The temperature range detected in the frame by the matrix exceeds several orders of magnitude; the entire dynamic range cannot fit in the gray scale of the television screen. To exclude shaded areas, each pixel has its own contrast and brightness setting. Automatic tuning also takes into account the temperature changes in the time of year and time of day.
7	ВОЛС FOCL	1000 Base-x коммутатор 1000 Base-x Switch	Подключение модуля к серверу основной системы по оптоволоконному каналу Connecting the module to the main system server via fiber optic channel



вых сенсоров позволяет использовать оптический канал при низких освещениях (до 0,001 лк), что особенно эффективно во время утренних и вечерних выравниваний температур. Предусмотрено переключение камер в режим противотуманного наблюдения. Благодаря наличию двух каналов существенно увеличена обнаружительная способность модуля в любое время суток и при любых погодных условиях.

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЯ АСТРОН-3А

Жесткость и надежность крепления модуля на опору контактной сети (при применении в системах российских железных дорог) обеспечивает отсутствие колебаний и дрожания модуля во время прохождения высокоскоростных поездов. Настройка на поле зрения производится без нарушения герметичности модуля. Конструкция корпуса содержит германиевые окна с просветлением и алмазоподобным покрытием для исключения потери прозрачности в ИК-диапазоне при их загрязнении. Специальная конструкция защиты германиевых окон предотвращает их загрязнение во время прохождения поездов. Предусмотрен

temperature equalization. It is possible to switch cameras to fog monitoring mode. Due to the presence of two channels, the detectability of the module is significantly increased at any time of the day and under any weather conditions.

### DESIGN FEATURES OF ASTRON-3A MODULE

The rigidity and reliability of fastening the module to the support of the contact network (when used in the systems of Russian railways) ensures that the module does not vibrate or jitter during the passage of high-speed trains. Adjustment to the field of view is performed without damaging the module. The construction of the housing contains germanium windows with clearing and diamond-like coating to avoid spectral loss in the IR range when they are contaminated. A special design is provided for protecting germanium windows from contamination during the passage of trains. Direct heating of the germanium window is provided with simultaneous thermal calibration of the matrix for snow thawing.

Anti-vandal feature. Thanks to the mirror in the thermal imaging compartment, the optical axis of the thermal imaging module has been changed.

прямой обогрев германиевого окна с одновременной термокалибровкой матрицы для оттаивания снега.

**Антивандальность.** Благодаря зеркалу в тепловизионном отсеке изменена оптическая ось тепловизионного модуля. При разрушении внешнего защитного окна в результате попадания механических внешних предметов (камень, пуля и т.д.) производится быстрая замена съемного модуля вместе с окном. Стоимость съемного модуля в десятки раз меньше стоимости германиевого объектива и тепловизора, которые остаются при этом целыми.

**Повышение надежности.** Важными особенностями являются: отсутствие необходимости проведения работ в полевых условиях внутри модуля, высокая герметичность между отсеками и с внешней стороной корпуса, герметичность разъемов питания и оптоволокна связи, встроенная система защиты от перенапряжения по цепи питания, диэлектрическая прочность стеклопластикового корпуса, электрическая изоляция высоковольтными изоляторами с напряжением перекрытия больше разрядного напряжения разрядника. Всем этим достигается надежность работы модуля в экстремальных условиях железной дороги. Микроболометрические матрицы, прошедшие военную приемку, с работоспособностью до  $-40^{\circ}\text{C}$  исключают их деградацию при возможном отключения питания в зимнее время. Противотуманные низкоуровневые камеры видимого диапазона оснащены сверхсветосильной оптикой для распознавания объектов угроз на расстоянии до 1000 метров.

## СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОДУЛЯ АСТРОН-ЗА

Модуль содержит, кроме необходимых для тепловизионного и видимого охранного наблюдения блоков, аппаратуру для защиты самого модуля от электромагнитных помех, электрических и магнитных наводок, скачков и пульсаций напряжения, поддержания в необходимом температурном диапазоне различных блоков, обдув и прямой нагрев окна, а также некоторые другие элементы (табл. 2).

