



# Метод обнаружения артефактов на сложном фоне оптико-электронной системой

Ю. И. Якименко, В. И. Бобков, И. В. Якименко  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Смоленск, Россия

Предложена процедура разработки метода обнаружения с помощью пассивной оптико-электронной системы беспилотного воздушного судна на сложном фоне, образуемом излучением атмосферы в дальнем инфракрасном диапазоне (8–13 мкм). Атмосферный фон, на котором происходит обнаружение беспилотного воздушного судна, формируется излучением облачной атмосферы при наблюдении с земной поверхности. Особый интерес вызывает сложный фон, созданный кучевыми облаками различной балльности или другими классами облаков, имеющими разрывы. Принимаются следующие допущения: короткофокусная оптико-электронная система имеет широкое поле зрения, видеоинформация об артефакте и фоновой характеристике представлена в бинарном виде. Обработываемый видеопоток – это двумерный массив, элементы которого содержат информацию об уровне энергетической яркости излучения в выбранном направлении. Акценты направлены на необходимость мониторинга изменений структуры излучающего фона и отсутствие необходимости обрабатывать каждый кадр видеопотока.

**Ключевые слова:** инфракрасный диапазон, поле зрения, пассивная оптико-электронная система, роботизированная система, атмосферный фон, фоно-целевое изображение, артефакт, беспилотное воздушное судно

Статья получена: 16.05.2023  
Статья принята: 10.06.2023

# Method of Detecting Artifacts on a Complex Background by an Optoelectronic System

Yu. I. Yakimenko, V. I. Bobkov, I. V. Yakimenko  
Branch of National Research University Moscow Power  
Engineering Institute, Smolensk, Russia

A procedure for developing a detection method using a passive optoelectronic system of an unmanned aircraft against a complex background formed by atmospheric radiation in the far infrared range (8–13 microns) is proposed. The atmospheric background on which the unmanned aircraft is detected is formed by the radiation of the cloudy atmosphere when observed from the Earth's surface. Of particular interest is the complex background created by cumulus clouds of different scores or other classes of clouds with discontinuities. The following assumptions are accepted: a short-focus optoelectronic system has a wide field of view, video information about the artifact and background characteristics is presented in binary form. The processed video stream is a two-dimensional array, the elements of which contain information about the level of energy brightness of radiation in the selected direction. The emphasis is on the need to monitor changes in the structure of the emitting background and the absence of the need to process each frame of the video stream.

**Keywords:** Infrared range, field of view, passive optoelectronic system, robotic system, atmospheric background, background-target image, artifact, unmanned aircraft

The article received: May 16, 2023  
The article accepted: June 10, 2023

## 1. INTRODUCTION

The aim of the study is to develop a method of optical and information support for the detection of artifacts by a robotic system against a complex background under the following assumptions:

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Целью исследования является разработка метода оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне при следующих допущениях:

- артефактом, подлежащим обнаружению, является беспилотное воздушное судно (БВС);
- информационным каналом роботизированной системы является пассивная оптико-электронная система (ПОЭС) с широким полем зрения, работающая в дальнем инфракрасном диапазоне (8-13 мкм);
- видеoinформация о находящихся в поле зрения ПОЭС фоне и артефактах после окончательной обработки представляется в бинарном виде (рис. 1).

Атмосферный фон (АФ), на котором происходит обнаружение БВС, формируется излучением облачной атмосферы при наблюдении с земной поверхности. Особый интерес вызывает сложный фон, созданный кучевыми облаками различной балльности или другими классами облаков, имеющими разрывы. ПОЭС в процессе приема и обработки излучения атмосферного фона и БВС формирует на конечном устройстве видеопоток, каждый кадр которого представляет собой двумерный массив  $U_{N,M}$ , элементы которого содержат информацию об уровне энергетической яркости излучения в выбранном направлении.

- the artifact to be detected is an unmanned aircraft (UAV);
- the information channel of the robotic system is a passive optoelectronic system (POES) with a wide field of view, operating in the far infrared range (8-13 microns);
- video information about the background and artifacts in the field of view after final processing is presented in binary form (Fig. 1).

The atmospheric background (AB) on which the UAV is detected is formed by the radiation of the cloudy atmosphere when observed from the Earth's surface. Of particular interest is the complex background created by cumulus clouds of different scores or other classes of clouds with discontinuities. In the process of receiving and processing radiation from the atmospheric background the POES and the UAV form a video stream on the terminal device, each frame of which is a two-dimensional array  $U_{N,M}$ , the elements of which contain information about the level of energy brightness of radiation in the selected direction.

## 2. FUNDAMENTALS OF THE METHOD OF OPTICAL AND INFORMATION SUPPORT FOR ARTIFACT DETECTION

The method of optical and information support for the detection of artifacts on a complex background by a robotic system is based on the background principle of information extraction [1-4]. Its essence

