



## Мультиспектральная система обнаружения возгорания «ОКБ «Астрон» – технологии и экономика

В. В. Старцев, В. К. Попов,  
АО «ОКБ «Астрон», г. Лыткарино, Моск. обл., Россия

Датчики систем пожарной охраны для бюджетного потребителя имеют высокую долю ложных срабатываний. Представлен проект мультиспектральной системы обнаружения возгорания, в которой полезный сигнал выделяется на фоне ложных помех путем комбинации сигналов с сенсоров, анализирующих изображения в нескольких спектральных (видимом, среднем ИК-, тепловом ИК-) диапазонах. Приведены результаты тестовых испытаний.

**Ключевые слова:** пожарная охрана, возгорание, тление, открытый огонь, тепловизионный детектор, мультиспектральные системы обнаружения

Статья поступила: 14.01.2020

Статья принята: 28.01.2020

### ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение пожара на ранней стадии его возникновения является ключевой задачей современных систем пожарной охраны. В зависимости от состава горючих материалов и условий окружающей среды пожар на начальном этапе может характеризоваться различными факторами: локальным повышением температуры (тление), наличием дыма, пламени с дымом или только открытого пламени.

Развитие систем видеодетекции пожаров обусловлено в том числе и экономическими факторами: снижением стоимости детекторов, развитием систем беспроводной связи, появлением энергоэффективных систем связи для автономных удаленных систем, возможностью автоматического обнаружения дыма и пламени, как основного фактора, единичными пожарно-охранными системами для контроля протяженных объектов и охраняемого пространства.

## Multispectral Fire Detection System by "Design Bureau "Astron" – Technology and Economics

V. V. Startsev, V. K. Popov,  
JSC "Design Bureau "Astrohn", Lytkarino, Moscow region, Russia

The detectors of fire protection systems for the budget consumer have a high proportion of false alarms. A project of a multispectral fire detection system is presented, where a useful signal is distinguished against false interference by a combination of signals from detectors analyzing images in several spectral (visible, average IR, thermal IR) ranges. The test results are presented.

**Keywords:** fire protection, fire, smoldering, open fire, thermal imaging detector, multispectral detection systems

Received: 14.01.2020

Accepted: 28.01.2020

### INTRODUCTION

Fire detection at an early stage of its occurrence is a key task of modern fire protection systems. Depending on the composition of combustible materials and environmental conditions, a fire at the initial stage can be characterized by various factors: local temperature increase (smoldering), the presence of smoke, a flame with smoke, or only an open flame.

The development of video fire detection systems is also due to economic factors: reducing the cost of detectors, the development of wireless communication systems, the emergence of energy-efficient communication systems for autonomous remote systems, the ability to automatically detect smoke and flame as the main factor, unified fire and security systems for monitoring extended objects and protected space.

The limiting factor in the development of automatic fire detection systems for extended objects is a high proportion of false alarms. This is primarily due to the fact that high-performance thermal-looking detectors

Сдерживающим фактором развития автоматических систем детекции огня на протяженных объектах является высокая доля ложных срабатываний. Это обусловлено прежде всего тем, что высокоэффективные тепловизионные детекторы «смотрящего типа» на диапазон 3-5 мкм до сих пор являются достаточно дорогими, а применение других детекторов приводит к увеличению ложных срабатываний.

Еще одним недостатком автоматических систем является относительно небольшая дальность обнаружения огня.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Увеличение дальности действия с одновременным снижением вероятности ложной тревоги может быть обеспечено путем комбинации сенсоров, анализирующих получаемые изображения в нескольких спектральных диапазонах (видимом, среднем ИК, тепловом ИК). Многоспектральность также обеспечивает отделение полезного сигнала от ложного из-за ламп, солнца, бликов, отражений излучения и пр.

Перспективным направлением развития средств раннего обнаружения пожаров является круглосуточный дистанционный видеомониторинг в нескольких спектральных диапазонах. Преимуществами такого мониторинга является возможность обнаружения пожара на открытых протяженных объектах и пространствах, отсутствие необходимости нахождения датчиков и оборудования в непосредственной близости от потенциального очага возгорания или в контакте с ним, обнаружение пожара в начальной стадии с точным определением координат и места очага возгорания [1, 2].

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ – СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ «ОКБ «АСТРОН»

В АО «ОКБ «Астрон» разработана мультиспектральная система (комплекс) раннего обнаружения возгорания. Основной задачей этого аппаратно-программного комплекса является дистанционное автоматическое обнаружение и мониторинг пожаров встроенной аналитикой, основанной на анализе многоспектрального изображения от сенсоров видимого диапазона (0,5–0,8 мкм) и тепловизионного диапазона (3–5 мкм).

