

## ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИКО-ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АРТЕФАКТОВ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ НА СЛОЖНОМ ФОНЕ

*И.В. Якименко, д. т. н., доц. зав. каф. ЭиМТ;*

*Ш.А. Каршибоев, ст. преподаватель  
 (Джизакский политехнический институт)*

*Ю. И. Якименко, аспирант  
 (Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске);*

**Аннотация.** В работе исследовано является разработка основных элементов оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне. Показано, что временной элемент оптико-информационного обеспечения позволяет оптимизировать выбор частоты подачи кадров из видеопотока для последующей обработки пространственным способом обнаружения беспилотное воздушное судно на атмосферный фон.

**Ключевые слова:** атмосферный фон, беспилотное воздушное судно, видеоинформация, пассивная оптико-электронная система.

Целью исследования является разработка основных элементов 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), работающая в выбранном оптическом диапазоне;
- видеоинформация о находящихся в поле зрения ПОЭС фоне и артефактах после окончательной обработки представляется в бинарном виде (рисунок 1).

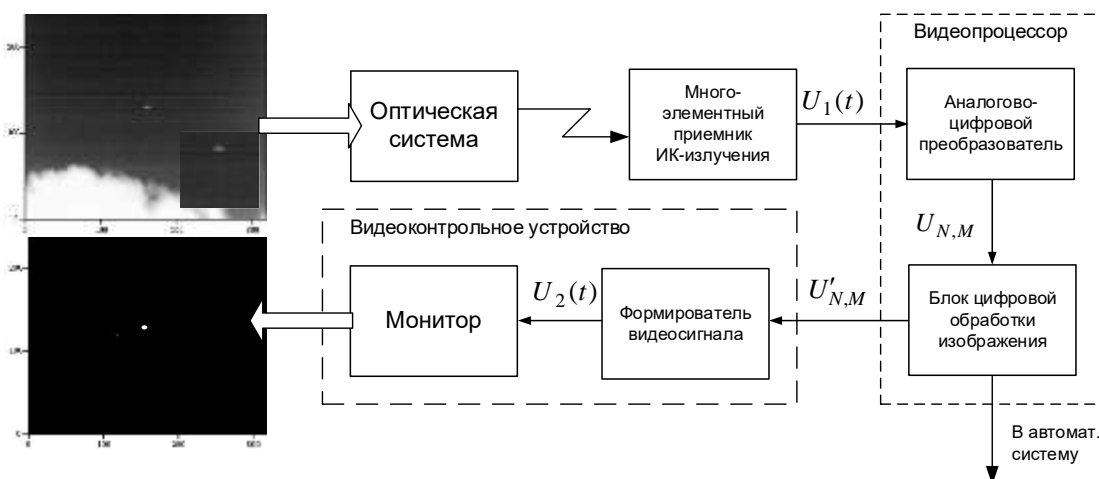


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема ПОЭС роботизированной системой

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 оконечном устройстве видеопоток, каждый кадр

которого представляет собой двумерный массив, элементы которого содержат информацию об уровне энергетической яркости излучения в выбранном направлении.

Процесс обнаружения БВС, основан на фоновом принципе извлечения информации [1–2], сущность которого заключается в том, что в условиях отсутствия априорной информации о наличии БВС в поле зрения ПОЭС, оно находится в тех элементах фоноцелевого изображения (ФЦИ), в которых наблюдаются локальные изменения одного или нескольких свойств выявленных природных закономерностей пространственно-временной структуры излучения АФ. Изменения этих свойств происходят вследствие искажения природных закономерностей пространственной структуры излучения АФ излучением БВС [4].

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 ФЦИ. Характерным отличием пространственной структуры излучения различных классов облачности являются размеры неоднородностей, которые определялись по

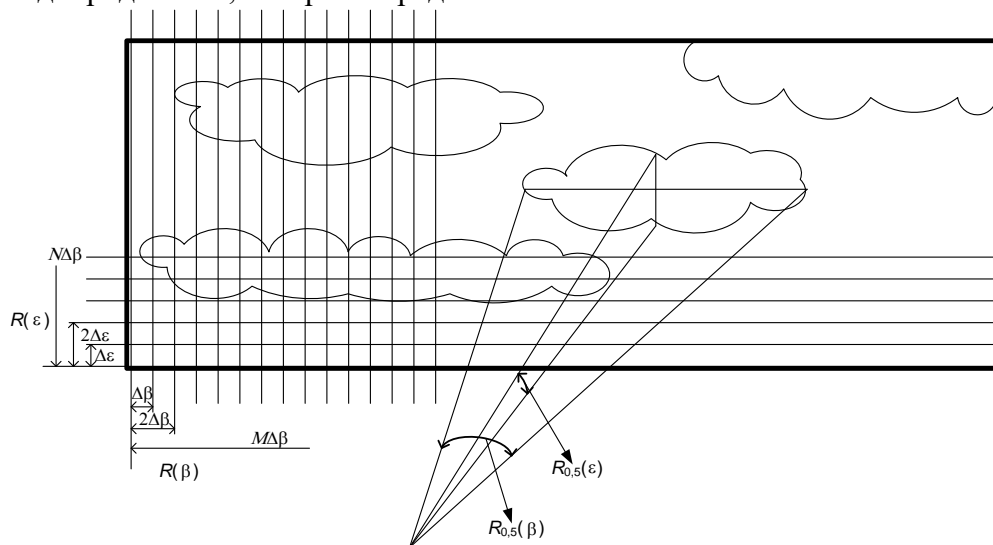


Рисунок 2. Оценка пространственной структуры собственного излучения облачного поля кучевой облачности в 4-6 баллов по радиусам корреляции в горизонтальном и вертикальном направлениях

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 ( $\square$ ), а между столбцами угловые размеры по азимуту ( $\square$ ) неоднородностей АФ (рисунок 2) [4].