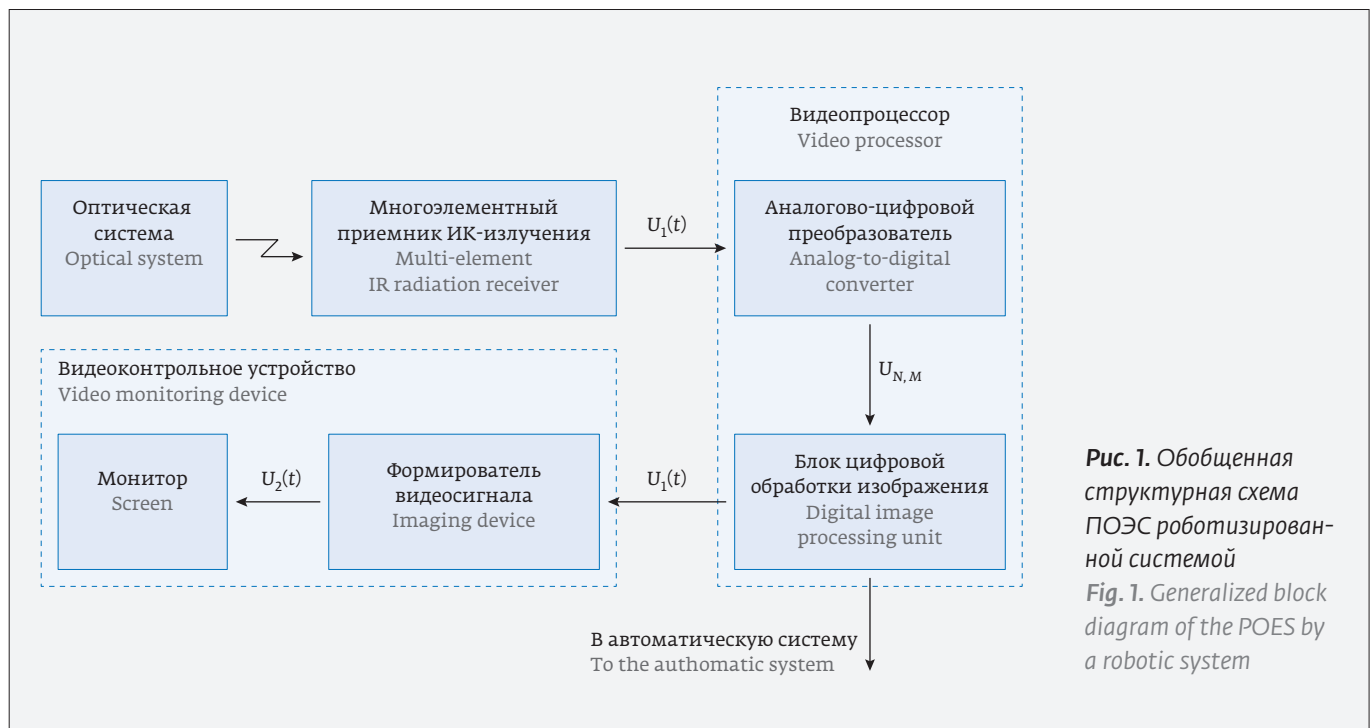
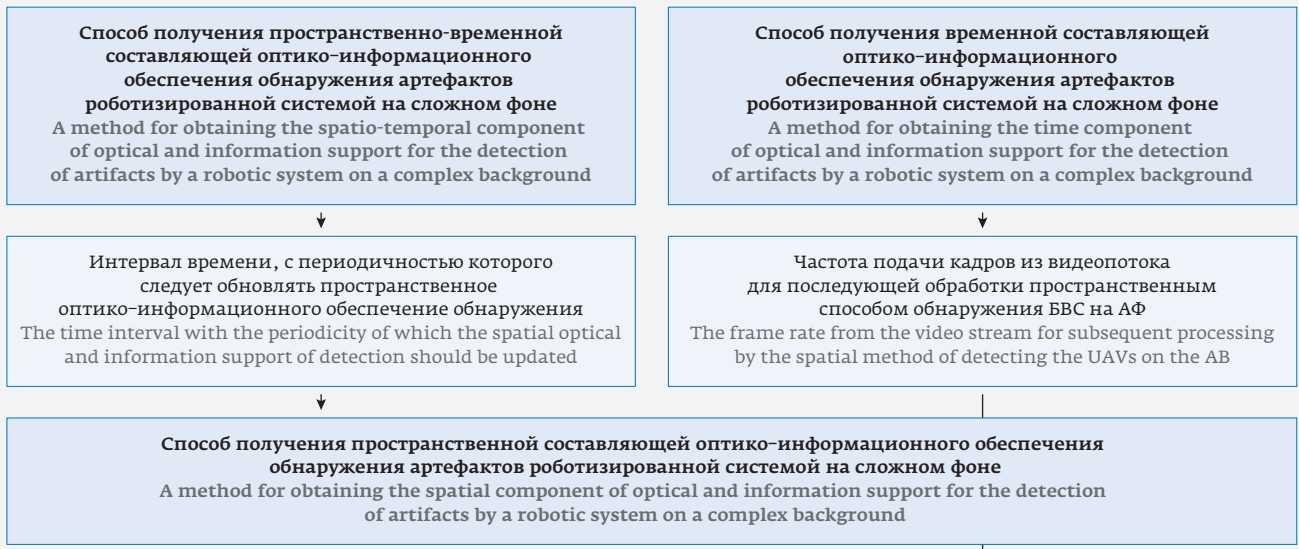


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ПОЭС роботизированной системой  
Fig. 1. Generalized block diagram of the POES by a robotic system

Фоновый принцип извлечения информации | Background principle of information extraction



Пространственный способ обнаружения БВС на АФ | Spatial method of detecting UAVs on AB

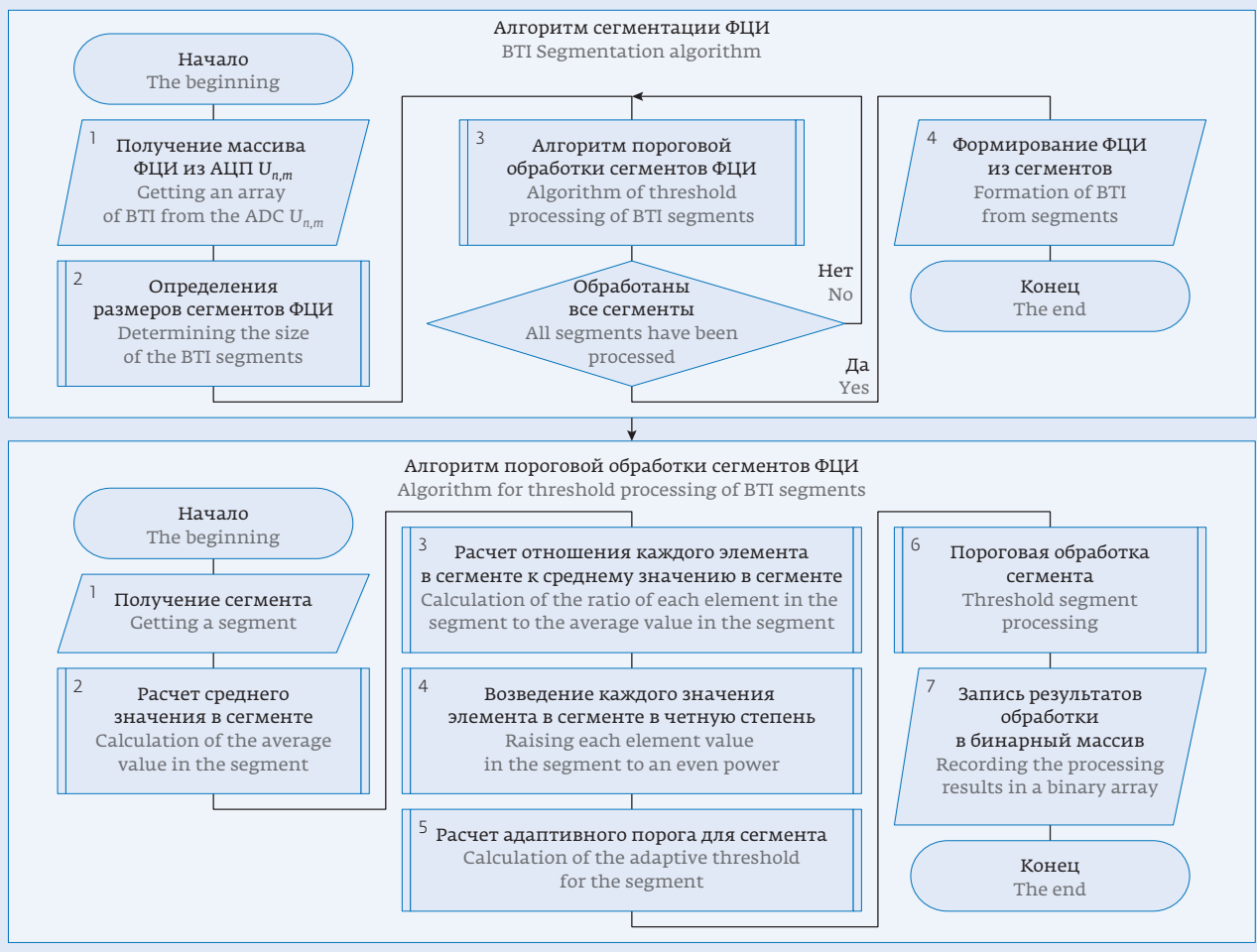


Рис. 2. Метод оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне  
 Fig. 2. The method of optical and information support for the detection of artifacts by a robotic system on a complex background