Комплекс имеет возможность круглосуточного контроля обстановки и автоматического обнаружения возгорания в радиусе до 5 км с круговым обзором 360°.

of the “looking type” for a range of 3–5 microns are still quite expensive, and the use of other detectors leads to an increase in false alarms.

Another disadvantage of automatic systems is the relatively small range of fire detection.

### SETTING OF THE PROBLEM

An increase in the range of action, while reducing the likelihood of a false alarm, can be achieved by a combination of detectors that analyze the resulting image in several spectral ranges (visible, average IR, thermal IR). Multispectrality also provides the separation of the useful signal from the false due to lamps, the sun, glare, radiation reflections, etc.

A promising area for the development of early fire detection tools is round-the-clock remote video monitoring in several spectral ranges. The advantages of such monitoring are the ability to detect fire in open extended objects and spaces, the absence of the need for detectors and equipment to be in close proximity to a potential source of ignition or in contact with it, the detection of a fire in the initial stage with accurate determination of the coordinates and location of the source of ignition [1,2].

### SOLUTION TO THE PROBLEM – AUTOMATIC DETECTION SYSTEM BY “DESIGN BUREAU “ASTRON”

JSC “Design Bureau “Astron” has developed a multispectral system (complex) for early fire detection. The main objective of this hardware-software complex is remote automatic fire detection and monitoring by built-in analytics based on the analysis of multispectral images from detectors in the visible range (0.5–0.8 μm) and thermal imaging range (3–5 μm).

The complex has the ability to monitor the situation around the clock and automatically detect a fire in a radius of up to 5 km with a 360-degree circular view.

Built-in analytics uses for color analysis the color, temperature and time characteristics in the sequence of frames of two spectral ranges and integrates the obtained temperature data for real-time fire detection. After receiving a confirmation of the fire, communication and data transfer is carried out via fiber-optic communication channels or via mobile communication channels, as well as trunking communication from complex to complex within direct visibility.

The developed automatic hardware and software complex is an autonomous optoelectronic system for multispectral observation with simultaneous registration of an optical image, a thermal imaging image, and such a key fire factor as the excess of temperature

Встроенная аналитика использует для интеллектуального анализа цветные, температурные и временные характеристики в последовательности кадров двух спектральных диапазонов и интегрирует полученные температурные данные для обнаружения пожара в реальном времени. После получения подтверждения о пожаре связь и передача данных осуществляется по оптоволоконным каналам связи или через каналы мобильной связи, а также транкинговой связи от комплекса к комплексу в пределах прямой видимости.

Разработанный автоматический аппаратно-программный комплекс является автономной оптоэлектронной системой многоспектрального наблюдения с одновременной регистрацией оптического изображения, тепловизионного изображения и такого ключевого фактора пожара, как превышение температуры над фоновой. Комплекс предназначен для раннего обнаружения пожара на протяженных объектах, промышленных предприятиях, объектах транспортной инфраструктуры, в лесном и сельском хозяйстве и т. п.

Многоспектральный комплекс состоит из цветной цифровой видеокамеры, матричных микролометрических неохлаждаемых тепловизионных фотоприемников на диапазон излучения 3-5 мкм, с полями зрения, соответствующими полю зрения видеокамеры, блоков питания, управления и обработки, помещенных в общий корпус (рис. 1). Изображение в видимом (0,5-0,8 мкм) и тепловизионном (3-5 мкм) совмещаются для целей анализа в обоих диапазонах по технологии «fusion». Суть ее заключается в полном совмещении тепловизионного и телевизионного изображений в одном кадре. В зависимости от погодных условий оператор имеет возможность наблюдать сцену в разных спектральных диапазонах: в видимом 0,35-0,78 мкм, или в тепловизионном 3-5 мкм, или смесь обеих картинок.

Программное обеспечение (ПО) обработки данных совместно использует данные видео, тепловизионного канала и пространственно-временные изменения объектов для классификации областей пожара по вторичным признакам (дыму, нагретому воздуху) и по наличию первичных признаков (открытого огня) в последовательности кадров в реальном времени.

Как показывают расчеты, с расстояния уже 1000 м очаг пожара размером 2×2 м не будет обнаруживаться видеокамерой разрешением 2 МПкс в видимом диапазоне (0,5-0,8 мкм) с углом поля зрения объектива около 30 градусов. Такого размера очаг пожара с температурой 1500 К будет



**Рис. 1.** 90°-элемент кругового мультиспектрального тепловизионного комплекса с функцией совмещения (fusion) изображения тепловизионного и видео кадра  
*Fig. 1.* 90° element of a circular multispectral thermal imaging complex with the function of combining (fusion) images of thermal imaging and video frame

over the background. The complex is designed for the early detection of fire at extended facilities, industrial enterprises, transport infrastructure facilities, in forestry and agriculture, etc.

