

С. С. Кузьмин^{1✉}, А. Н. Поликанин¹

Сравнительный анализ способов обнаружения БПЛА

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: tvoypapik4@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются существующие виды систем обнаружения БПЛА и производится их анализ, выделение метрик и сравнение. Среди видов систем выделяют системы радиомониторинга, оптические системы и акустические системы. Каждый вид обладает своими преимуществами и недостатками и их следует рассматривать не только по отдельности, но и по возможности объединения для покрытия недостатков друг друга. Наиболее часто встречаемые в использовании системы RF мониторинга, стоят больших денег и имеют крайне серьезную слепую зону, что и объясняет необходимость искать оптимальные комбинации систем. Поскольку акустические и оптические работают на схожих расстояниях, стоят меньше, обладают хорошим взаимодействием и способны работать совместно в портативных системах, их и следует рассматривать как оптимальный вариант систем обнаружения БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, системы обнаружения БПЛА, системы радиомониторинга, акустические системы, оптические системы, радиолокация

S. S. Kuzmin^{1✉}, A. N. Polikanin¹

Comparative Analysis of UAV Detection Methods

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: tvoypapik4@gmail.com

Abstract. This article examines the existing types of UAV detection systems and analyzes them, identifies metrics and compares them. Among the types of systems, radio monitoring systems, optical systems and acoustic systems are distinguished. Each type has its own advantages and disadvantages, and they should be considered not only separately, but also combined, if possible, to cover each other's disadvantages. The most commonly used RF monitoring systems cost a lot of money and have an extremely serious blind spot, which explains the need to look for optimal combinations of systems. Since acoustic and optical systems operate at similar distances, cost less, have good interaction and are able to work together in portable systems, they should be considered as the best option for UAV detection systems.

Keywords: UAVs, UAV detection systems, radio monitoring systems, acoustic systems, optical systems, radiolocation

Введение

В настоящее время использование БПЛА стало повсеместным, применение их можно увидеть как в гражданском, так и в военном секторе. Вместе с ними развиваются и используются системы обнаружения БПЛА, однако компаний, которые занимаются разработкой систем обнаружения мало, а цены на разработанные системы крайне высоки. По причине высокой цены не все

участники целевой аудитории имеют возможность закупить необходимое оборудование обнаружения БПЛА, одновременно с тем системы обнаружения, распространенные на рынке, имеют слепые зоны не смотря на свою высокую цену.

Использование оптимальных систем с наименьшим количеством слепых зон является желаемым результатом для любой выстроенной системы защиты. В настоящее время было выделено несколько различных видов систем обнаружения БПЛА, основанных на разных физических свойствах исследуемого объекта обнаружения.

Среди видов систем обнаружения БПЛА можно выделить следующие классы:

- системы радиомониторинга;
- оптические системы;
- акустические системы [1].

Развитие современных технологий приносит множество новых способов решения ранее нерешаемых задач. По причине активного использования БПЛА в военных целях, были обнаружены способы обхода самых популярных в настоящее время для использования радиотехнических систем обнаружения БПЛА. По причине полного отсутствия у данных систем способа решения своей слепой зоны все чаще стали применять комбинированные варианты систем дополняя возможности и закрывая слепые зоны популярного метода обнаружения.

Актуальностью данной работы является рассмотрение характеристик, определение наличия слепых зон различных видов систем обнаружения БПЛА и выделение оптимальных видов для сочетания в комбинированной системе.

Цель: выделить и провести анализ существующих видов систем обнаружения БПЛА, выделить ключевые метрики оценивания, определение оптимальных вариантов систем.

Системы радиомониторинга

В класс систем радиомониторинга входят активные системы радиолокации и системы пассивного RF (Radio Frequency) мониторинга.

Активная радиолокация работает по принципу отправления радиоволнового сигнала в пространство и принятия отраженного от твердого физического объекта сигнала для определения местоположения объектов окружающей среды [2].

RF мониторинг в отличие от активной радиолокации не выпускает никакого сигнала, а только принимает исходящие от других объектов сигналы [3].

Активная радиолокация хороша тем, что она способна довольно точно определять присутствие объекта на большом расстоянии, даже если объектом является не электронное устройство, а живое существо. Однако сам принцип работы системы активной радиолокации и является одним из ее самых главных недостатков. Поскольку если система сама излучает свой сигнал в пространство, то ее сигнал можно уловить и определить точное местоположение посылаемого

сигнала, что может привести к целенаправленному устранению оборудования [4].

Пассивный RF мониторинг, как и радиолокация хорош тем, что дистанция его работы может достигать нескольких километров. За счет того, что принцип его работы основан на улавливании сторонних радиосигналов, он способен обнаруживать управляемые дистанционно БПЛА и даже местоположение операторов БПЛА. По причине того, что данный вид систем работает на большие расстояния, действует пассивно и способен точно определять любой привычный БПЛА, этот вид систем используется чаще всего. Однако по причине возможности поиска объектов лишь по радио сигнатурам этот вид систем не способен обнаружить БПЛА, отправленный напрямую по оптоволокну, что является полной слепой зоной данного вида.

Для систем радиочастотного мониторинга чаще всего требуются громоздкие и дорогостоящие комплексы оборудования.

Оптические системы

Оптические системы обнаружения БПЛА используют различные камеры (видимого спектра, инфракрасные, тепловизоры, лазерные локаторы, лидары) для визуального обнаружения БПЛА [5].

Преимуществом данных с систем является то, что они пассивны по принципу обнаружения, точны в определении, довольно портативны и способны работать в инфракрасном диапазоне. Однако данные системы в отличие от систем радиомониторинга способны работать в меньшем диапазоне, зависят от просматриваемости местности и крайне ресурсоемки в плане средств обработки [6].