## 2. ОСНОВЫ МЕТОДА ОПТИКО-ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АРТЕФАКТОВ

Метод оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов на сложном фоне роботизированной системой основан на фоновом принципе извлечения информации [1-4]. Его суть заключается в том, что при отсутствии априорной информации о наличии БВС в поле зрения ПОЭС необходимо отслеживать локальные изменения одного или нескольких параметров пространственно-временной структуры излучения АФ, отличные от знаний о природных закономерностях. Изменения этих параметров происходят вследствие искажения природных закономерностей пространственной структуры излучения АФ излучением БВС (рис. 2) [1].

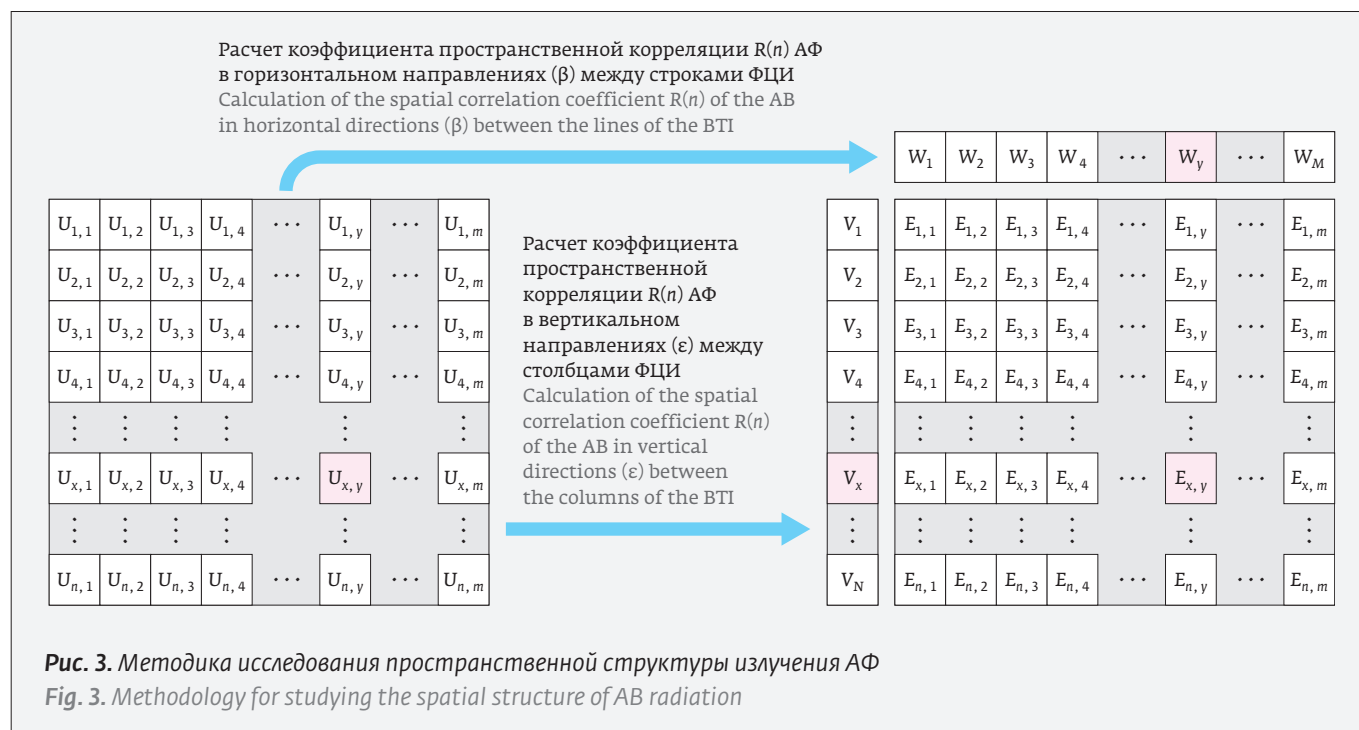
### 2.1. Способ получения пространственной составляющей оптико-информационного обеспечения

Экспериментальные исследования пространственной структуры излучения АФ заключаются в оценке зависимости коэффициента пространственной корреляции  $R(n)$  различных форм облачности в горизонтальном направлениях между строками и в вертикальном направлениях между столбцами массивов элементов фоно-целевого изображения (ФЦИ). Характерным отличием пространственной структуры излучения различных классов облачности являются размеры неоднород-

lies in the fact that in the absence of a priori information about the presence of UAVs in the field of view of the POES, it is necessary to monitor local changes in one or more parameters of the spatio-temporal structure of AB radiation different from knowledge about natural patterns. Changes in these parameters occur due to the distortion of natural patterns of the spatial structure of the AB radiation by UAV radiation (Fig. 2) [1].

### 2.1. A Method for Obtaining the Spatial Component of Optical and Information Support

Experimental studies of the spatial structure of AB radiation consist in assessing the dependence of the spatial correlation coefficient  $R(n)$  of various forms of clouds in the horizontal directions between the rows and in the vertical directions between the columns of arrays of elements of the background-target image (BTI). A characteristic difference in the spatial structure of the radiation of different cloud classes is the size of the inhomogeneities, which were determined by the value of the spatial correlation coefficients between the rows and columns of the BTI arrays, taking a value above the level of 0.5. Hence, by the level of 0.5 of the spatial correlation coefficient  $R(n)$ , knowing the step of the angular shift between the rows, it is possible to estimate the angular dimensions by the angle of the place ( $\epsilon$ ), and between the columns the angular