The multispectral complex consists of a color digital video camera, matrix microbolometric uncooled thermal imaging detectors for a radiation range of 3-5  $\mu\text{m}$ , with fields of view corresponding to the field of view of the camera, power supply, control and processing units placed in a common building (Fig. 1). The image in the visible (0.5-0.8  $\mu\text{m}$ ) and thermal imaging (3-5  $\mu\text{m}$ ) are combined for analysis purposes in both ranges using the “fusion” technology. Its essence is the complete combination of thermal imaging and television images in one frame. Depending on weather conditions, the operator is able to observe the scene in different spectral ranges: visible 0.35-0.78  $\mu\text{m}$  or thermal imaging 3-5  $\mu\text{m}$ , or a “mixture” of both pictures.

The data processing software shares video, thermal imaging channel data and spatio-temporal changes of objects to classify areas of the fire by secondary features (smoke, heated air) and by the presence of primary features (open fire) in a sequence of frames in real time.

As calculations show, from a distance of already 1000 meters a fire focus of 2 × 2 meters will not be detected by a video camera with a resolution of 2 MPx in the visible range (0.5-0.8  $\mu\text{m}$ ) with an angle of view of the lens of about 30 degrees. A fire center of this size with a temperature of 1500K will be detected by a video camera at a distance of not more than 150 m. It is optimal to use video cameras to detect secondary signs of a fire (for example, smoke). To increase the detection range of open fire, it is necessary to use photodetector arrays with a maximum



обнаруживаться видеокамерой на расстоянии не более 150 м. Видеокамеры оптимально использовать для детекции вторичных признаков пожара (например, дыма). Для увеличения дальности обнаружения открытого огня необходимо использовать фотоприемными матрицы с максимальной чувствительностью в спектральном диапазоне 700–1500 К, чему соответствует спектральный диапазон 3–5 мкм.

### СТРУКТУРА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОМПЛЕКСА

Комплекс состоит из 12 двухспектральных камер (0,5–0,8 мкм, 3–5 мкм) с полями зрения, совпадающими в обоих диапазонах, установленных в одном общем корпусе с углами между оптическими осями 30 градусов. Каждая двухспектральная камера имеет совмещение тепловизионного и видеоизображения с интеллектуальным анализом теплового поля. Анализ в спектральном диапазоне 3–5 мкм производится по модели «появление горячего объекта», превышающего температуру фона, без движения, минимальная площадь объекта 4 м<sup>2</sup>. Анализ в спектральном диапазоне 0,5–0,8 мкм производится по появлению движения объектов под углами 35–135° к горизонту, отсутствию горизонтальных перемещений, возможно увеличение площади от 100 м<sup>2</sup> и более, увеличение высоты объекта выше 5 м. В процессе настройки и тестирования интеллектуальный анализ должен иметь возможность обучения с применением нейросетевых технологий.

Применение интеллектуальной видеоаналитики с трехмерным построением перспективы и калибровкой на дистанции до горизонта, возможностью классификации объектов по параметрам площади, скорости перемещения, направления перемещения исключает возможность применения сканирующих круговых обзорных систем. Для надежной работы алгоритмов автоматического распознавания моделей угрозы и анализа контрастно-фоновой обстановки необходимо фиксированное положение без движения подстилающей поверхности. Данное требование обеспечивается только фиксированным положением оптико-электронных систем и их предварительной калибровкой по месту установки на анализ наблюдаемой сцены.

Для осуществления кругового обзора 360° без возможности кругового сканирования необходимо применение минимального количества стационарных тепловизионных камер на диапазон 3–5 мкм. При угле обзора каждой камеры 30° необходимо использование 12 камер [3,4].

sensitivity in the spectral range of 700–1500K, which corresponds to a spectral range of 3–5 μm.

### STRUCTURE OF THE MULTISPECTRAL THERMAL IMAGING COMPLEX

The complex consists of 12 two-spectral cameras (0.5–0.8 μm, 3–5 μm) with fields of view coinciding in both ranges, installed in one common building with angles between the optical axes of 30 degrees. Each two-spectral camera has a combination of thermal imaging and video images with intelligent analysis of the thermal field. Analysis in the spectral range of 3–5 microns is carried out according to the model of “appearance of a hot object” exceeding the background temperature, without movement, the minimum area of the object is 4 square meters. Analysis in the spectral range of 0.5–0.8 μm is performed by the appearance of the movement of objects at angles of 35–135 degrees to the horizon, the absence of horizontal movements, an increase in area from 100 sq. M is possible. meters or more, an increase in the height of the object above 5 meters. In the process of tuning and testing, intelligent analysis should be able to “learn” using neural network technologies.

