

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА

Е. Д. Филин^{1*}, Р. В. Киричек²

¹ ООО «Газинформсервис», Санкт-Петербург, 198096, Российская Федерация

² СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: filin.ed@mail.ru

Аннотация

Возрастающее с каждым годом значение БПЛА в современном мире способствует непрекращающимся работам по их усовершенствованию. Новые задачи, улучшение тактико-технических характеристик БПЛА, в том числе, уменьшение их размеров, усложняет задачу по их обнаружению. В связи с чем, обнаружение малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) является приоритетной задачей при создании систем по противодействию БПЛА. **Предмет исследования.** Статья посвящена одному из вариантов повышения эффективности выполнения задачи по обнаружению МБЛА. **Метод.** Рассмотрены физические особенности МБЛА, наличие которых усложняет или облегчает задачу их обнаружению, и способы, позволяющие это сделать. **Основные результаты.** Проведен анализ существующих классификаций МБЛА, методов их обнаружения на основе анализа электромагнитного спектра и показана модель комплексного применения технических средств для выполнения поставленной задачи. **Практическая значимость.** Представленная модель комплексного применения мер существенно повышает эффективность выполнения задачи по обнаружению МБЛА.

Ключевые слова

МБЛА, обнаружение БПЛА, радиолокация, радиомониторинг, демаркирующие признаки, электромагнитный спектр, модель применения.

Информация о статье

УДК 004.725.7

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 21.05.18, принята к печати 01.07.18.

Ссылка для цитирования: Филин Е. Д., Киричек Р. В. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 2. С. 87–93.

APPROACHES TO THE DETECTION MICRO AIR VEHICLE BASED ON THE ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

E. Filin^{1*}, R. Kirichek²

¹ LLC "Gazinformservice", St. Petersburg, 198096, Russian Federation

² SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: filin.ed@mail.ru

Abstract—Increasing every year the importance of UAVs in the modern world contributes to the ongoing work on their improvement. New tasks, improvement of tactical and technical characteristics of the UAVs, including reducing their size, complicates the task of their detection. In this connection, the detection of micro air vehicle (MAV) is a priority in the creation of systems to counter UAVs. **Research subject.** The article is devoted to one of the options to improve the efficiency of the task of detecting MAV. **Method.** The physical features of the MAV, the presence of which complicates or facilitates the task of their detection, and the ways to do this. **Core results.** The analysis of the existing classifications of MAV, methods of their detection on the basis of the analysis of electromagnetic spectrum is carried out and the model of complex application of technical means for performance of the task is shown. **Practical relevance.** The presented model of complex application of measures significantly improves the efficiency of the task of detecting MAV.

Keywords—MAV, UAV detection, radar, radio monitoring, telltale signs, the electromagnetic spectrum, the model application.

Article info

Article in Russian.

Received 21.05.18, accepted 01.07.18.

For citation: Filin E., Kirichek R.: Approaches to the Detection Micro Air Vehicle Based on the Analysis of the Electromagnetic Spectrum // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 2. pp. 87–93 (in Russian).

Введение

В данной статье представлен краткий обзор существующих МБЛА, рассмотрены основные способы обнаружения МБЛА на основе анализа электромагнитного спектра, а также предложена модель комплексного применения мер для выполнения поставленной задачи.

Обзор классификаций малоразмерных беспилотных летательных аппаратов

В соответствии с существующей классификацией БПЛА по их основным характеристикам, они разделяются на две группы:

- малоразмерные беспилотные летательные аппараты (МБЛА);
- БПЛА средних и больших размеров.

Борьба с МБЛА представляет собой комплекс мер по их обнаружению, распознаванию, прицеливанию, захвату и поражению. В связи с малой заметно-

стью МБЛА задача по обнаружению и распознаванию цели является наиболее сложной и важной. К основным параметрам классификации МБЛА относятся:

- габаритные и весовые характеристики (длина, размах крыла, взлетная масса, масса полезной нагрузки);
- оперативные характеристики (продолжительность, дальность и высота полета, максимальный радиус применения);
- тип конструкции (самолетная, вертолетная, винтовентиляторная и т. п.);
- тип двигательной установки (электродвигатель, двигатель внутреннего сгорания, турбореактивный двигатель, реактивный двигатель), а также тип движителя (пропеллер, несущий винт, несущее крыло);
- выполняемые функциональные задачи (разведывательные, разведывательно-ударные, радиоэлектронной борьбы, транспортные);
- степень автономности (полет по фиксированной или корректируемой программе, дистанционно-пилотируемый полет) [1].