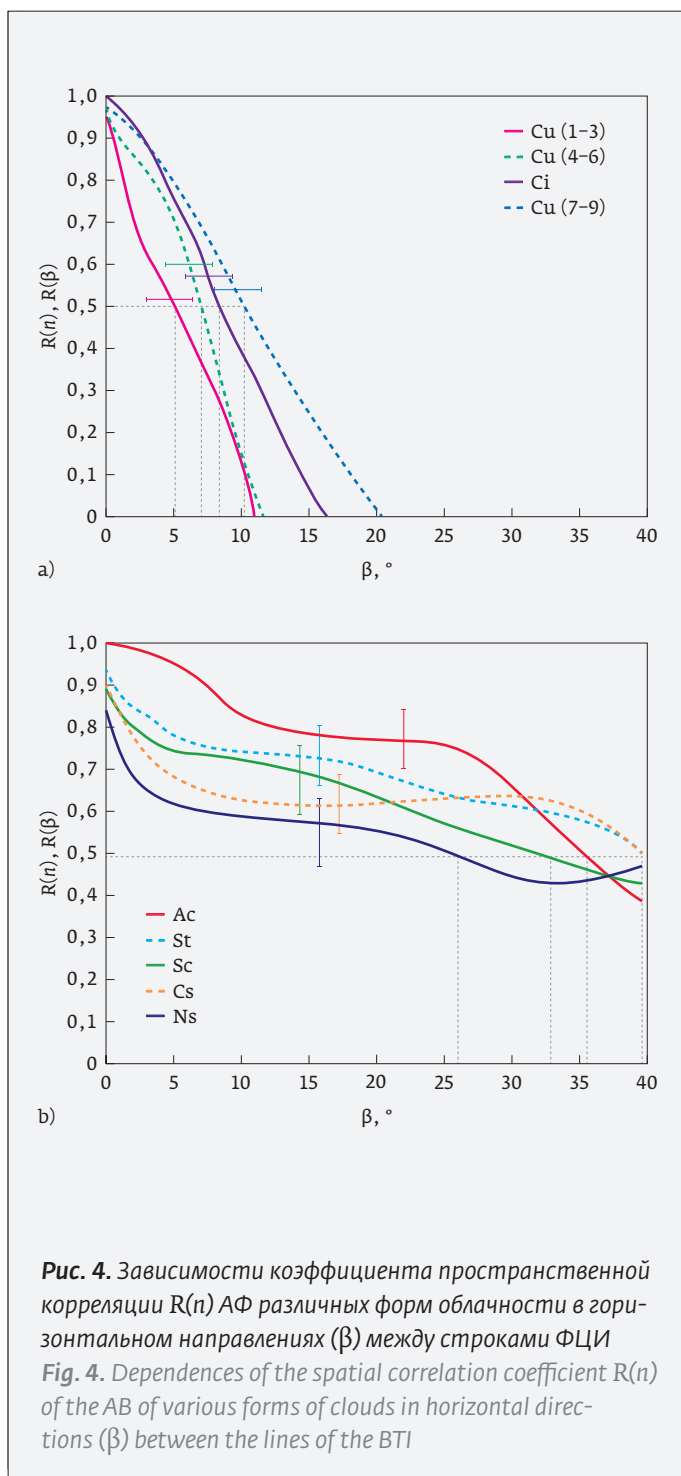
ностей, которые определялись по значению коэффициентов пространственной корреляции между строками и столбцами массивов ФЦИ, принимающими значение выше уровня 0,5. Отсюда по уровню 0,5 коэффициента пространственной корреляции  $R(n)$ , зная шаг углового сдвига между строками, можно оценить угловые размеры по углу места ( $\epsilon$ ), а между столбцами угловые размеры по азимуту ( $\beta$ ) неоднородностей АФ (рис. 3) [5-7].

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований позволили оценить в двух направлениях угловые размеры неоднородностей АФ, что стало основой пространственной составляющей оптико-информационного обеспечения обнаружения изображения БВС на АФ.

Анализ результатов исследований излучения неоднородностей АФ (рис. 4) позволил разделить их на две группы в зависимости от их углового размера:

- в первую группу входят те классы облачности, которые содержат мелкомасштабные неоднородности величиной 5-15° в вертикальном и горизонтальном направлениях: кучевая (Cu), высококучевая (Ac), перистокучевая (Cs) и перистая (Ci) (рис. 4 а).
- вторая группа включает классы облачности, которые содержат крупномасштабные неоднородности с угловыми размерами, превышающими полученные ФЦИ, составляют 25-40°: слоистая (St), слоисто-кучевая (Sc), перисто-слоистая (Cs) формы облачности и ясное небо (рис. 4 б) [1-4].

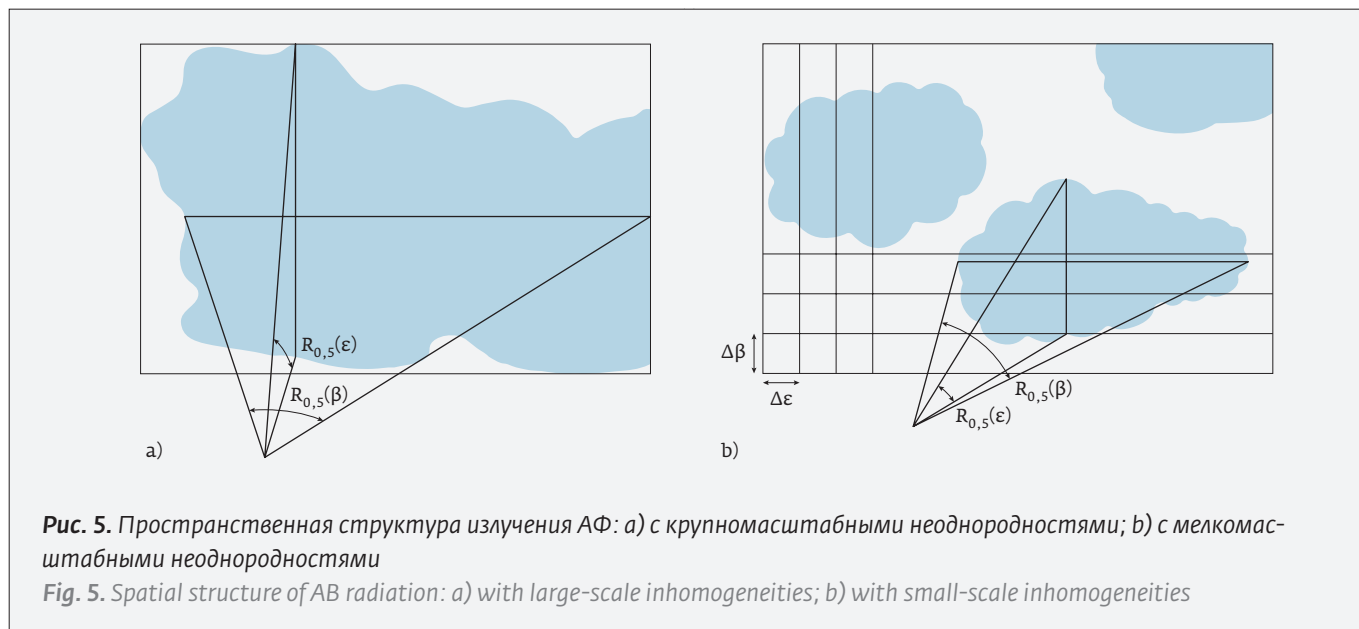
На основе полученных знаний о пространственных спектрах неоднородностей АФ и точечных изображений БВС был разработан пространственный способ обнаружения БВС на АФ (рис. 2). Сущность способа заключается в предварительной сегментации ФЦИ перед применением алгоритма пороговой обработки, что отличает его от известных способов (рис. 2). Определение размеров сегментов проводится в соответствии со способом получения пространственной составляющей оптико-информационного обеспечения обнаружения (рис. 5 а, б). Это позволяет считать, что в пределах углов, ограниченных размерами выявленных неоднородностей, случайный процесс излучения АФ может считаться стационарным, поскольку его пространственный спектр не содержит высокочастотных составляющих. В противоположность этому, случайный процесс излучения БВС пространственный спектр всегда содержит высокочастотные составляющие, что позволяет выработать решающее правило для алгоритма пороговой обработки сегментов ФЦИ (рис. 2).