The use of intelligent video analytics with three-dimensional perspective construction and calibration at a distance to the horizon, the ability to classify objects according to parameters of area, speed of movement, direction of movement excludes the possibility of using scanning circular survey systems. For reliable operation of algorithms for automatic recognition of threat models and analysis of the contrast-background situation, a fixed position is required without moving the underlying surface. This requirement is ensured only by the fixed position of the optoelectronic systems and their preliminary calibration at the installation site for analysis of the observed scene.

To carry out 360-degree circular viewing without the possibility of circular scanning, it is necessary to use a minimum number of stationary thermal imaging cameras in the range of 3–5 microns. When the viewing angle of each camera is 30 degrees, it is necessary to use 12 cameras [3,4].

### PECULIARITIES OF PRD SELECTION

In our opinion, the photo-receiving device (PRD) of the mid-IR range (3–5 microns) is most functional for detecting fire sources, since this range has minimal atmospheric attenuation and maximum sensitivity in the spectral range corresponding to an open flame. The radiation of the fire source in this range is maximum, while light smoke is almost transparent to radiation in this range. The energy parameters of radiation in

### ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ФПУ

Фотоприемное устройство (ФПУ) среднего ИК-диапазона (3–5 мкм), на наш взгляд, наиболее функционально для обнаружения очагов пожаров, поскольку этот диапазон имеет минимальное атмосферное ослабление и максимальную чувствительность в спектральном диапазоне, соответствующем открытому пламени. Излучение очага пожара в этом диапазоне максимально, при этом легкий дым почти прозрачен для излучения в этом диапазоне. Энергетические показатели излучения в спектральном диапазоне 3–5 мкм на несколько порядков выше значений во втором тепловизионном спектральном диапазоне 7–14 мкм. Именно по этой причине диапазон 3–5 мкм используется для детектирования очагов возгорания и открытого огня. Диапазону излучения с длиной волны 3–5 мкм соответствуют охлаждаемые тепловизионные фотоприемники на антимониде индия (InSb), а также структурах кадмий-ртуть-теллур (HgCdTe). Во втором диапазоне излучения 7–14 мкм используются неохлаждаемые болометрические приемники. Стоимость ФПУ на основе болометров при промышленном производстве на два порядка меньше, чем стоимость матриц на основе HgCdTe, InSb, при этом типичные значения NETD (температурная чувствительность, равная минимальной эквивалентной шуму разности температур, – Noise Equivalent Temperature Difference), для болометрических матриц составляет 50–100 мК (для ФПУ на основе HgCdTe типичны значения порядка 10–20 мК). Важнейшим преимуществом болометрических инфракрасных детекторов является возможность работы без охлаждения (при температурах около 300 К), в то время как большинство фотонных детекторов действуют при криогенных температурах (обычно не менее 77К).

Спектральный диапазон 7–14 мкм соответствует максимуму в диапазоне температур 30–150 °С. В этом температурном диапазоне возможно обнаружение только нагретых продуктов горения, теплого дыма. Однако в большинстве реальных атмосферных ситуаций и условий горения обнаружение возгорания по сопровождающему его дыму более результативно в видимом диапа-

the spectral range of 3–5 μm are several orders of magnitude higher than the values in the second thermal-imaging spectral range of 7–14 μm. It is for this reason that the 3–5 μm range is used to detect fires and open flames. The radiation range with a wavelength of 3–5 μm corresponds to cooled thermal imaging photo-detectors based on indium antimonide (InSb), as well as to cadmium-mercury-tellurium (HgCdTe) structures. In the second radiation range of 7–14 μm, uncooled bolometric receivers are used. The cost of PRDs based on bolometers in industrial production is two orders of magnitude lower than the cost of matrices based on HgCdTe, InSb, with typical NETD values (temperature sensitivity equal to the minimum equivalent noise of a temperature difference – Noise Equivalent Temperature Difference) for bolometric matrices 50–100 mK (for PRDs based on HgCdTe, values of the order of 10–20 mK are typical). The most important advantage of bolometric infrared detectors is the ability to work without cooling (at temperatures around 300K), while most photon detectors operate at cryogenic temperatures (usually at least 77K).