Конструкция мультиспектрального модуля АСТРОН (рис.4) включает основные узлы:

- верхний отсек (1) содержит низкоуровневую противотуманную камеру видимого диапазона, объектив и окно со щеткой;
- нижний отсек (2), содержащий призму для поворота оптической оси, систему юстировки,

When the external protective window is destroyed as a result of mechanical external objects (stone, bullet, etc.), the removable module is quickly replaced with the window. The cost of a removable module is tens of times less than the cost of a germanium lens and a thermal imager, which remain intact at the same time.

Increased reliability. Important features are as follows: no need for field work inside the module, high tightness between the compartments and the outside of the housing, tightness of power connectors and fiber optics, built-in protection against overvoltage in the power circuit, dielectric strength of the fiberglass housing, electrical insulation with high-voltage insulators with the overlap voltage greater than the discharge voltage of the arrester. All this ensures the reliability of the module in extreme conditions of the railway. Microbolometric matrices that have passed military acceptance, with performance of up to  $-40^{\circ}\text{C}$ , exclude their degradation with possible power outages in winter. Fog low-level cameras in the visible range are equipped with ultrafast optics to recognize threat objects at distances up to 1000 meters

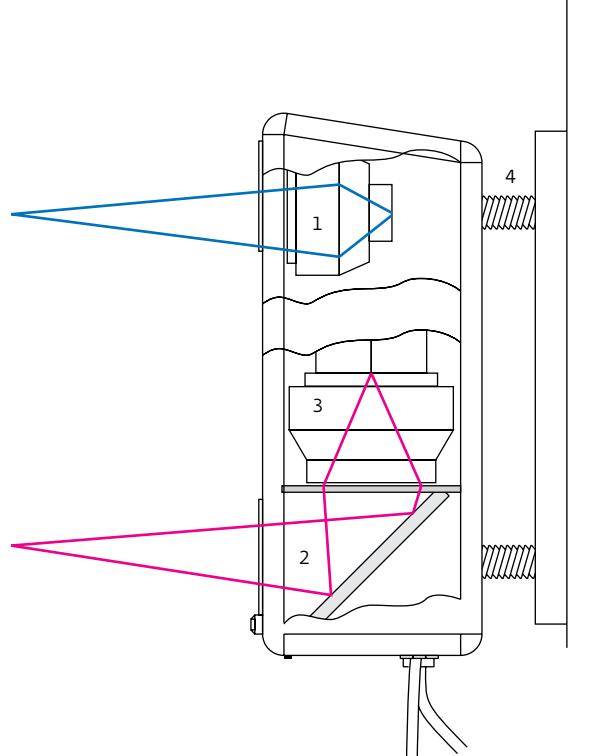


Рис.4. Конструкция модуля АСТРОН-ЗА  
Fig. 4. ASTRON-3A module design

германиевое защитное окно. Тепловое излучение от объекта через германиевое окно попадает на зеркальную призму и направляется вверх на объектив тепловизионного блока. Расположение в нижнем отсеке исключает оседание на германиевый объектив пыли и конденсата. Юстировка на объект осуществляется изменением положения зеркальной призмы. Призма выполнена в виде кассеты и легко может быть заменена вместе с германиевым окном.

- герметичный отсек (3), содержащий светосильный германиевый объектив, болометрическую матрицу, плату захвата, блок видеоанализа, устройства защиты от перенапряжения и др.

Корпус модуля установлен на высоковольтные опорные изоляторы (4) с выдерживаемым напряжением, превышающим напряжение срабатывания разрядника на линии молниезащиты (заземления) контактной сети железнодорожной дороги. Сам корпус выполнен из стеклопластика и не требует заземления.

Для удобства монтажа корпус модуля АСТРОН-3А имеет на трех сторонах посадочные места для крепления изоляторов, которые устанавливаются на пластину опоры контактной сети. Это позволяет крепить модуль в зависимости от необходимости с левой, правой сторон опоры или фронтально. Посадочные места с трех сторон на корпусе модуля под изоляторы имеют герметичное исполнение, что позволяет устанавливать модуль на любой стороне от опоры контактной сети и в любом направлении обзора от железнодорожного пути.