**Рис. 4.** Зависимости коэффициента пространственной корреляции  $R(n)$  АФ различных форм облачности в горизонтальном направлении ( $\beta$ ) между строками ФЦИ

dimensions by the azimuth (b) of the AB inhomogeneities (Fig. 3) [5-7].

Thus, the obtained results of experimental studies made it possible to estimate in two directions the angular dimensions of the AB inhomogeneities, which became the basis of the spatial component of the optical and information support for the detection of the UAV image on the AB.



Таким образом, предложенный пространственный способ обнаружения БВС на АФ позволяет путем последовательного применения алгоритма сегментации и алгоритма пороговой обработки сегментов ФЦИ получить информацию о наличии артефактов в поле зрения ПОЭС, представленную в бинарном виде с возможностью определения координат БВС [5-7].

## 2.2. Способ получения пространственно-временного составляющей оптико-информационного обеспечения

Процесс излучения АФ связан с термодинамическими и турбулентными процессами, происходящими в атмосфере и являющимися случайным нестационарным как по пространству, так и по времени. Известно, что все случайные процессы при длительном рассмотрении по своей природе всегда нестационарны, но для каждого из них существует ограниченный интервал времени, когда случайный процесс можно считать стационарным. Для того чтобы пространственное оптико-информационное обеспечение в рамках метода обнаружения содержало стационарные характеристики случайного процесса излучения АФ, необходимо их периодически уточнять.

Такую периодичность можно оценить, используя способ получения пространственно-временной составляющей оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов на сложном фоне (рис. 2). Основой такого способа является расчет коэффициента взаимной корреляции между поступающими через равные промежутки времени кадрами

Analysis of the results of studies of the radiation of AB inhomogeneities (Fig. 4) made it possible to divide them into two groups depending on their angular size:

- The first group includes those classes of clouds that contain small-scale inhomogeneities of magnitude 5-15° in the vertical and horizontal directions: cumulus (Cu), altocumulus (Ac), cirrocumulus (Cc) and cirrus (Ci) (Fig. 4a).
- The second group includes cloud classes, which contain large-scale inhomogeneities with angular dimensions exceeding the obtained BTI, are 25-40°: stratus (St), strato-cumulus (Sc), cirro-stratus (Cs) cloud forms and clear skies (Fig. 4b) [1-4].

On the basis of the knowledge gained about the spatial spectra of inhomogeneities of AB and point images of UAVs, a spatial method for detecting UAVs on AB was developed (Fig. 2). The essence of the method consists in preliminary segmentation of the BTI before applying the threshold processing algorithm, which distinguishes it from the known methods (Fig. 2). The size of the segments is determined in accordance with the method of obtaining the spatial component of the optical and information support for detection (Fig. 5 a, b). This allows us to assume that within the angles limited by the size of the identified inhomogeneities, the random process of AB radiation can be considered stationary, since its spatial spectrum does not contain high-frequency components. In contrast, the random process of UAV radiation, the spatial spectrum always contains high-frequency components, which makes it possible to develop a decisive rule for the algorithm of threshold processing of BTI segments (Fig. 2).

видеопотока (рис. 6 а). Интервал времени, соответствующего уровню 0,5 коэффициента взаимной корреляции кадрами видеопотока (рис. 6 б), позволяет оценить время стационарности – «время жизни» характеристик пространственной структуры АФ, т. е. интервал времени, с периодичностью которого следует обновлять пространственное оптико-информационное обеспечение обнаружения [1-4].

### 2.3. Способ получения временной составляющей оптико-информационного обеспечения

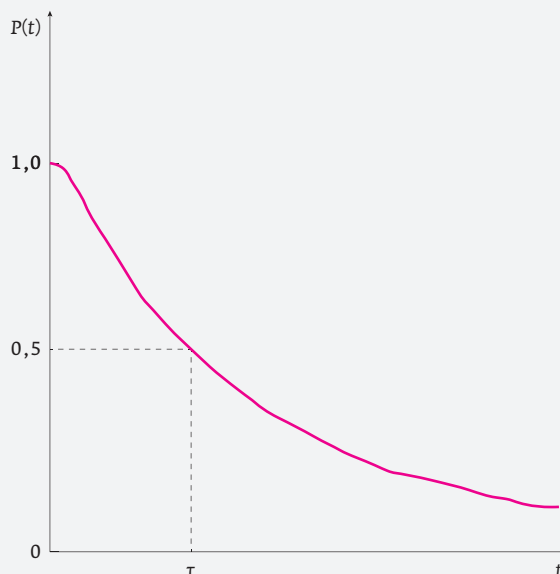
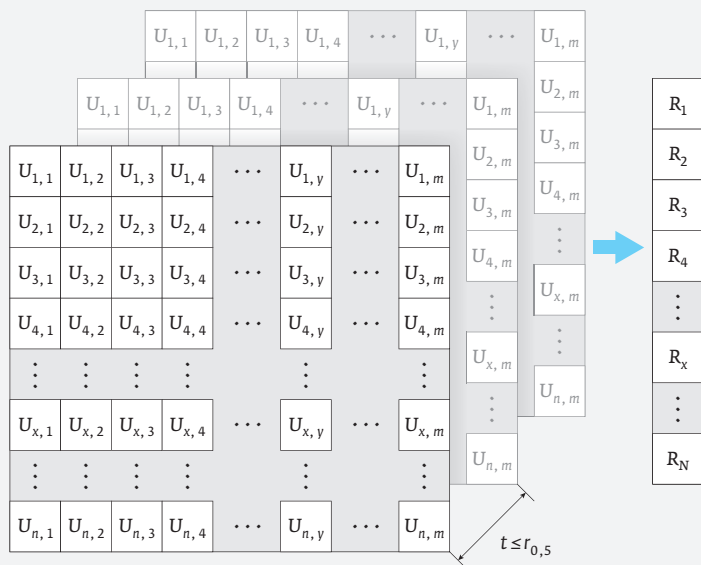
Кроме рассмотренного выше, актуальным остается вопрос о целесообразности обработки всех кадров видеопотока, формируемым ПОЭС в процессе обработки алгоритмами пространственного способа обнаружения БВС на АФ (рис. 2). Была выдвинута гипотеза о том, что частота основной гармоники спектральной плотности мощности (СПМ) флуктуаций яркости излучения неоднородностей АФ будет ниже кадровой частоты ПОЭС. Следовательно, существует возможность уменьшить количество кадров из видеопотока, подвергающихся обработке алго-

Thus, the proposed spatial method for detecting UAVs on AB allows, by sequentially applying the segmentation algorithm and the algorithm for threshold processing of BTI segments, to obtain information about the presence of artifacts in the field of view of the POES, presented in binary form with the possibility of determining the coordinates of the UAV [5-7].