The spectral range of 7–14 μm corresponds to a maximum in the temperature range of 30–150 °C. In this temperature range, it is possible to detect only heated combustion products, warm smoke. However, in most real atmospheric situations and combustion conditions,

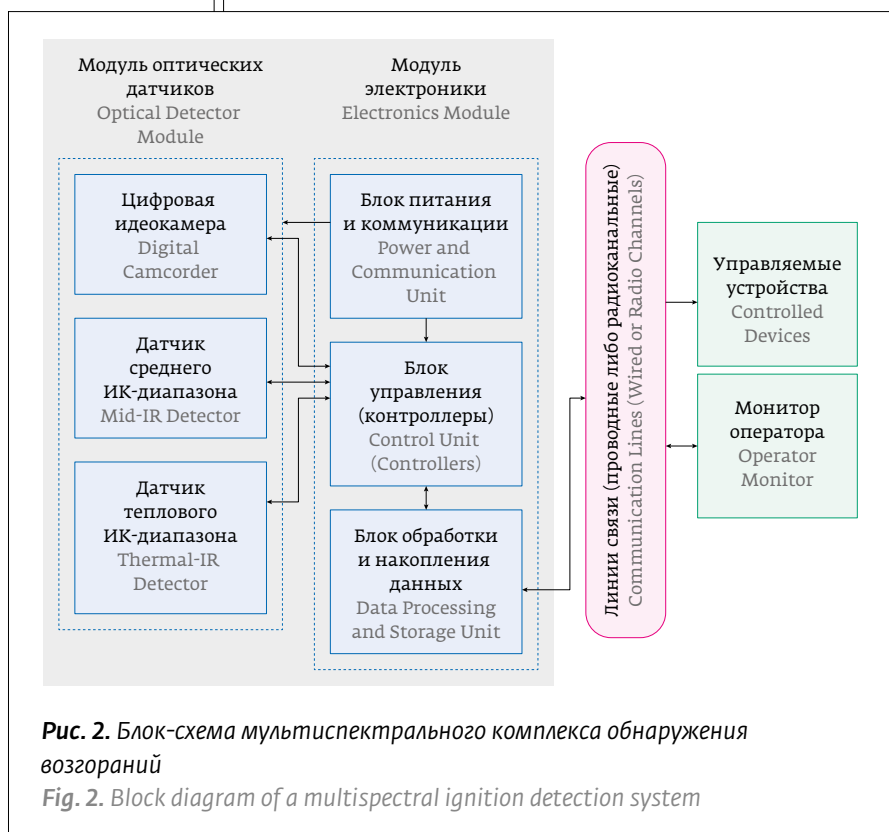


Рис. 2. Блок-схема мультиспектрального комплекса обнаружения возгораний

Fig. 2. Block diagram of a multispectral ignition detection system

зоне видеокамерами высокого разрешения. Очень редко возникновение огня происходит без продуктов горения, видимых в диапазоне 0,3–0,8 мкм, соответствующему видимому диапазону. Использование болометрических ФПУ для диапазона 7–14 мкм не обосновано по ранее указанным причинам с учетом максимума спектральной чувствительности: низкой эффективности детекции открытого огня с температурой выше 500 °С, детекции объектов с температурой до 150 °С, в том числе нагретых автомобилей, людей, приводящей к ложным срабатываниям. Возможность детекции теплого дыма и продуктов горения микроболометрическими матрицами диапазона 7–14 мкм на практике идентична возможностям их автоматического обнаружения в видимом диапазоне по нагретым частицам более 1 мкм, образующимся в результате горения и видимым в диапазоне 0,3–0,8 мкм. При этом цена микроболометрических матриц с оптикой на диапазон 7–14 мкм значительно превосходит стоимость камер видимого диапазона [5,6].

Применение охлаждаемых систем, работающих в диапазоне 3–5 мкм, приводит к значительному удорожанию всего комплекса. Единственным неохлаждаемым матричным детектором на диапазон 3–5 мкм является разработанный в «ОКБ «Астрон» детектор Астрон-64017Д.

### ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Нами установлено, что для уверенной работы комплекса достаточна общая частота анализа сцены до 5 раз в секунду. Снижение скорости совокупного анализа необходимо для полноценного анализа. Архитектура комплекса с учетом этого параметра позволяет использовать недорогие и надежные стандартные сетевые устройства, не требующие специального ПО. Это оптимально для малой пропускной способности проводной или беспроводной сети при нахождении комплекса в удаленных местах и работы в автономном режиме.

Высокая достоверность обнаружения пожара и низкая вероятность ложной тревоги, а также точность определения координат возгорания достигается как аппаратной частью (в большей степени характеристиками детекторов и ИК-матриц), так и интеллектуальным алгоритмическим обеспечением. Анализируемое изображение в обоих спектрах характеризуется большим количеством шумов и возмущений. Видимый диапазон подвержен воздействию объектов со схожими параметрами для анализа: тумана, световых бликов, движущихся теней от облаков, солнечной засветки и др. Тепловизионный диапазон характеризуется большим уровнем

the detection of fire by the smoke accompanying it is more effective in the visible range with high-resolution video cameras. Very rarely, the occurrence of fire occurs without combustion products visible in the range of 0.3–0.8  $\mu\text{m}$ , corresponding to the visible range. The use of bolometric PRDs for the range 7–14  $\mu\text{m}$  is not justified for the previously mentioned reasons, taking into account the maximum spectral sensitivity: low detection efficiency of open flames with temperatures above 500 °C, detection of objects with temperatures up to 150 °C, including heated cars, people, leading to false alarms. The possibility of detecting warm smoke and combustion products by microbolometric matrices in the range of 7–14  $\mu\text{m}$  in practice is identical to the possibilities of their automatic detection in the visible range by heated particles of more than 1  $\mu\text{m}$  resulting from combustion and visible in the range of 0.3–0.8  $\mu\text{m}$ . At the same time, the price of microbolometric matrices with optics in the range of 7–14  $\mu\text{m}$  significantly exceeds the cost of cameras in the visible range [5, 6].

