

## Разработка оптико-информационных технологий создания мультиспектральных модулей на базе ИК- и видеосистем

В. В. СТАРЦЕВ, В. К. ПОПОВ, К. Е. АНОШИН  
АО «ОКБ «Астрон»

В современных условиях актуальными являются задачи защиты от возможных угроз важных инфраструктурных объектов, таких как железнодорожные пути, газо- и нефтепроводы и т. п. Важнейшее значение в общей системе защиты имеет всепогодное обнаружение различных угроз и своевременное на них реагирование. Решающую роль здесь играют видео- и тепловизионные приборы. Сочетание нескольких спектральных каналов в оптико-электронных приборах при наличии вычислительных средств с большой скоростью обработки многомерной информации, получаемой от этих многоканальных систем, позволяет в реальном масштабе времени более надежно решать задачи обнаружения, распознавания, классификации и идентификации самых различных объектов, т. е. решать задачи обеспечения безопасности. Разработке мультиспектральных оптико-электронных приборов в настоящее время уделяется большое внимание.

### История развития ИК-детекторов и мультиспектральных модулей

Технологии производства инфракрасных детекторов развиваются и совершенствуются уже на протяжении более 200 лет с момента проведения опыта английским астрономом



У. Гершелем. Первый работоспособный электронно-оптический преобразователь был разработан Холстом в фирме «Филипс» (Голландия) в 1934 г. С середины 30-х гг. 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 г. их было выпущено несколько тысяч штук для нужд британской армии. В конце войны в американской зоне оккупации Германии на заводе Carl Zeiss была обнаружена производственная линия по выпуску тепловых головок самонаведения Kiel-IV с фотоприемниками из сульфида свинца. Крупные исследования по фотоприемникам были начаты в США в 1940 г. после организации Национального совета по оборонным исследованиям при президенте США. Совет курировал вопросы оптики и ИК-техники. 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. [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 термо-ЭДС, у пироэлектрического приемника изменяется значение поверхностного заряда, а у термоэлектронных тепловых диодов — значение тока внутренней термоэлектронной эмиссии.

Технологии изготовления тепловых детекторов достигли высокой степени совершенства и предопределили ряд преимуществ, благодаря которым сенсоры этого типа занимают доминирующее положение на рынке. Их достоинства — простота конструкции и отсутствие необходимости в охладителе. Практически нет необходимости в сервисном обслуживании. Микроболометры не требуют охлаждения, для них достигнут температурный эквивалент шума (NETD) 40–50 мК для апертурного числа 1. [2]

Актуальность создания многоканальных систем остро стояла перед разработчиками уже начиная с середины 80-х гг. прошлого века. Проектированием оптико-электронных приборов, работающих в различных областях спектра (видимом и ближнем ИК-, среднем и дальнем ИК-диапазонах), начали заниматься уже в то время, хотя в распоряжении разработчиков находилась весьма ограниченная номенклатура фотоприемников

### Основные принципы построения мультиспектрального модуля

Самым распространенным способом создания мультиспектральных систем до сих пор остается размещение в составе прибора нескольких рабочих каналов, каждый из которых работает в собственном диапазоне спектра. Например, мультиспектральные видеотепловизионные модули «Астрон-3А» (рис. 1), разработан-

Табл. 1

Общие характеристики модуля «Астрон»

Наименование параметра	Значение	Примечание
Напряжение питания	~220В (+50/-100В)	Возможно 12 В, 24В, 48В
Установленная мощность	не более 20 Вт	
Изоляция по входу	3000 В	
Импульсный ток	до 20 кА	разрядный до 150кА
Частота сети питания	50 Гц	Отклонение от 45 до 65Гц
Допустимая вибрация	2 G	
Разрешение видеоканала	1280*960, 720*576	возможно до 5Мпкс
Частота кадров	25 кадров/сек	
Протоколы сжатия видео	M-JPEG, H.264	
Дальность обнаружения	1200 метров	обнаружение человека
Дальность распознавания	1000 метров	детекция аналитикой
Спектральный диапазон	7–14 мкм	болومتر FPA
Разрешение ИК-сенсора	384*288	
Фокусное расстояние	120, 100, 75, 60, 40 мм	соответствующая оптика
Апертура	f / 1,4, 1,0, 0,8	большая светосила
Размер точки ИК-матрицы	25 мкм	
Стандарт передачи видео	PAL, NTSC	