### 2.2. A Method for Obtaining the Spatio-Temporal Component of Optical and Information Support

The process of AB radiation is associated with thermodynamic and turbulent processes occurring in the atmosphere, and is random non-stationary both in space and time. It is known that all random processes under long-term consideration are always non-stationary by nature, but for each of them there is a limited time interval when a random process can be considered stationary. In order for the spatial optical information support within the detection method to contain stationary characteristics of the random process of AB radiation, it is necessary to periodically refine them.

Расчет коэффициента взаимной корреляции между поступающими через равные промежутки времени кадрами видеопотока  
Calculation of the coefficient of mutual correlation between the frames of the video stream arriving at regular intervals



а) **Рис. 6.** Методика исследования пространственно-временная структура излучения АФ (а); усредненный вид оценки коэффициента взаимной корреляции  $R(t)$  между кадрами видеопотока (б)

Fig. 6. Research methodology spatial-temporal structure of AB radiation (a); averaged type of estimation of the coefficient of mutual correlation  $R(t)$  between the frames of the video stream (b)

ритмами в рамках пространственного способа обнаружения БВС на АФ.

Для нахождения оптимальной частоты обработки кадров был разработан способ получения временной составляющей оптико-информационного обеспечения. Оценка временной изменчивости проводилась путем оценки частоты основной гармоники СПМ флуктуаций яркости излучения неоднородностей АФ, образованных различными классами облачности, и согласования с ней частоты подачи кадров для обработки из видеопотока.

Для получения оценок СПМ были проведены измерения флуктуаций яркости излучения неоднородностей АФ в фиксированных направлениях по углу места ( $\epsilon$ ) в пригоризонтной области с частотой дискретизации, в тысячу раз выше кадровой развертки. При этом значение азимута ( $\beta$ ) оставалось постоянным в течение нескольких минут (рис. 7 а). В каждом исследованном направлении были получены последовательности из нескольких тысяч значений флуктуаций яркости излучения неоднородностей АФ для различных классов и баллов облачности [1-4].

Полученные массивы были подвергнуты статистической обработке с применением периодограммного метода оценки СПМ. Результатами

Such periodicity can be estimated using a method for obtaining the spatio-temporal component of optical and information support for detecting artifacts on a complex background (Fig. 2). The basis of this method is the calculation of the coefficient of mutual correlation between the frames of the video stream arriving at regular intervals (Fig. 6a). The time interval corresponding to the level of 0.5 of the coefficient of mutual correlation between the frames of the video stream (Fig. 6 b) allows us to estimate the stationarity time – the “lifetime” of the characteristics of the spatial structure of the AB, i. e. the time interval with the periodicity of which the spatial optical and information support of detection should be updated [1-4].

### 2.3. Method of Obtaining the Time Component of Optical and Information Support

In addition to the above, the question of the expediency of processing all frames of the video stream generated by the POES during processing by algorithms of the spatial method of detecting UAVs on AB remains relevant (Fig. 2). The hypothesis was put forward that the frequency of the fundamental harmonic of the spectral power density (SPD) fluctuations in the brightness of the radiation of AB inhomogeneities will be

ОАО «ММЗ имени С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО»



## Оптический завод «Сфера»

«Оптический завод «Сфера» основан в 1994 году как филиал ОАО «Минский механический завод имени С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга БелОМО» для производства оптических элементов. В настоящее время завод выпускает большое количество оптических элементов различной сложности по чертежам Заказчика. Оптические элементы, произведенные «Оптическим заводом «Сфера», успешно применяются во многих уникальных оптоэлектронных системах.

Для производства высокотехнологичной продукции проводится техническое переоснащение производства, проводится модернизация производственных мощностей с целью увеличения объемов производства. Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям версии ГОСТ ISO 9001:2015.

Многолетний опыт производства оптических элементов, высококвалифицированный персонал предприятия позволяют удовлетворить любую потребность Заказчика.

Республика Беларусь, 220114,  
г. Минск, ул. Макаенка, 23  
Тел.: (+375 17) 325-52-91  
Тел./факс: (+375 17) 276-27-71  
E-mail: sfera.ved@belomo.by; sfera@belomo.by

[www.belomo.by](http://www.belomo.by)



статистических исследований стал интервал 0,08–0,25 Гц оценки основной частоты гармоника СПМ флуктуаций яркости излучения неоднородностей АФ, образованных облачностью различных классов и баллов. Исходя из полученных результатов, появилась возможности выбора оптимальной частоты подачи кадров из видеопотока для последующей обработки пространственным способом обнаружения БВС на АФ на частотах, значительно ниже (до 1 Гц), чем кадровая частота (50 Гц) видеопотока (рис. 7 б).