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

Анализ результатов исследований излучения неоднородностей АФ позволил разделить их на две группы в зависимости от их углового размера:

- в первую группу входят те классы облачности, которые содержат мелкомасштабные неоднородности величиной  $5 \div 15^\circ$  в вертикальном и горизонтальном направлениях: кучевая (Cu), высококучевая (Ac), перисто-кучевая (Cc) и перистая (Ci).

- 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.

На основе полученных знаний о пространственном элементе – пространственных спектрах неоднородностей АФ и точечных изображений БВС был разработан пространственный способ обнаружения БВС на АФ. Сущность способа заключается в том, что в отличие от известных способов, перед применением алгоритма пороговой обработки всего ФЦИ производится его разделение на сегменты в соответствии с алгоритмом сегментации ФЦИ. Определение размеров сегментов проводится в соответствии со способом получения пространственной составляющей оптико-информационного обеспечения обнаружения. Это позволяет считать, что в пределах углов, ограниченных размерами выявленных неоднородностей, случайный процесс излучения АФ можно считать 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.

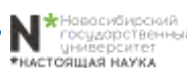
Таким образом, предложенный пространственный способ обнаружения БВС на АФ, опираясь на полученный пространственный элемент оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне, позволяет путем последовательного применения алгоритма сегментации и алгоритма пороговой обработки сегментов ФЦИ получить информацию о наличии артефактов в поле зрения ПОЭС представленную в бинарном виде с возможностью определения координат БВС.

Процесс излучения АФ связан с термодинамическими и турбулентными процессами, происходящими в атмосфере, и являются 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 содержало стационарные характеристики случайного процесса излучения АФ, необходимо их периодически уточнять.

Такую периодичность можно оценить, опираясь на пространственно-временной элемент оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне. Основой такого элемента является расчет коэффициента взаимной корреляции между поступающими через равные промежутки времени кадрами видеопотока. Интервал времени, соответствующего уровню 0,5 коэффициента взаимной корреляции кадрами видеопотока, позволяет оценить время стационарности – «время жизни» характеристик пространственной структуры АФ, т.е. интервал времени, с периодичностью которого следует обновлять пространственное оптико-информационное обеспечение обнаружения [4].

Кроме рассмотренного выше актуальным остается вопрос о целесообразности обработки всех кадров видеопотока, формируемым ПОЭС в процессе обработки алгоритмами пространственного способа обнаружения БВС на АФ. 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 алгоритмами в рамках пространственного способа обнаружения БВС на АФ.

Для нахождения оптимальной частоты обработки кадров был разработан способ получения временного элемента оптико-информационного обеспечения обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне. Оценка временной изменчивости проводилась путем оценки частоты основной гармоники СПМ флуктуаций яркости излучения неоднородностей АФ образованных различными классами облачности и согласование с ней частоту подачи кадров для обработки из видеопотока. Для получения



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

Полученные массивы были подвергнуты статистической обработке с применением периодограммного метода оценки СПМ. Результатами статистических исследований стал интервал  $0,08 \div 0,25$  Гц оценки основной частоты гармоника СПМ флуктуаций яркости излучения неоднородностей АФ, образованных различными классами и баллов облачности. Исходя из полученных результатов появилась возможность 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.

Таким образом, оптико-информационное обеспечение обнаружения артефактов роботизированной системой на сложном фоне основанный на фоновом принципе извлечения информации состоит из трех элементов оптико-информационного обеспечения: временного; пространственно-временного; пространственного.

Временной элемент оптико-информационного обеспечения позволяет оптимизировать выбор частоты подачи кадров из видеопотока для последующей обработки пространственным способом обнаружения БВС на АФ.

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

Применение всех трех элементов оптико-информационного обеспечения обнаружения позволит представить роботизированной системе информацию о наличие артефактов в поле зрения ПОЭС в виде бинарного ФЦИ, что обеспечит возможность определения координат БВС.

### Литература

1. Якименко И.В. Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами. Монография. 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 176 с. — ISBN 978-5-8114-1732-2. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211643> (дата обращения: 20.05.2022).
2. Якименко И.В., Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А. Результаты экспериментальных исследований пространственной структуры излучения атмосферы в диапазоне 1,5–2 мкм // М.: Светотехника. - 2018. № 1. - С. 40-44.
3. 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. Volume 26, Number 3, pp. 7-13.
4. I.V. Yakimenko, Yu.I. Yakimenko, 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.
5. Каршибоев Ш. А. (2022). Аналого-цифровой преобразователь назначение, классификации. Сборник статей IV Международной научно-практической конференции «Актуальные научные исследования» состоявшейся 20 февраля 2022 г. в г. Пенза. МЦНС Наука и просвещение. ст. 47-49.