ные ОКБ «Астрон», 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» по охране протяженных объектов «Газпрома» и РЖД. Применение в модуле хорошо зарекомендовавших себя тепловизионных систем «Астрон-320А100», «Астрон-320А75», которые серийно выпускаются на протяжении последних лет, позволяет гарантировать устойчивую работоспособность модуля в течение 3 лет (или более 30000 часов наработки).

Мультиспектральный модуль «Астрон-3А» работает в двух диапазонах излучения: видимом и дальнем ИК (7–14 мкм). В модуле кроме тепловизионного предусмотрен видеоканал с дальностью видения и распознавания до 1000 м. Углы обзора видео- и тепловизионного каналов идентичны. Видеоканал используется в основном в дневное время. Однако применение в камерах видимого диапазона низкоуровневых сенсоров позволяет использовать оптический канал при низких освещенностях (до 0,001 лк), что особенно эффективно во время утренних и вечерних выравниваний температур. Благодаря наличию двух каналов существенно увеличена обнаружительная способность модуля в любое время суток и при любых погодных условиях.

#### Состав технических средств модуля «Астрон-3А»

Модуль содержит, кроме необходимых для тепловизионного и видимого охранного наблюдения блоков, аппаратуру для защиты



Рис. 1. Блок-схема мультиспектрального блока «Астрон-3А»

самого модуля от электромагнитных помех, электрических и магнитных наводок, скачков и пульсаций напряжения, поддержания в необходимом температурном диапазоне различных блоков, обдув окна и прямой нагрев окна и др. (табл.2).

#### Конструкция мультиспектрального модуля «Астрон»

Модуль «Астрон-3А» (рис. 2) включает:

- верхний отсек (1), содержащий низкоуровневую противотуманную камеру видимого диапазона, объектив и окно со щеткой;
- нижний отсек (2), содержащий призму для поворота оптической оси, систему юстировки, германиевое защитное окно. Тепловое излучение от объекта через германиевое окно попадает на зеркальную призму и направляется вверх на объектив тепловизи-

Табл. 2

Тепловизионный телевизионный блок и блок передачи

№	Обозначение на схеме	Описание	Назначение
1	Болометрическая матрица	Неохлаждаемая матрица из оксида ванадия	Обеспечивает детектирование в фокальной плоскости изменения температурного поля, вызванного нагревом ИК-лучами пикселей болометрическим измерением температуры
2	Плата захвата	Блок обработки информации	Плата захвата производит обработку информации от матрицы о значениях температурных полей и преобразование их в видеоизображение.
3	Телевизионная матрица	Высокочувствительная матрица	Прием светового излучения видимого диапазона и выдача сигнала на плату обработки
4	Плата обработки видеосигнала	Обработка сигналов от телевизионной матрицы	Обработка сигнала матрицы, накопление зарядов, умножение сигнала для увеличения чувствительности, противотуманные эффекты
5	Блок видеоналики Comptrol	Сервер обработки видеоданных	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 сигнал тревоги на ОПО.
6	DDE	Блок автоматической настройки контраста и деталей. Аналог PIXIM для тепловидения	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.
7	ВОЛС	1000 Base-x коммутатор	Подключение модуля к серверу основной системы по оптоволоконному каналу