### ВЫВОДЫ

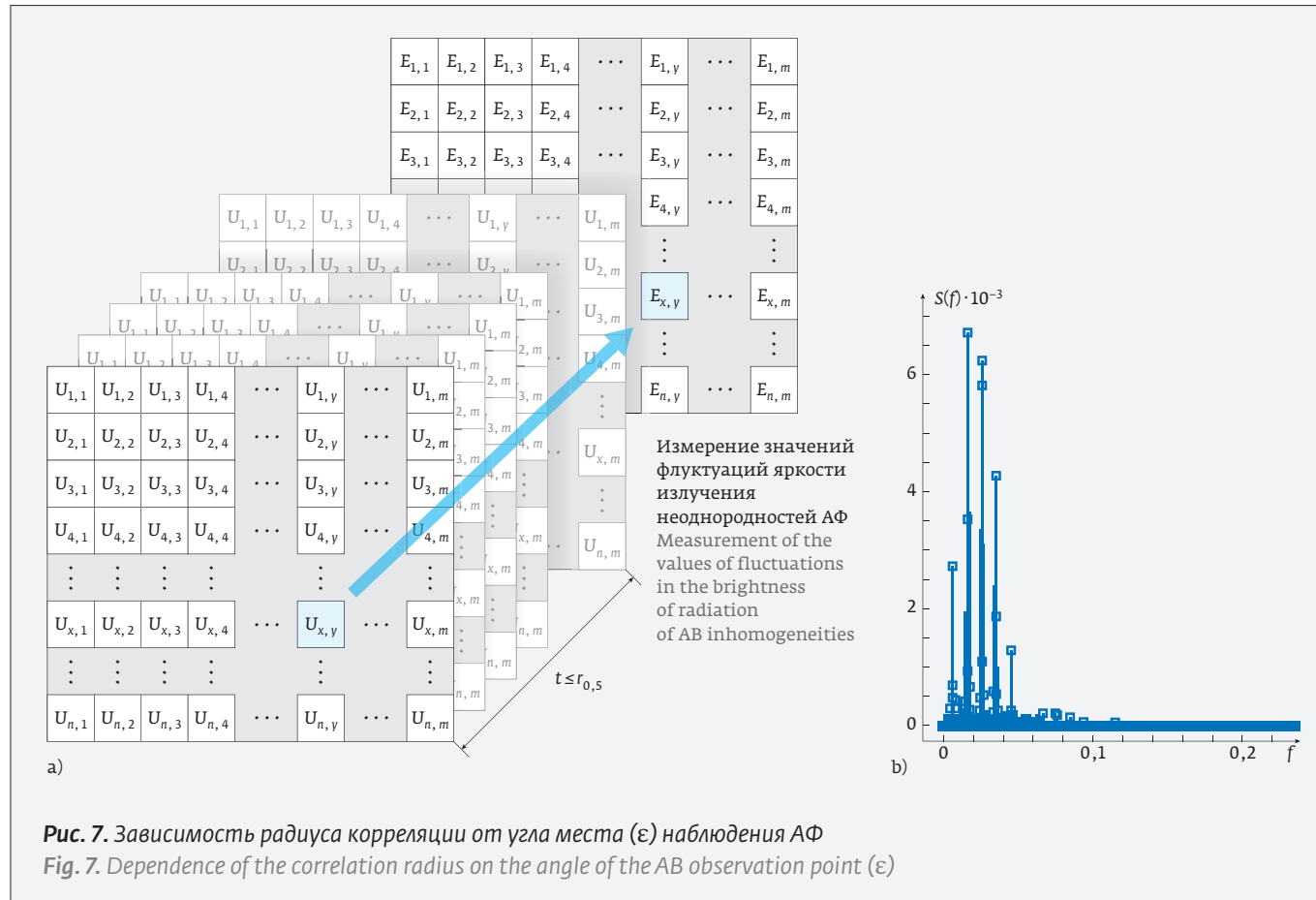
Таким образом, разработанный метод оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне, основанный на фоновом принципе извлечения информации, состоит из трех способов получения необходимых составляющих оптико-информационного обеспечения: временного, пространственно-временного, пространственного.

Способ получения временной составляющей оптико-информационного обеспечения позволяет оптимизировать выбор частоты подачи кадров из

lower than the frame frequency of the POES. Therefore, it is possible to reduce the number of frames from the video stream being processed by algorithms within the spatial method of detecting UAVs on the AB.

To find the optimal frame processing frequency, a method for obtaining the time component of optical and information support was developed. The estimation of temporal variability was carried out by estimating the frequency of the main harmonic of the SPD fluctuations in the brightness of the radiation of AB inhomogeneities formed by different classes of clouds and matching with it the frame rate for processing from the video stream.

To obtain SPD estimates, fluctuations in the brightness of the radiation of AB inhomogeneities were measured in fixed directions along the angle of the place (e) in the near-horizon region with a sampling frequency a thousand times higher than the frame scan. At the same time, the azimuth value (b) remained constant for several minutes (Fig. 7a). In each direction studied, sequences of several thousand values of fluctuations in the brightness of the radiation of AB inhomogeneities for different classes and cloud scores were obtained [1–5].





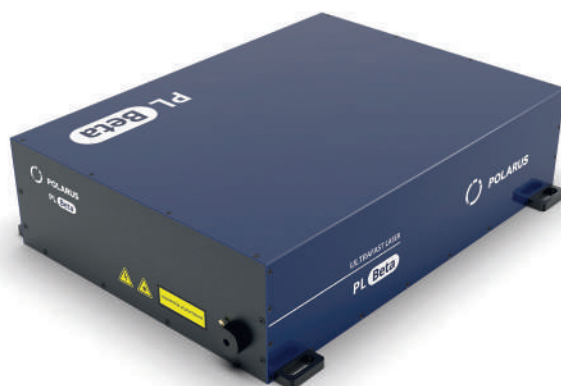
# POLARUS

[www.polaruslaser.ru](http://www.polaruslaser.ru)

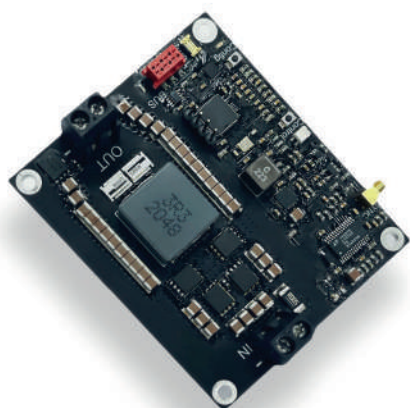
## ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ ЛАЗЕРОВ

Компания «Поларус» — российский разработчик и производитель волоконных лазерных источников ультракоротких импульсов и электроники для лазеров. Компания находится в Москве, г. Троицк. Подробная информация на сайте: [www.polaruslaser.ru](http://www.polaruslaser.ru)

В линейке продуктов представлены иттербиевые волоконные пикосекундные лазерные источники с различной выходной средней мощностью до 50 Вт и энергией в импульсе до 20 мкДж., а также задающие волоконные лазеры с разной фиксированной длительностью импульса 40 пс, 1-10 нс. Возможны дополнительные опции, например, генератор 2 гармоник и/или селектор импульсов. Уникальные характеристики излучения и стабильность наших лазеров позволяют использовать их для исследовательских задач в области взаимодействия излучения с веществом, а также для промышленного применения. ООО «Поларус» также адаптирует лазерные источники под индивидуальные задачи заказчиков, если это необходимо.



	PL/B- 30	PL/B- 64	PL/G- 30	PL/G- 64
Длина волны, нм	1030	1064	1030	1064
Длительность импульса, пс	40±5	40±5	40±5	40±5
Максимальная выходная мощность, Вт	10-40	10-40	10	10
Энергия в импульсе, мкДж	<20		<6	
Диаметр выходного пучка, мм	<1,5		<1,5	
Частота следования импульсов, МГц	1-10		0,3-10	
Качество пучка M2	<1,3		<1,3	



Комплект электроники Laser Control System включает в себя систему управления и синхронизации лазера, драйвера лазерных диодов, датчики и другое. Доступны к заказу: драйвер лазерного диода «бабочка», драйвер задающего лазерного диода, драйвер мощных лазерных диодов, генератор электрических импульсов и задержек. Все устройства имеют стандартную общую шину управления и универсальный графический интерфейс для гибкого конфигурирования. Устройства могут быть использованы по отдельности и в любой необходимой конфигурации.

На территории компании возможна демонстрация работы лазеров, а также выполнение услуг по микрообработке материалов: резке, сверлении и абляции керамики, полупроводников, стекол, пластиков, пленок и тд.