**Рис.5.** Технология создания германиевой оптики: а) установка выращивания кристаллов германия; б) процесс выращивания кристалла методом Чохральского; в) германиевые линзы; г) объективы с германиевой оптикой

**Fig.5.** Technology of creating germanium optics: a) plant for growing germanium crystals; b) process of crystal growth by Czochralski method; c) germanium lenses; d) lenses with germanium optics



**Рис.6.** Пример работы модуля АСТРОН-3А (условия – ночь, отсутствие освещения и легкий снег; изображение "позитивное"; дальность до человека 400 метров, тепловизиальность зоны наблюдения (выделено красным) – 1100 м)

**Fig. 6.** Example of operation of ASTRON-3A module (conditions – night, lack of light and light snow, the image is "positive", the distance to the human is 400 meters, images with thermal imagination of the observation zone (highlighted in red) – 1100 m)

**Таблица 3.** Номенклатура модулей и расстояния детектирования человека**Table 3.** Nomenclature of Modules and Human Detection Distance

Модель модуля Module model	Фокусное расстояние, мм Focal distance, mm	Апертура Aperture	Поле зрения, мм Vision field, mm	Расстояние детекции человека, м Human detection distance, m	Расстояние обнаружения человека, м Human identification distance, m
АСТРОН-3А30/08 ASTRON-3A30/08	30	0,8	22,0×18,0	150–200	500
АСТРОН-3А40/08 ASTRON-3A40/08	40	0,8	15,0×13,0	25–300	700
АСТРОН-3А50/10 ASTRON-3A50/10	50	1,0	11,7×9,8	350–400	900
АСТРОН-3А75/10 ASTRON-3A75/10	75	1,0	7,8×6,0	500–600	1 500
АСТРОН-3А100/14 ASTRON-3A100/14	100	1,4	5,7×4,8	600–800	2 500
АСТРОН-3А120/14 ASTRON-3A120/14	120	1,4	5,0×4,2	800–1 000	3 000

В нижней части корпуса модуль содержит два герметичных IP67 разъема для подключения оптоволокна и силового кабеля. В комплект поставки входит ответный штекер для разъема с подключенным оптоволокном и кабелем питания необходимой длины, согласованной с монтажной организацией. Возможны поставки с подключенными к оптоволокну муфтой и с прокалывающим зажимом для соединения провода питания с линией самонесущего изолированного провода. Муфта оптического кабеля имеет герметичное исполнение, обеспечивающее эксплуатацию модуля на открытом воздухе и не требующие дополнительной защиты.