Совокупность этих признаков определила классификацию МБЛА:

- нано БЛА массой менее одного килограмма, продолжительностью полета менее одного часа и высотой полета до 300 м;
- микро БЛА – массой до 10 кг, временем полета около одного часа и высотой полета до 1 000 м;
- мини-БЛА – массой до 50 кг, временем полета до нескольких часов и высотой полета до 3 000–5 000 м [1].

Обзор существующих методов обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра

Современные легкие беспилотники имеют сигнатуры небольшой величины: МБЛА делают из композитных материалов и пластика со специальной окраской и с особой комбинацией слоев, их небольшие бензиновые и тем более электрические двигатели мало излучают тепла и работают почти бесшумно¹. Поэтому, для эффективного выполнения задачи необходимо одновременное использование нескольких способов обнаружения.

Наибольшую уязвимость МБЛА обуславливает наличие у них электромагнитного излучения. К ЭМ демаскирующим признакам относятся:

- сигналы бортового ответчика;
- сигналы радиолокационных станций, отраженные от корпуса и агрегатов МБЛА;
- сигналы телевизионных ретрансляторов, широкоэмиттерных станций, базовых станций сотовой связи, отраженные от МБЛА;
- команды и «доклады» канала управления между наземным пунктом управления и МБЛА, а также между МБЛА и спутником-ретранслятором системы навигации;
- сигналы бортовой РЛС бокового обзора;
- каналы обмена разведывательной информацией;
- сигналы системы автоматической посадки на аэродром [1].

¹ Как уничтожить беспилотник // Популярная механика. 2014. № 4 (138). URL: [https://www.popmech.ru/ weapon/15671-kak-ubit-bespilotnik/](https://www.popmech.ru/weapon/15671-kak-ubit-bespilotnik/)

Основными способами обнаружения МБЛА в электромагнитном спектре являются:

- использование тепловизора инфракрасного диапазона ЭМ волн;
- использование камер оптического диапазона ЭМ волн;
- использование радиолокационных станций;
- осуществление радиомониторинга.

Для выявления объектов с отличающейся от окружающей среды температурой используются инфракрасные тепловизионные камеры, что позволяет вести наблюдение с помощью за МБЛА даже в условиях ограниченной видимости и в темное время суток. Для получения наиболее информативных и стабильных результатов возможно точное совмещение тепловизионных снимков с видимым изображением. Для этого применяется тепловизор и фотокамера для одновременного ведения аэрофотосъемки в видимом диапазоне. Получаемые инфракрасные изображения в оттенках серого могут быть преобразованы в псевдоцветные, где темным оттенкам соответствуют низкие температуры, а светлым – высокие².

Для обнаружения МБЛА в оптическом диапазоне ЭМ волн существует активные и пассивные методы. Активными методами считается метод анаглифов и метод определения координат МБЛА в пространстве. Пассивные методы включают в свой состав метод визуального наблюдения и метод комбинированного стереоэффекта [2].

Основным средством обнаружения БПЛА являются радиолокационные станции. В ряде случаев МБЛА являются сложной целью для существующих РЛС. Эти аппараты имеют малую эффективную площадь рассеяния (ЭПР), из-за чего их обнаружение становится достаточно сложной задачей. В частности, снижается максимальная дальность обнаружения [3]. Расчетные дальности обнаружения МБЛА радиолокационными станциями, при различных значениях ЭПР БЛА, составляют:

- РЛС метрового диапазона – 8–14 км для БЛА с ЭПР около 0,1 м² и 0,1–1,5 км для БЛА с ЭПР, равной 0,01 м²;
- РЛС дециметрового диапазона – 9–16 км (ЭПР = 0,1 м²) и 0,8–2,0 км (ЭПР = 0,01 м²);
- РЛС сантиметрового диапазона – 12–25 км и 1,4–2,8 км [1].