Преимуществами нашей компании являются гибкая ценовая политика и высокий технологический уровень производства.

Наши контакты: +7 (499) 271-71-75 (доб. 1015), [info@polaruslaser.ru](mailto:info@polaruslaser.ru)



видеопотока для последующей обработки пространственным способом обнаружения БВС на АФ.

Способ получения пространственно-временной составляющей оптико-информационного обеспечения позволяет оптимизировать интервал времени, с периодичностью которого следует обновлять выбор размера сегмента. Это составляет основу способа получения пространственной составляющей оптико-информационного обеспечения, необходимой для реализации пространственного способа обнаружения БВС на АФ, состоящего из алгоритма сегментации ФЦИ и алгоритма пороговой обработкой.

Применение метода оптико-информационного обеспечения обнаружения позволит представить роботизированной системе информацию о наличии артефактов в поле зрения ПОЭС в виде бинарного ФЦИ, что в дальнейшем обеспечит возможность определения координат БВС в пространстве.

## REFERENCES

1. **Yakimenko I.V.** *Metody, modeli i sredstva obnaruzheniya vozdushnykh celej na atmosfernom fone shirokougol'nymi optiko-elektronnyimi sistemami.* S-Pb: Lan'. 2022. – 176 s.  
Якименко И. В. *Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами.* С-Пб: Лань. 2022. 176 с.
2. **Yakimenko I.V., Mishchenko A.M., Rachkovsky S.S., Smolin V.A.** Results of spatial structure of atmosphere radiation in a spectral range (1.5–2)  $\mu\text{m}$  research. *Light & Engineering.* 2018;26(3):7–13.
3. **Yakimenko I.V., Yakimenko Yu.I., Smolin V.A., Rasskaza D.S.** Statistical models of the radiance spatial structure of clouds of different types in the 1.5–2  $\mu\text{m}$  range. Proceedings of International Symposium «Atmospheric Radiation and Dynamics» (ISARD-2019). Saint-Petersburg State University, 2019. pp. 220–221.
4. **Yakimenko I.V., Naroda D.S., Smolin V.A.** Contrast method for detecting unmanned aircraft in the range of 1.5–2 microns. Proceedings of International Symposium «Atmospheric Radiation and Dynamics» (ISARD-2021). Saint-Petersburg State University, 2021. pp. 46–50.
5. **Yakimenko I.V., Rasskaza D.S., Smolin V.A.** Optiko-informacionnyj metod obnaruzheniya bespilotnykh vozdushnykh sudov robotizirovannoj optiko-elektronnoj sistemoj. *Trudy Grafikon 2022. 32-ya Mezhdunarodnaya konferenciya po komp'yuternoj grafike i mashinnomu zreniyu, 19–22 sentyabrya 2022 g., Ryazanskij gosudarstvennyj radiotekhnicheskij universitet im. V. F. Utkina, Ryazan', Rossiya, s. 548–558.*  
Якименко И. В., Рассказа Д. С., Смолин В. А. Оптико-информационный метод обнаружения беспилотных воздушных судов роботизированной оптико-электронной системой. *Труды ГрафиКон 2022. 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19–22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина, Рязань, Россия, с. 548–558.*
6. **Smolin V.A.** Issledovanie vozmozhnosti obnaruzheniya bespilotnogo letatel'nogo apparata na atmosfernom fone v blizhnem infrakrasnom diapazone. *Radiotekhnika.* 2017;10:175–183.  
Смолин В. А. Исследование возможности обнаружения беспилотного летательного аппарата на атмосферном фоне в ближнем инфракрасном диапазоне. *Радиотехника.* 2017;10:175–183.
7. **Alpatov B.A., Blohin A.N., Murav'ev V.S.** Algoritm obrabotki izobrazhenij dlya sistem avtomaticheskogo soprovozhdeniya vozdushnykh ob'ektov. *Cifrovaya obrabotka signalov.* 2010;4.  
Алпатов Б. А., Блохин А. Н., Муравьев В. С. Алгоритм обработки изображений для систем автоматического сопровождения воздушных объектов. *Цифровая обработка сигналов.* 2010;4.

## АВТОРЫ

- Якименко Игорь Владимирович, д. т. н., доц., филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск, Россия.  
ORCID: 0000-0002-1003-8403
- Бобков Владимир Иванович, д. т. н., доцент, филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск, Россия.  
ORCID: 0000-0002-5715-7450
- Якименко Юрий Игоревич, аспирант, филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск, Россия.  
ORCID: 0009-0001-2631-5997

The obtained arrays were subjected to statistical processing using the periodogram method of estimating the SPD. The results of statistical studies were an interval of 0.08–0.25 Hz for estimating the fundamental frequency of the harmonic of the SPD fluctuations in the brightness of the radiation of AB inhomogeneities formed by clouds of different classes and scores. Based on the results obtained, it became possible to choose the optimal frame rate from the video stream for subsequent processing by the spatial method of detecting UAVs on AB at frequencies significantly lower (up to 1 Hz) than the frame rate (50 Hz) of the video stream (Fig. 7 b).

## CONCLUSIONS

Thus, the developed method of optical and information support for the detection of artifacts by a robotic system on a complex background based on the background principle of information extraction consists of three ways to obtain the necessary components of optical and information support: temporal; spatio-temporal; spatial.

The method of obtaining the time component of the optical information support makes it possible to optimize the selection of the frame rate from the video stream for subsequent processing by the spatial method of detecting the UAV on the AB.

The method of obtaining the spatio-temporal component of optical information support makes it possible to optimize the time interval with the frequency of which the segment size selection should be updated. This forms the basis of a method for obtaining the spatial component of optical and information support necessary for the implementation of a spatial method for detecting UAVs on the AB, consisting of the BTI segmentation algorithm and the threshold processing algorithm.

The use of the method of optical and information support for detection will allow the robotic system to provide information about the presence of artifacts in the field of view of the POES in the form of a binary BTI, which will further provide the ability to determine the coordinates of the UAV in space.

## AUTHORS

- Igor Vladimirovich Yakimenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Smolensk, Russia.  
ORCID: 0000-0002-1003-8403
- Vladimir Ivanovich Bobkov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Smolensk, Russia.  
ORCID: 0000-0002-5715-7450
- Yuri Igorevich Yakimenko, post-graduate student, branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Smolensk, Russia.  
ORCID: 0009-0001-2631-5997



# РОССИЙСКИЙ ФОРУМ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2023

📍 Федеральная территория «Сириус»

📅 9–14 октября 2023

**6**  
дней

**1700**  
участников

**665**  
предприятий-  
участников

**13**  
секций

**74**  
экспозиции



Подписывайтесь, и будьте в курсе  
всех последних новостей!

+7 495 641 57 17

[microelectronica.pro](http://microelectronica.pro)

[info@microelectronica.pro](mailto:info@microelectronica.pro)

Организаторы



При поддержке



Оператор форума



ПрофКонференции