The use of cooled systems operating in the range of 3–5 microns leads to a significant increase in the cost of the entire complex. The only uncooled matrix detector for the 3–5 micron range is the Astron-64017D detector developed at “Design Bureau “Astron”.

### SOFTWARE FEATURES

We found that for the complex to work confidently, the overall scene analysis frequency up to 5 times per second is sufficient. Reducing the speed of aggregate analysis is necessary for a full analysis. The architecture of the complex, taking into account this parameter, allows the use of inexpensive and reliable standard network devices that do not require special software. This is optimal for the low bandwidth of a wired or wireless network when the complex is in remote places and work offline.

High reliability of fire detection and low probability of false alarms, as well as the accuracy of determining the coordinates of ignition is achieved both by the hardware (to a greater extent by the characteristics of detectors and infrared matrices), and by intelligent algorithmic support. The analyzed image in both spectra is characterized by a large number of noise and disturbances. The visible range is affected by objects with similar parameters for analysis: fog, light flare, moving shadows from clouds, sunlight, etc. The thermal imaging range is characterized by a large level of intrinsic noise, intrinsic fluctuations of temperature fields.

To detect smoke in the visible range, it is based on an analysis of the dynamic and static properties of video images. The detector is based on an algorithm that includes the following basic steps: pre-processing

собственных шумов, собственными флуктуациями температурных полей.

Обнаружение дыма в видимом диапазоне производится на основе анализа динамических и статических свойств видеоизображений. В основе работы детектора лежит алгоритм, включающий следующие основные шаги: предобработка кадров; построение фонового кадра и поиск движущихся областей; обнаружение областей-кандидатов; классификация движущихся областей-кандидатов, выбор и анализ вероятностей классификации события как пожара. Указанные алгоритмы работы интеллектуальной аналитики могут работать только после 3D-калибровки анализируемой сцены по дальности, размерам, площадям и движению. Трехмерная калибровка анализируемой сцены позволяет определять размеры объектов и дальности в зависимости от расположения объектов относительно горизонта и перспективы, соответствующей фокусному расстоянию объективов. Трехмерную калибровку сцены, а также использование многих алгоритмов видеоанализа невозможно проводить при сканирующих системах, наличии движущейся подстилающей поверхности. Именно по этой причине обнаружение возгорания оптико-электронными системами с борта беспилотных летательных аппаратов достаточно затруднено и выполняется только с помощью человека. Применение сканирующих систем приводит к удешевлению систем мониторинга для кругового обзора, но не может решать задачи автоматического обнаружения очагов возгорания. При наблюдении днем в хорошую погоду в большей степени используется телевизионное изображение видимого спектра, в ночных условиях и при плохих погодных условиях в изображение больше подмешивается тепловизионного спектра. Преимуществом технологии является более естественная для человеческого глаза картинка поля зрения, меньшая утомляемость оператора, лучшие показатели по обнаружению и распознаванию угрозы безопасности.

Движение рассматривается как первичный признак при обнаружении дыма, и на первом этапе алгоритма для извлечения из текущего кадра медленно движущихся областей применяется метод вычитания фона. Объединение движущихся частей в связанные области-кандидаты выполняется с использованием операций математической морфологии и контурного анализа математическими алгоритмами. Отличительной особенностью алгоритма является также то, что классификация областей осуществляется на основе анализа направления их векторов движения, определяемых блочным методом вычисления оптического потока, направленных под углом от  $45^\circ$  до  $135^\circ$  к нижней горизонтальной оси кадра



Рис. 3. Тестовые испытания

Fig. 3. Testing

frames; building a background frame and searching for moving areas; detection of candidate areas; classification of the probabilities of classifying an event as a fire. The indicated algorithms for the work of intelligent analytics can work only after 3D-calibration of the analyzed scene in range, size, area and movement. Three-dimensional calibration of the analyzed scene allows you to determine the size of objects and ranges depending on the location of objects relative to the horizon and perspective corresponding to the focal length of the lenses. Three-dimensional calibration of the scene, as well as the use of many video analysis algorithms, cannot be carried out with scanning systems, the presence of a moving underlying surface. It is for this reason that the detection of a fire by optoelectronic systems on board unmanned aerial vehicles is quite difficult, and is carried out only with the help of a person. The use of scanning systems reduces the cost of monitoring systems for all-round viewing, but cannot solve the problem of automatically detecting fires. When observing during the day in good weather, the television image of the visible spectrum is used to a greater extent, at night and in bad weather conditions, the thermal imaging spectrum is more mixed into the image. The advantage of the technology is a more natural picture of the field of view for the human eye, less operator fatigue, better indicators for detecting and recognizing a security threat.