Учитывая установку на них антирадарных покрытий, наибольшую эффективность дает применение двухчастных импульсных радиолокаторов. Первая группа частот в дециметровом диапазоне, вторая в сантиметровом для обнаружения МБЛА [2].

Радиомониторинг представляет собой получение информации с использованием технических средств на участке ее прохождения по линиям радиосвязи. В основном, включает в себя деятельность по изучению радиообстановки, поиску, обнаружению и контролю различных каналов связи, других источников радиоизлучений. Задачами радиомониторинга эфира являются:

- панорамный спектральный анализ в реальном времени;
- поиск излучений от БПЛА, измерение их параметров, сравнение с базой данных для определения их принадлежности;

² Тепловизионная съемка. URL: <https://www.geoscan.aero/ru/services/teplovizor>

- запись радиосигналов со служебными параметрами (частота, время, уровень сигнала, спектрограмма и т. п.) и последующее их воспроизведение;
- технический анализ радиосигналов в реальном времени и при отложенной обработке;
- пеленгование БПЛА [4].

Модель комплексного применения мер для обнаружения МБЛА

На рынке представлены как комплексы, работающие на одном из методов обнаружения, так и сочетающие несколько методов, что является, учетом сложности задачи обнаружения МБЛА, наилучшим решением. Наиболее эффективным решением является комбинирование основных способов обнаружения: использование радиолокационных средств, оборудования радиомониторинга, ИК и оптических видеокамер. Данный вариант является дорогостоящим, но каждый из методов дополняет другой, и, таким образом, уменьшается количество ложных обнаружений и увеличивается общая эффективность системы. Алгоритм работы следующий: радар обнаруживает БПЛА, параллельно с этим комплекс принимает сигналы, и ищет среди них подозрительные, далее видеокамеры наводятся на предполагаемый объект, и принимается решение о передаче команды на подавление, перехват или уничтожения цели.

Основная идея данного комплекса технических средств заключается в децентрализованном расположении модулей, непрерывно обменивающихся друг с другом по зашифрованным и помехоустойчивым каналам связи служебной информацией, что способствует повышению эффективности и сложности выведения из строя или физического уничтожения данных модулей. Благодаря тому, что комплекс состоит из блоков, возможно создание необходимой конфигураций для специфики выполнения конкретной задачи. Также, комплекс должен обладать устойчивостью к сторонним электромагнитным воздействиям и подсистемой активного противодействия угрозам, заключающейся в способности к самостоятельному принятию решения об ответных мерах или передачах команд на обеспечение помощи и поддержки. Для контроля за решениями, принимаемыми комплексом обнаружения БПЛА, и задания необходимых параметров участвует оператор.

Задачей модуля радиолокационных средств является безошибочное обнаружение БПЛА на максимально большом расстоянии в условиях со сложной радиолокационной обстановкой и собрать информацию, необходимую для проведения анализа, к которой относится скорость БПЛА, дальность до него, а также распознавание типа объекта. Общая эффективность системы зависит как от индивидуальных характеристик передатчика, антенны, приемника, слаженной работы между ними, так и от метода радиолокации. Учитывая специфику поставленной задачи, которую необходимо решить, необходимо найти компромисс между мощностью передатчика и диапазона волн, размерами антенны и диаграммы её направленности, способностях приемника обработать поступающую информацию и выбора подходящего метода радиолокации, такого как частотный, фазовый и импульсный. Благодаря оптимальной комбинации материально-технических ресурсов возможно обнаружение БПЛА на больших дистанциях, а также возможность распознавать дроны со слабовыраженными разведпризна-

ками (следующие автономно по полётному заданию или работающие на нетипичных радиочастотах)³.

Модуль с средствами радиомониторинга выполняет задачу обнаружения передатчиков, установленных на БПЛА, определения их типа, основных характеристик и сбора информации для осуществления перехвата управления. Основными и определяющими факторами эффективности функционирования системы являются характеристики радиоприемного устройства и антенны, а также выбор метода радиомониторинга – поискового или беспоискового. Поисковый способ заключается в поиске информативного сигнала в заданной полосе частот, который подразделяется на медленный поиск, средний и быстрый. При беспоисковом способе поиск ведется на широком диапазоне частот, подразделяющемся на интерференционный, с использованием одноканальных и многоканальных приемников. Каждый из способов поиска имеет свои достоинства и недостатки, и выбор зависит от специфики решаемой задачи. Радиоприемное устройство должно быть оборудовано декодерами, демодуляторами и средствами для проведения автоматического и ручного технического анализа принятых сигналов.

Одной из возможностей улучшения системы является создание МБЛА-разведчика, снабженного комплексом разведывательных средств ЭМ спектра, способных, по необходимости, подлететь ближе к возможной (спорной) цели, и сообщить информацию в главный узел напрямую или через вспомогательные узлы приемо-передающих автономных антенн.

Центральным узлом функционирования интегрированного комплекса, на который непрерывно в автоматическом режиме приходит вся обработанная информация от модулей, является компьютер в защищенном исполнении с установленным на него специальным программным обеспечением, способным принимать решения в автоматическом режиме. Из решений это могут быть следующие варианты:

- передача команды о задействовании средств ИК и оптических камер для подтверждения обнаружения цели;
- передача команды на уточнение поступившей информации другому комплексу, работающему в составе системы обнаружения БПЛА;
- передача команды БПЛА, входящему в комплекс системы обнаружения БПЛА, для подлета к предполагаемому месту нахождения для принятия решения о факте обнаружения;
- передача команды на подавление, перехват или уничтожение цели средствами, входящим в состав системы подавления и уничтожения БПЛА;
- информирование оператора комплекса противодействия БПЛА о факте обнаружении БПЛА или ложной тревоге.

Одной из возможностей к улучшению системы является разнесение небольших принимающих и передающих автономных антенн на большой площади. Передавая информацию на центральный пункт обработки информации, и сопоставляя с данными главного узла, принимается решение о дальнейших действиях. При необходимости, данные антенны могут передавать информацию на несколько центральных пунктов обработки, создавая, таким образом, сеть

³ Стопдрон. URL: <http://stopdron.ru>

обнаружения МБЛА, площадь действия которой может достигать сотен или тысяч квадратных километров.

Литература

1. Ерёмин Г. В., Гаврилов А. Д., Назарчук И. И. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО // Армейский вестник. 2015. URL: <http://army-news.ru/2015/02/malorazmernye-bespilotniki-novaya-problema-dlya-pvo/>
2. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Надежность и качество сложных систем. 2014. № 2 (6). С. 62–70. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/kompleks-obnaruzheniya-i-borby-s-malogabaritnymi-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami-1>
3. Рябов К. Как противодействовать беспилотнику // Военное обозрение. URL: <https://mensby.com/technology/guns/5386-how-counteract-drone>
4. Свинин Е. В. Рамочная антенна для системы радиомониторинга. Выпускная квалификационная работа специалиста. 2017. 102 с. URL: <http://library.eltech.ru/files/vkr/2017/specialisti/1114/2017BKP111429СВИНИН.PDF>

References

1. Eryomin G., Gavrilov A., Nazarchuk I. Small UAVs is a New Problem for the Air Defense // Armeyskiy vestnik. 2015. URL: <http://army-news.ru/2015/02/malorazmernye-bespilotniki-novaya-problema-dlya-pvo/>
2. Godunov A., Shishkov S., Yurkov N. Complex Detection and Control of Small UAVs // Reliability and Quality of Complex Systems. 2014. No. 2 (6). p. 62–70. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/kompleks-obnaruzheniya-i-borby-s-malogabaritnymi-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami-1>
3. Ryabov K. How to Resist Drone // Military Review. URL: <https://mensby.com/technology/guns/5386-how-counteract-drone>
4. Svinin E. Frame Antenna for the Radiomonitoring System. 2017. 102 p. URL: <http://library.eltech.ru/files/vkr/2017/specialisti/1114/2017BKP111429СВИНИН.PDF>

Филин Егор Дмитриевич

– специалист по защите информации,
ООО «Газинформсервис», Санкт-Петербург,
198096, Российская Федерация, filin.ed@mail.ru

Киричек Руслан Валентинович

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
kirichek@sut.ru

Filin Egor

– Information protection specialist,
LLC "Gazinformservice", St. Petersburg, 198096,
Russian Federation, filin.ed@mail.ru

Kirichek Ruslan

– Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,
Russian Federation, kirichek@sut.ru