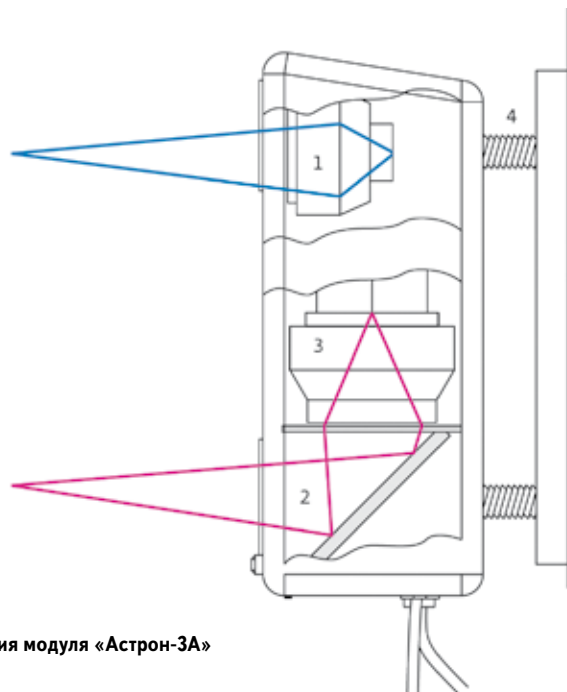


Рис. 2. Конструкция модуля «Астрон-3А»

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

Тепловизионный модуль не требует специального сервисного обслуживания. При необходимости специальных перепрошивок матрицы или изменения параметров выдачи, алгоритмов обработки температурных полей работы проводятся путем подключения через герметичный разъем кабеля питания, содержащий сервисные пины для настройки матрицы. Сервисное обслуживание блока аналитики производится через сеть Ethernet в любой точке доступа. [4]

### Особенности конструкции модуля «Астрон-3А»

В нижней части корпуса модуль содержит два герметичных разъема IP67 для подключения оптоволоконна и силового кабеля. Муфта оптического кабеля имеет герметичное исполнение для эксплуатации на открытом воздухе и не требует дополнительной защиты. Жесткость и надежность крепления модуля на опору контактной сети (при применении в РЖД) 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. Предусмотрены специальная конструкция защиты германиевых окон от загрязнения и 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 неповрежденными.

### Увеличение надежности

Важными особенностями являются отсутствие необходимости проведения работ внутри модуля в полевых условиях, высокая герметичность между отсеками и с внешней стороной корпуса, герметичность разъемов питания и оптоволоконна 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 отключении питания в зимнее время. Противотуманные низкоуровневые камеры видимого диапазона оснащены свехсветосильной оптикой для распознавания объектов угроз на расстоянии до 1000 м.

### Светосильные германиевые объективы

В тепловизионных модулях «Астрон-3А» применяются специально рассчитанные объективы с германиевой оптикой для обнаружения людей в условиях плохой видимости на больших расстояниях. Опыт создания отечественными предприятиями инфракрасных телескопов для получения и идентификации ИК-излучения звезд малой светимости позволил создать свехсветосильные объективы для тепловизоров. Нам представляется, что важность диаметра объективов недооценивают в охранном телевидении и в охранных тепловизорах. 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, по сути, терморезистор, нагреваемый ИК-лучами. От того, сколько лучей попадет от объекта на болометр, зависит чувствительность всего тепловизора.



### Распознавание человека и предметов

Особенности работы аналитики заключены в условиях эксплуатации и специфики тепловизионного изображения: детектирование объектов до 2–3 пикселей при разрешении 324 x 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 бурях, сопровождающих проход высокоскоростных поездов, дрожание анализируемого изображения. Интеллектуальная аналитика видео- и термоизображения способна распознавать не только тип объекта (человек, собака, предмет, поезд), но и определяет его размеры и скорость движения. Именно данные распознавания встроенной аналитикой (объективный фактор) указаны в таблице модельного ряда модулей (рис. 3).

### Особенности одновременной регистрации в видимом и тепловом спектре

Съемки в мультиспектральном режиме позволяют эффективно использовать преимущество как визуального, так и теплового спектров. Мультиспектральный динамический режим позволяет мгновенно получать четкие комбинированные ИК-снимки, по которым легко определить местоположение проблемы. Благодаря наличию двух каналов существенно увеличилась обнаружительная способность модуля в дневное, утреннее и вечернее время. Отдельный анализ видеоизображения дублирует тепловизионный и дополняет его. На рис. 4 приведен пример обнаружения упавших предметов с путепроводов.