### СВЕТОСИЛЬНЫЕ ГЕРМАНИЕВЫЕ ОБЪЕКТИВЫ МОДУЛЕЙ АСТРОН-ЗА

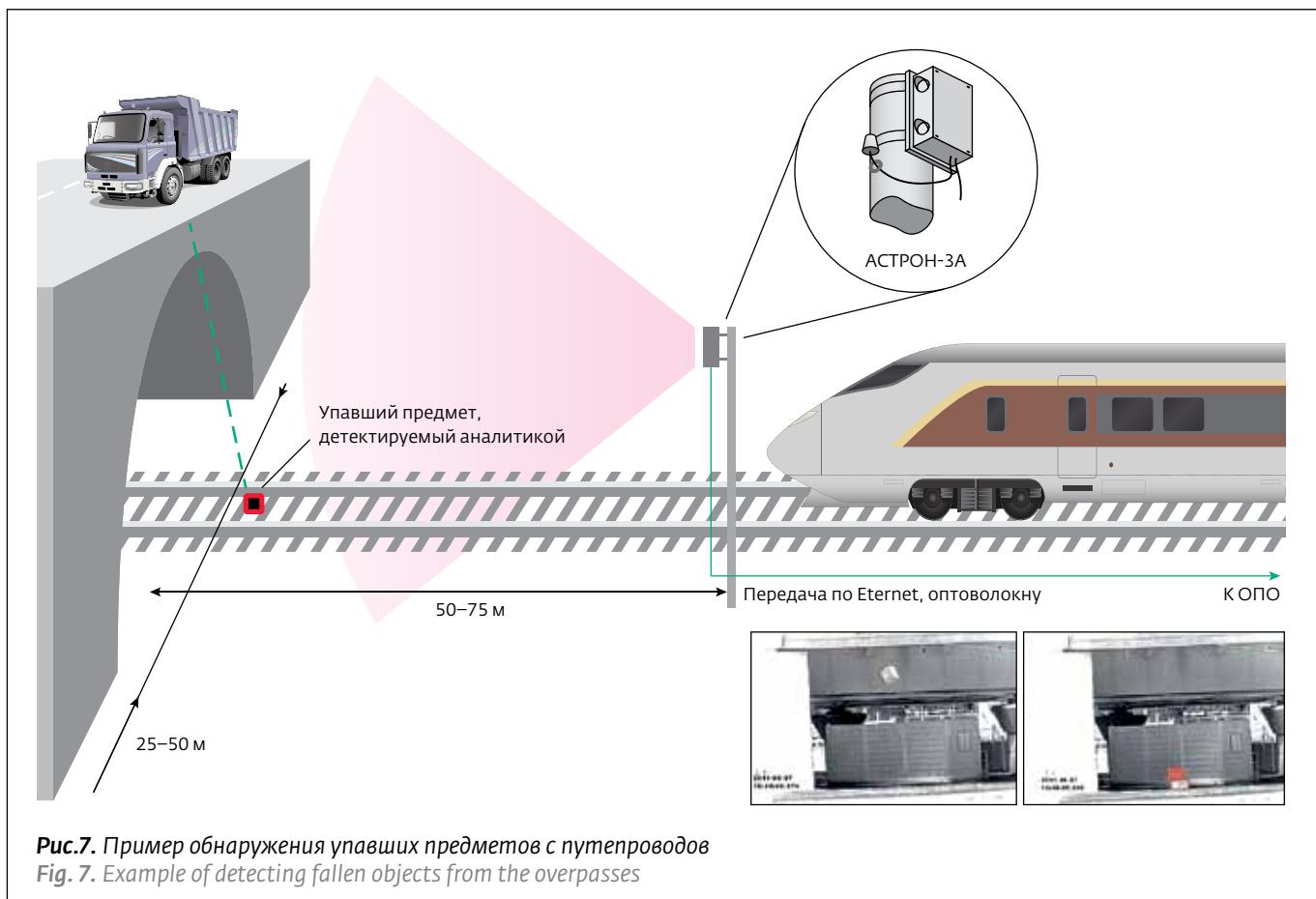
Германий пропускает спектр излучения в диапазоне 2–16 мкм и имеет высокий коэффициент преломления, что позволяет получать значительную оптическую мощность приборов в диапазоне 8–12 мкм. В тепловизионных модулях АСТРОН-ЗА применяются специально рассчитанные объективы для обнаружения людей в условиях плохой видимости на больших расстояниях. Опыт российских предприятий в области ИК-телескопов для получения и идентификации ИК-излучения звезд малой светимости позволил нам создать сверхсветосильные объективы для тепловизоров.

### ASTRON-3A MODULE HARDWARE

The module contains, in addition to the units necessary for thermal imaging and visible surveillance, equipment to protect the module itself from electromagnetic interference, electrical and magnetic interference, surges and ripples of voltage, maintaining various units in the required temperature range, window blowing and direct heating of the window and some other elements (Table 3).

The design of the multispectral module ASTRON (Fig. 4) includes the main assemblies:

- the upper compartment (1) contains a low-level fog camera in the visible range, the lens and the window with a brush;
- the lower compartment (2) contains the prism for turning the optical axis, the alignment system, the germanium protective window. Thermal radiation from the object through the germanium window falls on the mirror prism and is directed upwards on the lens of the thermal imaging unit. The location in the lower compartment eliminates dust and condensation on the germanium lens. Adjustment to the object is carried out by changing the position of the mirror prism. The prism is made in the form of a cassette and can be easily replaced with a germanium window.
- the sealed compartment (3) contains a high-power germanium lens, bolometric matrix, capture



**Рис.7.** Пример обнаружения упавших предметов с путепроводов  
**Fig. 7.** Example of detecting fallen objects from the overpasses

Нам представляется, что важность такого параметра, как диаметр объектива, недооценивается специалистами охранного телевидения и специалистами, использующими охранные тепловизоры. При малых диаметрах объектив не способен собрать от дальнего объекта необходимое количество теплового ИК-излучения для реакции болометрического пикселя. Особенно важным размер объектива становится в тепловизоре, так как болометр – это, иными словами, терморезистор, нагреваемый ИК-лучами. От того, сколько лучей попадет от объекта на болометр, будет зависеть чувствительность всего тепловизора.

Принято считать, что применять микроболометры для получения изображения на длинных дистанциях проблематично, так как требуется оптика большего размера с высокой ценой. Наш опыт показывает, что современный уровень развития технологии выращивания методом Чохральского крупногабаритных (диаметром более 100 мм) монокристаллов германия с высоким структурным совершенством позволяет получить необходимые линзы по вполне приемлемой себестоимости в промышленном масштабе [3]. Гер-

board, video analytics unit, surge protection devices, etc.

- the module housing is mounted on high-voltage support insulators (4) withstanding voltage exceeding the operating voltage of the arrester on the lightning protection line (ground) of the railway contact system. The housing itself is made of fiberglass and does not require grounding.

For the convenience of installation, the housing of ASTRON-3A module has seats for fixing insulators on three sides, which are mounted on the support plate of the contact network. This allows the module to be fixed depending on necessity on the left, right side of the support or front. Seats on three sides of the module housing under the insulators are hermetically sealed, which allows the module to be installed on either side of the support of the contact network and in any viewing direction from the railway track.

At the bottom of the housing, the module contains two sealed IP67 connectors for connecting fiber and power cable. The supply kit includes a return connector for the connector with the connected fiber and a power cable of the required length, coordinated



**Рис.8. Работающий модуль**  
**Fig. 8. Operating module**

маниеевые окна, контактирующие с агрессивной внешней средой, имеют специальное "алмазоподобное" покрытие. Оно предотвращает повреждение германиевого окна при воздействии пыли и абразивных частиц.

### **НОМЕНКЛАТУРА МОДУЛЕЙ И РАССТОЯНИЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ**

Номенклатура модулей и расстояния детектирования человека на железнодорожных путях приведены в табл.3. Расстояние детекции человека определяется встроенной в модуль интеллектуальной аналитикой. Параметры, ука-

with the installation company. The delivery is possible with the clutch connected to the fiber and with a piercing clamp for connecting the power wire to the line of the self-supporting insulated wire. The optical cable clutch has a hermetic design, which ensures the operation of the module in the open air and does not require additional protection.

### **HIGH-APERTURE GERMANIUM LENSES OF ASTRON-3A MODULES**

Germanium passes the spectrum of radiation in the range of 2-16  $\mu\text{m}$  and has a high refractive index, which makes it possible to obtain a high optical power of devices in the range 8-12  $\mu\text{m}$ . In thermal imaging ASTRON-3A modules, specially designed lenses are used to detect people in the conditions of poor visibility over long distances. The experience of the creation by Russian enterprises of infrared telescopes for obtaining and identifying IR radiation from low-luminosity stars allowed us to create ultra-light lenses for thermal imagers. It seems to us that the importance of such a parameter as the diameter of the lens is underestimated by CCTV specialists and the specialists using security thermal imagers. With small diameters, the lens is not able to collect the required amount of thermal IR radiation from the far object for the bolometric pixel response. The size of the lens becomes particularly important in the thermal imager, since the bolometer is, in other words, a thermistor, heated by infrared rays. The sensitivity of the entire thermal imager depends on how many rays will get from the object to the bolometer.

It is generally accepted that it is problematic to apply microbolometers to obtain images at long



занные в таблице, представлены на основе опыта эксплуатации на главном ходу железной дороги. Данные могут отличаться от расчетных по методу Джонсона, так как реальная эксплуатация учитывает особенности железнодорожной инфраструктуры.

## Интеллектуальный видео- и термоанализ

В модуле АСТРОН-ЗА применяется встроенная интеллектуальная видео- и термоаналитика. Настройка аналитики имеет дружественный интерфейс, понятный любому пользователю компьютера. Все настройки производятся из Ситуационного центра. Настраиваются все стандартные модели угроз, разработанные экспериментальным путем. Настройка интуитивно понятна и заключается в калибровке горизонта и перспективы с учетом реальных размеров по манекенам человека и выделении зон контроля с определением функций.

## Особенности аналитики АСТРОН-ЗА

Особенности работы аналитики заключаются в условиях эксплуатации и специфики тепловизионного изображения: детектирование объектов до 2-3 пикселов при разрешении  $324 \times 256$  тепловизионного сенсора, значительно больший диапазон анализируемых температур, чем 256 градаций серого обычных телевизионных изображений, особенности распознавания локомотивов и составов поездов, особенности работы при пылевых, снежных буряках, сопровождающих проход высокоскоростных поездов, дрожание анализируемого изображения.

## Распознавание человека и предметов

Интеллектуальная аналитика видео и термоизображения способна распознавать не только тип объекта (человек, собака, предмет, поезд и т.д.) но и определяет его размеры и скорость движения (рис.6). Именно данные распознавания встроенной аналитикой (объективный фактор) указаны в табл.3 модельного ряда модулей.

## Особенности одновременной регистрации в видимом и тепловом спектре

Благодаря наличию двух каналов существенно увеличилась обнаружительная способность модуля в дневное, утреннее и вечернее время. Отдельный анализ видеоизображения дублирует тепловизионный канал, дополняя его. Высокая обнаружительная способность модуля, проявля-

distances, since the larger optics at a higher price are required. Our experience shows that the current level of development of the technology of growing large-diameter (with a diameter of more than 100 mm) single crystals of germanium by Chochralski method with high structural perfection makes it possible to obtain the necessary lenses at a quite acceptable cost price on an industrial scale [3]. Germanium windows that come into contact with aggressive external environment have a special "diamond-like" coating. It prevents damage to the germanium window when exposed to dust and abrasive particles.

## NOMENCLATURE OF MODULES AND DISTANCE OF HUMAN DETECTION ON RAILWAY TRACKS

The nomenclature of modules and the distance of human detection on railway tracks are given in Table 3. The distance of human detection is determined by the intelligent analytics built into the module. The parameters indicated in the table are presented based on operational experience on the main course of the railway. The data may differ from those calculated by the Johnson method, since the actual operation takes into account the specific features of the railway infrastructure

## Intelligent video and thermal analysis

ASTRON-3A module uses built-in intelligent video and thermal analytics. Analytics setup has a user-friendly interface, understandable to any computer user. All settings are made from the Management Center. All standard threat models, developed by experiment, are configured. The setting is intuitively clear and consists in the calibration of the horizon and perspective, taking into account the actual dimensions of the human dummies and the allocation of control zones with the definition of functions

## Features of ASTRON-3A analytics

Features of analytics consist in terms of operation and specificity of the thermal imaging: detection of objects up to 2-3 pixels at a resolution of  $324 \times 256$  thermal imaging sensors, a significantly wider range of analyzed temperatures than 256 gray standard television images, features of locomotive and trains recognition, with dust, snow storms, accompanying the passage of high-speed trains, jitter of the analyzed image.

## Recognition of human and objects

Intelligent analytics of video and thermal imaging is able to recognize not only the type of object



ющаяся в любое время суток и при любой погоде, обеспечивает возможность детектирования предметов, упавших с путепроводов на железнодорожные пути (рис.6 и 7). Разработаны типовые решения для двухпутных и четырехпутных линий.

### Подключение ВОЛС и наладка сетевого оборудования

Для подключения волоконно-оптического кабеля используется распределительная муфта, которая позволяет провести транзитные ВОЛС и завести необходимые оптические линии для работы модуля. Наладка всех компонентов сетевого оборудования не требует проведения работ внутри модуля и производится по сети Ethernet TCP/IP из любой точки доступа.

### Сервисное обслуживание тепловизионного модуля

Тепловизионный модуль на всем протяжении работы не требует специального сервисного обслуживания. При необходимости специальных пере-прошивок матрицы или изменения параметров выдачи, алгоритмов обработки температурных полей работы проводятся путем подключения

(human, dog, object, train, etc.) but also determines its dimensions and speed of movement (Fig. 6). Specifically, the recognition data by the built-in analytics (objective factor) are indicated in the table of the model range of the modules.

### Features of simultaneous registration in the visible and thermal spectrum

Due to the presence of two channels, the detectability of the module increased significantly during the day, morning and evening. A separate analysis of the video image duplicates the thermal imaging channel, complementing it. The high detectability of the module, which manifests itself at any time of the day and in any weather, provides the possibility of detecting objects that fell from the overpasses to railway tracks (Figs. 6 and 7). Standard solutions for two-track and four-way lines have been developed.

### Connecting fiber optic links and setting up network equipment

A distribution coupling is used to connect the fiber optic cable, which allows to conduct transit fiber-optic lines and to establish the necessary optical



через герметичный разъем кабеля питания, содержащего сервисные шины для настройки матрицы. Сервисное обслуживание блока аналитики производится через сеть Ethernet в любой точке доступа [4].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мультиспектральный модуль АСТРОН-3А является блоком полной заводской готовности, устанавливаемым на опоры контактной сети и подключаемым к системе по оптоволоконной сети (рис.8). Модуль АСТРОН-3А специально разработан для нужд железной дороги на основе серийно изготавливаемых тепловизионных и видеоблоков. Модуль полностью адаптирован для работы в условиях железной дороги. Технические решения, найденные в ходе разработки, могут быть применены как для усовершенствования существующих тепловизоров, так и для разработки тепловизоров нового поколения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко В.П., Филачев А.М. Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направления. – М.: Физматнога, 2016.
2. Смук С., Кочанов Ю., Петрошенко М., Соломицкий Д. Инфракрасные датчики длинноволнового диапазона на квантовых ямах. – Компоненты и технологии, 2014, № 1, с. 152–156.
3. <http://www.infracrystal.ru/>
4. <http://www.astrohn.ru/>

lines for the module operation. The adjustment of all components of the network equipment does not require the work inside the module and is performed via Ethernet TCP/IP network from any access point.

## Servicing of the thermal imaging module

The thermal imaging module does not require any special maintenance for the entire duration of the work. If you need special flashing of the matrix or change the output parameters, the algorithms for processing the temperature fields of work are carried out by connecting through a sealed plug of the power cable containing service buses for adjusting the matrix. The analytical unit is serviced via Ethernet network from any access point [4].

## CONCLUSION

Multispectral module ASTRON-3A is a unit of full factory readiness, installed on the supports of the contact network and connected to the system via fiber optic network (Fig. 8). ASTRON-3A module is specially designed for the needs of the railway tracks based on serially produced thermal imaging and video blocks. The module is fully adapted to work in the conditions of the railway. Technical solutions found during the development can be applied both to the improvement of existing thermal imagers and to the development of new generation thermal imagers.

## КОНКУРС-КОНФЕРЕНЦИЯ НАУЧНЫХ РАБОТ ПО ОПТИКЕ И ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Самарский филиал ФИАН и Самарский университет объявляют XV Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференцию научных работ по оптике и лазерной физике. Итоговая конференция участников конкурса состоится в Самаре с 14 по 18 ноября 2017 года.

К участию в конкурсе приглашаются студенты, аспиранты и молодые специалисты, проработавшие не более пяти лет после окончания вуза и не имеющие ученой степени. На конкурс представляются оригинальные научные работы по оптике, лазерной физике, нанотехнологиям и смежным вопросам, выполненные как лично конкурсантом, так и в соавторстве.

Молодые специалисты, имеющие ученую степень, приглашаются выступить на конференции вне конкурса с докладами.

Научные работы участников конференции будут опубликованы в Сборнике докладов XV Всероссийского молодежного Самарского конкурса-конференции научных работ по оптике и лазерной физике. Избранные работы будут опубликованы в журналах "Компьютерная оптика", "Journal of Biomedical Photonics & Engineering", "Фотоника".

Во время проведения конференции с лекциями о современных достижениях в области оптики и лазерной физики выступят ведущие ученые.

Для участия в конкурсе-конференции необходимо:

- до 23 апреля 2017 года зарегистрироваться на сайте конференции ([laser-optics.ru](http://laser-optics.ru)) и предоставить аннотацию работы;
- до 30 сентября 2017 года представить в Оргкомитет конкурсную работу (не более 7 стр).

Оргвзнос не предусмотрен.

📞 +7 846 335-57-31.

✉ orgcom@laser-optics.ru;  
laser-optics.timchenko@mail.ru.

🌐 [laser-optics.ru](http://laser-optics.ru).

А.Майорова,  
секретарь Организационного комитета