Motion is considered as the primary sign when smoke is detected, and at the first stage of the algorithm, the background subtraction method is used to extract slowly moving areas from the current frame. The combination of moving parts in connected candidate areas is performed using operations of mathemati-

(согласно основному направлению распространения дыма), в то время как наземные объекты (автомобили, люди) двигаются в горизонтальной плоскости с учетом перспективы. Дальнейшие алгоритмы связаны с вычислениями контраста Вебера. Такой подход позволяет достаточно эффективно отличать дым от реальных объектов со схожим поведением. На заключительном этапе блок классификации выдает сигнал тревоги в случае обнаружения дыма. Предлагаемый алгоритм реализован программно с использованием Visual C++ и библиотеки алгоритмов компьютерного зрения и обработки изображений OpenCV [6].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для подтверждения возможности детектирования открытого огня были проведены тестовые испытания тепловизионного детектора коротковолнового диапазона (3–5 мкм). Испытания проводились с целью подтверждения возможности детектирования открытого огня размером 2×2 м на дистанциях 5000 м и более.

Открытый огонь имел температуру более 1500 К и уверенно детектировался на дистанции до 5000 м. Тестовые испытания показали необходимость обязательного применения интеллектуального видеоанализа.

### ВЫВОДЫ

Для обнаружения очагов возгорания и начальных стадий пожаров необходимо использовать детекцию открытого огня, а также дыма и продуктов горения. Для детекции открытого огня с температурой горения или тления более 500 °С используется спектральный диапазон электромагнитного излучения

cal morphology and contour analysis by mathematical algorithms. A distinctive feature of the algorithm is that the classification of regions is based on the analysis of the direction of their motion vectors, determined by the block method of calculating the optical flux, directed at an angle from 45 ° to 135 ° to the lower horizontal axis of the frame (according to the main direction of smoke propagation), while ground objects (cars, people) move in a horizontal plane, taking into account the perspective. Further algorithms relate to Weber contrast calculations. This approach makes it possible to quite effectively distinguish smoke from real objects with similar behavior. At the final stage, the classification unit gives an alarm in case of smoke detection. The proposed algorithm is implemented programmatically using Visual C++ and the library of algorithms for computer vision and image processing OpenCV [6].

### TEST RESULTS

To confirm the possibility of detecting open flame, tests were carried out on a thermal imaging detector of the short-wave range (3–5 μm). The tests were carried out in order to confirm the possibility of detecting an open flame measuring 2 × 2 meters at distances of 5000 meters or more.

Open fire had a temperature of more than 1500K and was confidently detected at a distance of up to 5000 meters. Testing showed the need for mandatory use of intelligent video analysis.

### CONCLUSIONS

To detect foci of ignition and the initial stages of fires, it is necessary to use the detection of open flame, as well as smoke and combustion products. For the detection of



**АСТРОН**  
Оптико-механическое  
конструкторское бюро

**ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**  
140080, МО, г. Лыткарино, ул. Парковая, д.1; тел: +7 (495) 215-13-82; info@astrohn.ru, www.astrohn.ru





3–5 мкм. Обнаружение открытого огня площадью 2×2 м в проекции в этом диапазоне производится автоматически на дистанции до 5 км фотоприемными матрицами Астрон-64017Д с максимумом спектральной чувствительности 3–5 мкм. Применение болометрических матриц на спектральный диапазон 7–14 мкм с спектральной чувствительностью на температуры до 150 °С нецелесообразно по причине плохой чувствительности к высоким температурам, а применение их для детекции горячего дыма и продуктов горения менее эффективно в сравнении с камерами видимого диапазона, в том числе по параметрам цена-эффективность.