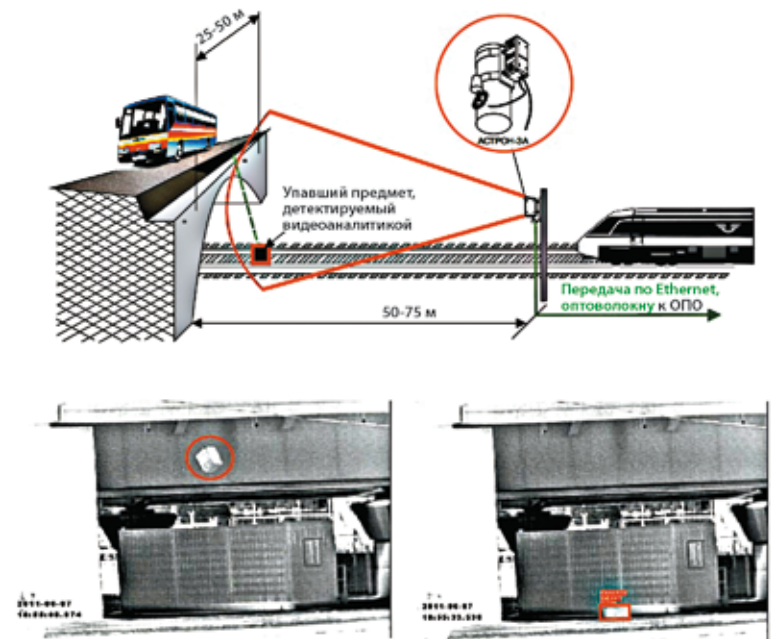
### Заключение

Технические решения, обсуждаемые в настоящей работе, могут быть применены как для усовершенствования существующих мультиспектральных модулей, так и для разработки модулей нового поколения. Потенциал совершенствования модулей серии «Астрон» далеко не исчерпан. Так, в результате проведенных конструкторским бюро «Астрон» в I квартале 2017 г. испытаний с помощью неохлаждаемого тепловизионного модуля IRidium II-640/МП/275/М с объективом 275 мм были достигнуты дальность обнаружения легкового автомобиля – 9,5 км и ростовой фигуры человека – 5,5 км. При этом погодные условия были средними с точки зрения прозрачности атмосферы, что позволяет предположить, что полученные результаты не являются предельными. Геометрический критерий оценки дальности обнаружения для тепловизионного модуля IRidium II-640/МП/275/М дает даль-



**Рис. 3. Пример изображения с тепловизионного модуля «Астрон-3А». Условия: ночь, отсутствие освещения и легкий снег. Изображение «позитивное». Дальность до человека – 400 м. Дальность зоны наблюдения (выделено красным) – 1100 м**

ность обнаружения ростовой фигуры человека до 9,7 км. Эти результаты показывают, что тепловизионные модули и оптика производства компании «Астрон» могут в некоторых случаях конкурировать с существенно более дорогими тепловизорами на основе охлаждаемых детекторов и могут быть использованы для охраны объектов с высокой протяженностью, таких как государственная граница, трубопроводы, ЛЭП и т. д. Рассмотренные варианты построения многофункциональных мультиспектральных систем позволяют говорить о широких возможностях, открывающихся для проектировщиков, создающих оптикоэлектронные приборы, предназначенные для работы во всех диапазонах электромагнитного спектра.



**Рис. 4. Пример обнаружения упавших предметов с путепроводов. Высокая обнаружительная способность в любое время суток и при любой погоде сделала возможным детектирование упавших предметов на железнодорожные пути с путепроводов. Разработаны типовые решения для двухпутных и четырехпутных линий.**

### Литература:

1. В. П. Пономаренко, А. М. Филачев. Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений. М.: Физматкнига, 2016, 417 с.
2. С. Смул, Ю. Кочанов, М. Петрошенко, Д. Соломицкий. Инфракрасные датчики длинноволнового диапазона на квантовых ямах // Компоненты и технологии, № 1, 2014, с. 152–156.
3. В. В. Старцев, В. К. Попов, К. Е. Аношин. Мультиспектральный модуль обнаружения угроз для охраны протяженных объектов на базе ИК- и видеосистем. // Фотоника, № 3, с. 82–96, 2017.
4. <http://www.astrohn.ru/>