Акустические системы

Акустические системы обнаружения БПЛА работают по принципу улавливания в звуковом пространстве, издаваемых техническими компонентами дронов звуков и последующему определению присутствия БПЛА [7].

Такие системы, как и оптические имеют схожий ограниченный радиус обнаружения объекта до 250–500 метров, портативны, а также крайне ресурсоэффективны в плане средств обработки. Недостатком же является малая дистанция обнаружения и зависимость от шума [8].

Комбинированные системы

Комбинированные системы не столько отдельный вид, сколько общее название систем обнаружения созданных из объединения оптических систем, акустических систем или систем радиомониторинга [9].

Комбинирование систем как принцип существует для того, чтобы:

- сохранить положительные качества первоначальных систем;
- повысить точность обнаружения;
- избавиться от слепых зон первоначальных систем.

По причине того, что системы RF мониторинга используются в настоящее время чаще всего, в комбинированных системах также берут RF мониторинг системы за основу для комбинированных систем. Среди существующих комбинированных систем чаще всего встречаются именно варианты RF мониторинга и оптической системы с камерой. Дополнив систему RF мониторинга камерой, они исправляют слепую зону данной системы по отношению к БПЛА, отправленным по оптоволоконному кабелю, и увеличивают точность обнаружения [10].

Сравнительный анализ систем

Чтобы рассмотреть отличительные характеристики различных систем обнаружения БПЛА были выделены следующие метрики сравнения:

- дальность обнаружения;
- скрытность работы;
- устойчивость к РЭБ (средства радиоэлектронной борьбы);
- стоимость.

Из выделенных метрик была создана табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики систем обнаружения БПЛА

Критерий оценки	Активная радиолокация	RF мониторинг	Оптические системы	Акустические системы
Дальность обнаружения	До 10 км	До 10 км	До 1 км	До 500 м
Скрытность работы	нет (излучает)	да	да	да
Устойчивость к РЭБ	нет	нет	да	да
Стоимость	100–200 млн рублей	1–10 млн рублей	100–150 тыс. рублей	40–100 тыс. рублей

Заключение

По причине роста повсеместного использования БПЛА, стали появляться и развиваться системы обнаружения. Однако в соответствии тому, как были созданы средства обнаружения БПЛА, стали находиться и новые способы обходить данные системы. Одним из основных способов противодействия обхода систем обнаружения стало создание комбинированных систем обнаружения. Среди комбинированных систем самым популярным является объединение RF мониторинга и оптических средств. Но данная комбинированная система имеет смысл своего существования начиная с минимального из двух расстояний. В то время как RF мониторинг способен вести обнаружение до 10 километров, оптическая часть системы способна дополнять свою работу лишь с расстояния до 500 метров. Желаемым к рассмотрению комбинации систем имеет смысл

объединение оптико-акустической системы. Объединение оптической и акустической систем в одну закрывает слепые зоны друг друга, одновременно с тем увеличивая точность обнаружения. Оптико-акустическая система обнаружения будет многократно дешевле чем система с участием RF мониторинга, обе составляющие данной системы работают на схожей дистанции, а также каждый элемент способен работать на портативных вычислительных устройствах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красненко Н. П., Богушевич А. Я., Кураков С. А., Раков А. С., Рыбаков И. А. Обнаружение беспилотных летательных аппаратов: существующие решения и возможности – Текст : непосредственный // Всероссийские открытые Арmandовские чтения: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. – 2024. – № 1. – С. 429-440.
2. Будкин Н. Д. Средства обнаружения беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития – Текст : непосредственный // Вестник науки. – 2024. – № 12. – С. 1564-1568.
3. Фалилеев В. Ю., Шатовкин Р. Р. Анализ существующих автоматизированных комплексов защиты от дронов – Текст : непосредственный // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2020. – № 14. – С. 130-139.
4. Бомбизов А. А., Петров А. Б., Лоцилов А. Г. Исследование электромагнитного и акустического излучения беспилотных летательных аппаратов в области низких частот – Текст : непосредственный // Доклады ТУСУР. – 2018. – № 1. – С. 57-61.
5. Шайдаев М. Ш. Лазерные системы для борьбы с беспилотными летательными аппаратами: преимущества и недостатки – Текст : непосредственный // Академическая мысль. – 2023. – № 4. – С. 157-161.
6. Макаренко С. И., Тимошенко А. В., Васильченко А. С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения – Текст : непосредственный // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – № 1. – С. 109-145.
7. Тихонов В. А., Карташов В. М., Олейников В. Н., Леонидов В. И., Тимошенко Л. П., Селезнев И. С., Рыбников Н. В. Обнаружение-распознавание беспилотных летательных аппаратов с использованием составной модели авторегрессии их акустического излучения – Текст : непосредственный // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. – 2020. – № 81. – С. 39-46.
8. Гончаренко Б. И., Кузьменков В. Ю., Котов А. Н. Экспериментальное исследование особенностей формирования спектра шумов беспилотного летательного аппарата – Текст : непосредственный // Noise Theory and Practice. – 2020. – № 4. – С. 49-59.
9. Горячев Н.В., Избасов А.Г., Мельничук А.И., Мухамбетов А.М., Юрков Н. К. К Проблеме синтеза системы противодействия малогабаритным беспилотным летательным аппаратам – Текст : непосредственный // Надежность и качество сложных систем. – 2024. – № 2. – С. 64-71.
10. Ловцов Д. А., Гаврилов Д. А. К Эффективная автоматизированная оптико-электронная система аэрокосмического мониторинга – Текст : непосредственный // Правовая информатика. – 2019. – № 2. – С. 26-39.

© С. С. Кузьмин, А. Н. Поликанин, 2026