Общая стоимость комплекса для кругового обзора не превышает 7 млн рублей. Данный бюджет возможен только с использованием болометрических матриц на диапазон 3–5 мкм, использование охлаждаемых систем для работы в этом диапазоне в комплексе привело бы к значительному увеличению стоимости, примерно в 10 раз.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономаренко В. П., Филачев А. М. «Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений». – М.: Физматкнига, 2016.
2. A. Rogalski. *Infrared Detectors*. – CRC-Press Taylor Francis Group, 2-nd ed., London New York, 2011, 876p.
3. Филачев А. М., Таубкин И. И., Тришенков М. А. *Твердотельная фотоэлектроника. Фоторезисторы и фотоприемные устройства*. – М.: Физматкнига, 2012, 368 с.
4. Старцев В. В., Попов В. К., Аношин К. Е. Мультиспектральный модуль обнаружения и анализа угроз для охраны протяженных объектов на базе ИК- и видеосистем. – *Фотоника*. 2017; 63(3): 82–96. DOI: 10.22184/1993–7296.2017.63.3.82.96.
5. Кульчицкий Н. А., Наумов А. В., Старцев В. В. Неохлаждаемые микроболометры инфракрасного диапазона-современное состояние и тенденции развития. – *Нано- и микросистемная техника*. 2018; 20(10): 613–624.
6. <http://www.astrohn.com>.

## ОБ АВТОРАХ

Старцев Вадим Валерьевич, к. т. н.,  
АО «ОКБ «Астрон», <https://astrohn.ru>,  
г. Лыткарино, Моск. обл., Россия.  
ORCID ID: 0000-0002-2800-544X

Попов Владимир Константинович,  
[popov@astrohn.ru](mailto:popov@astrohn.ru), АО «ОКБ «Астрон»,  
<https://astrohn.ru>, г. Лыткарино,  
Моск. обл., Россия.  
ORCID ID: 0000-0002-2267-1994

## ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья подготовлена на основе многолетней работы всех членов авторского коллектива.

Разработка и исследования выполнены за счет собственных средств АО «ОКБ «Астрон».

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

open flames with a burning or smoldering temperature of more than 500 °C, the spectral range of electromagnetic radiation of 3–5 microns is used. An open flame with an area of 2 × 2 m in projection in this range is detected automatically at a distance of up to 5 km with Astron-64017D photodetector arrays with a maximum spectral sensitivity of 3–5 microns. The use of bolometric matrices for the spectral range of 7–14 μm with spectral sensitivity at temperatures up to 150 °C is impractical due to poor sensitivity to high temperatures, and their use for the detection of hot smoke and combustion products is less effective in comparison with cameras in the visible range, including cost-effectiveness parameters.

The total cost of the complex for a circular review does not exceed 7 million rubles. This budget is possible only with the use of bolometric matrices for a range of 3–5 microns, the use of refrigerated systems to work in this range in the complex would lead to a significant increase in cost, about 10 times.

## REFERENCES

1. Ponomarenko V. P., Filachev A. M. *Infrakrasnaya tekhnika i elektronnaya optika. Stanovlenie nauchnykh napravleniya*. – M.: Fizmatkniga, 2016.
2. A. Rogalski. *Infrared Detectors*. – CRC-Press Taylor Francis Group, 2-nd ed., London New York, 2011, 876p.
3. Filachev A. M., Taubkin I. I., Trishenkov M. A. *Tverdotel'naya fotoelektronika. Fotorezistori i fotopriemnye ustrojstva*. – M.: Fizmatkniga, 2012, 368 pp.
4. Startsev V.V., Popov V.K., Anoshin K.E. IR- and video system based multispectral module of detection and analysis of threats for the protection of extended objects. – *Photonics Russia*. 2017; 63(3): 82–96. DOI: 10.22184/1993–7296.2017.63.3.82.96.
5. Kul'chickij N. A., Naumov A. V., Starcev V. V. Neohlazhdaemye mikrobolometri infrakrasnogo diapazona-sovremennoe sostoyanie i tendencii razvitiya. – *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika*. 2018; 20(10): 613–624.
6. <http://www.astrohn.com>.

## ABOUT AUTHORS

Startsev Vadim Valerievich, Candidate of Technical Sciences, ASTROHN Technology Ltd,  
<https://astrohn.ru>, Lytkarino, Moscow region, Russia.  
ORCID ID: 0000-0002-2800-544X

Popov Vladimir Konstantinovich, [popov@astrohn.ru](mailto:popov@astrohn.ru),  
ASTROHN Technology Ltd, <https://astrohn.ru>,  
Lytkarino, Moscow region, Russia.  
ORCID ID: 0000-0002-2267-1994

## 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.

Development and research are carried out at the expense of ASTROHN Technology Ltd.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors claim that they have no conflict of interest.

25–29 | 05 | 2020

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»  
[www.metobr-expo.ru](http://www.metobr-expo.ru)



# 2020

21-я международная  
специализированная  
выставка

# МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Реклама 12+



 МИНПРОМТОР  
РОССИИ



«Оборудование,  
приборы и инструменты  
для металлообрабатывающей  
промышленности»

При поддержке:

- Совета Федерации Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ
- Союза машиностроителей России

Под патронатом ТПП РФ

Организаторы:

