

В.М. КАРТАШОВ, д-р техн. наук, В.А. КИЗКА, В.А. ТИХОНОВ, д-р физ-мат. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА-ПЕРЕХВАТЧИКОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДРОНОВ-НАРУШИТЕЛЕЙ

Вступление

Охрана критически важных промышленных объектов от террористических атак с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является важной современной задачей. Усиление террористических организаций за счет их объединения с организованными преступными группировками, в частности, с наркобизнесом, существенно увеличивает финансирование террористических структур, позволяя им приобретать современное оружие [1]. Учитывая публичный, открытый характер террористических преступлений, направленных на производство общественного резонанса с целью демонстрации своих возможностей и выставления требований, атака критически важного промышленного объекта причинит не только нарушение функционирования социально-экономического и промышленного комплекса, но и будет эффективно воздействовать на психику людей, чтобы их запугать, создать панику в обществе [2]. В странах со слабой экономикой, увеличивающейся бедностью, неразвитой медицинской службой велико число психопатических личностей, шизофреников, закомплексованных и просто бедных, которые составляют основу террористических организаций, поэтому любая атака на крупный промышленный объект в такой стране, будет выглядеть для таких людей хорошей рекламой, тем более широко освещённой средствами массовой информации, и приведет к вливанию их в ряды террористов с целью улучшить свое социальное положение, самоутвердиться и т.д. или же к обострению течения психических болезней, что приведет к увеличению преступности [2]. Эффективная защита критически важного объекта от террористической атаки БПЛА, которые доступны по цене, но способны причинить серьёзный вред промышленному объекту, т.к. способны переносить контейнеры с поражающими веществами, является насущной современной проблемой.

Имеющиеся системы обнаружения БПЛА вблизи критически важных промышленных объектов базируются на дистанционных и мобильных наземных комплексах (автомобили и бронетехника) [3], оснащенных радиолокационными, оптическими, инфракрасными и акустическими средствами обнаружения [4-10], а также на использовании дронов-перехватчиков [18], [19], [24]. Последние оснащаются акустической системой обнаружения дрона-нарушителя по шуму его двигателей, оптической и инфракрасной системами обнаружения, средствами уничтожения или перехвата дрона-нарушителя. Использование РЛС для обнаружения дрона-нарушителя с помощью дронов-перехватчиков в литературе неизвестно, прежде всего из-за отсутствия малогабаритных РЛС комплексов, пригодных для этих целей. В данной статье проводится обзор малогабаритных РЛС, используемых для обнаружения БПЛА, которые могут быть установлены на БПЛА-перехватчики, что обеспечит существенное увеличение дальности обнаружения дрона-нарушителя и уменьшит время его идентификации. Рассматриваются также методы патрулирования/облета территории вблизи критически важного промышленного объекта.

Обзор существующих малогабаритных РЛС

Цифровые радиолокационные комплексы L-диапазона с массой 48 кг, которые предполагается размещать на автомобилях и бронетехнике, позволяют обнаружить малоподвижные мини- и микро-БПЛА с эффективной поверхностью рассеяния радиоволн 0.01 м^2 на дальности от 100 м до 5500 м, по высоте - от 50 м до 500 м [3]. Мощность излучения изделия 60 Вт, чувствительность приемника $2 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$. Авторы публикации указывают на отсутствие аналогов за рубежом.

В [11] приведен обзор многофункциональных бортовых РЛС (МБРЛС) Ку-диапазона массой от 30 до 60 кг для БПЛА, применяемых для боевых задач и картографирования местности на дальностях до 100 км с разрешением от 0.25 м, селекции радиоконтрастных наземных/надводных целей на дальностях до 300 км в любых погодных условиях и при наличии дымовых и пылевых завес на поле боя, оценки метеобстановки на дальности до 200 км, радиомониторинга. Масса созданной авторами [11] МБРЛС для выше указанных целей - 30.5 кг. БПЛА на которых используются МБРЛС имеют максимальную массу целевой нагрузки от 45 до 120 кг. Высота полета БПЛА, оснащенных МБРЛС, до 7 км, скорость - до 220 км/ч, дальность полета – до 350 км. Следовательно, на них может быть установлена цифровая РЛС из [3]. Авторы [11] не обсуждают возможность использования МБРЛС для обнаружения БПЛА.

В [12] описаны стационарные малогабаритные РЛС X- и L-диапазонов массой 40 кг и 10 кг соответственно, для обнаружения и сопровождения БПЛА. Излучаемая импульсная мощность до 10 и 30 Вт соответственно для L- и X-диапазонов. Обе РЛС работают в связке, они разнесены на некоторое расстояние для ликвидации провалов в отраженном сигнале из-за интерференции с мощными отраженными сигналами от подстилающей поверхности. РЛС позволяют обнаружить микро-БПЛА на дальности до 3-5 км, но авторы не рассматривают возможность установки таких РЛС на БПЛА-перехватчики. Разрабатываются РЛС бокового обзора с синтезированной апертурой для БПЛА с целью мониторинга местности и для нахождения дефектов в трубопроводах [13]. Рассматривается интеграция бортовой РЛС с другими информационными каналами, установленными на БПЛА [14]. РЛС с синтезированной апертурой [13] формирует на выходе сигнал в виде изображения, несущего доступную для человеческого глаза информацию. Качество изображения не зависит от погодных условий и времени суток. Интеграция бортовой РЛС с другим бортовым оборудованием повышает эффективность решения общей задачи при оптимальном использовании ресурсов [14].

Разработана система радиолокационной съемки местности малогабаритной (3-4 кг) РЛС с синтезированной апертурой антенны, установленной на БПЛА самолетного типа или мультикоптере [15]. Реализована в L/X/C-диапазоне, мощности излучаемого сигнала 200 мВт, 1 Вт для L- и C/X-диапазонов, соответственно. Отмечается возможность уменьшения массы РЛС до 0.5 кг. Дальность действия станции 4-5 км при отсутствии “мертвой зоны”. Наилучшая разрешающая способность обеспечивается в X-диапазоне - 0.15 м. Радиоизображение формируется на борту БПЛА и передается по радиолинии на наземный пункт наблюдения в реальном масштабе времени. Эта система вполне пригодна для установки на БПЛА-перехватчик, но авторы [15] такой возможности не обсуждают.

В [16] рассмотрены малогабаритные радарные системы, установленные на двух БПЛА, объединенных в двухпозиционную систему за счет обмена данными между ними, с целью улучшения углового разрешения при обнаружении физического объекта (в статье, человека) в заданной области. Предусмотрен алгоритм выбора длительности радиоимпульсов, относительной траектории двух дронов в зависимости от размеров объекта обнаружения для получения наилучшего углового разрешения по азимуту: $\Delta\varphi=0.3^\circ$ при расстоянии до объекта 5 км. Описанный комплекс вполне пригоден для обнаружения дрона-нарушителя парой дронов-перехватчиков, но авторы [16] рассматривают применение разработки только для спасательных целей или мониторинга техногенных объектов.

Предложен метод борьбы с противорадиолокационными ракетами (ППР) за счет запуска БПЛА, оснащенного передающим устройством, имитирующим излучение РЛС [17]. Излучаемый передатчиком БПЛА отвлекающий сигнал должен быть на уровне чувствительности приёмника головки самонаведения ППР, если предполагается отключение РЛС при обнаружении ППР. Для прикрытия работающей РЛС отвлекающий передатчик БПЛА должен излучать сигнал мощностью, сравнимой с мощностью сигнала РЛС на входе приемника головки самонаведения ППР. Такой БПЛА запускается при обнаружении ППР, радиус его облета РЛС по азимуту составляет до 500 м, что достаточно для обеспечения невозможности разре-

шения (распознавания) по угловым координатам РЛС и БПЛА системой наведения ракеты и превышает радиус разлета осколков ракеты.

Особенности существующих и перспективных дронов-перехватчиков

Комплексные наземные системы обнаружения БПЛА могут дополняться дронами-перехватчиками, способные автоматически наводиться, например, по шуму двигателей на преследуемый дрон, или по его изображению в системе «компьютерного зрения» дрона-перехватчика. Они имеют гораздо более мощные дизельные двигатели, оснащены защищенным корпусом и устройствами для разрушения других дронов [18]. Дроны-перехватчики ведут поиск дронов-нарушителей в заданной области или находят их по целеуказанию от комплексной системы. Вероятность обнаружения нарушителя при этом существенно повышается. Оснащены эти дроны оптическим и акустическими каналами обнаружения.

В [19] предложена концепция автоматизированного визуального обнаружения БПЛА-нарушителей и отправления им на перехват БПЛА-перехватчика, обладающего автономной бортовой системой управления для нейтрализации нарушителя путем тарана или захвата с применением кевларовых нитей. Авторы [19] отмечают, что сегодня в качестве средств уничтожения БПЛА наиболее часто используются либо средства радиоподавления (блокирование и искажение каналов спутниковой навигации, блокирование каналов управления и связи), либо средства огневого, электромагнитного или лазерного поражения. Авторами [19] разработана система наземного оборудования, включающая видеокамеру, тепловизионную камеру, дальномер и систему обработки информации. Дрон-перехватчик получает целеуказание от данной системы и отправляется на перехват или уничтожение, получая периодически обновленную информацию о координатах цели, или решает задачу автономно, используя бортовую видеокамеру и бортовой блок управления.

В [20] получена вероятность обнаружения и распознавания БПЛА оператором наземного комплекса цели, изображение которой передано по радиоканалу с БПЛА, оснащенном оптико-электронной системой (видео- и инфракрасные камеры). Вероятность зависит от параметров оптико-электронной системы, размеров цели и кинематики полета БПЛА. Полученная авторами формула для вероятности обнаружения применена к случаю обнаружения дроном спасательной службы пропавшего человека или объекта в труднодоступных районах. Никаких ограничений для применения формулы с целью оценки вероятности обнаружения дрона-нарушителя нет.

В [21] рассмотрены методы перехвата управления роем дронов злоумышленниками с использованием различных уязвимостей: отказ в обслуживании (дрон заваливается флудом и становится невидимым для оператора дрона), деаутентификация (злоумышленник выявляет MAC-адреса оператора и дрона и отключает их от точки доступа), человек-посередине (злоумышленник вклинивается между оператором и дроном, используя свое устройство, например, Wi-Fi Pineapple, перехватывая управление дроном, а оператор получает имитацию SSID дрона от устройства злоумышленника, не подозревая о нападающем среднего уровня), несанкционированный доступ с полномочиями суперпользователя (злоумышленник подключается к дрону напрямую через открытый порт, выявляемый сканированием IP-сети некоторыми свободными утилитами, например, Nmap) и осуществляет подмену пакетов (злоумышленник генерирует IP-пакеты, выдающие себя за контроллер дрона). Эти методы можно применить и наоборот – вместо злоумышленника рассмотреть дрон-перехватчик, осуществляющий в автономном режиме один из способов перехвата управления дроном-нарушителем. Рассмотренный подход используется пока только дистанционными наземными средствами [19].

В [22] рассмотрены методы облета дронами, оснащенными видеокамерами, местности сельскохозяйственного назначения. Эти методы можно перенести на дроны-перехватчики, проводящие облет местности вокруг критически важного объекта в поисках дронов-нарушителей. Например, один дрон находится на подзарядке, а второй делает облет местно-

сти. Для подзарядки дронов предполагается использовать специально подобранные для этого места – гнезда подзарядки, в пределах области облета. Дроны управляются из центра управления, относительно которого гнезда могут быть расположены на разном расстоянии.

Проведена оценка параметров сканирующих лазерных дальномеров на борту БПЛА в интересах повышения безопасности движения транспортных средств [23]. Разработанная авторами [23] схема позволяет обнаруживать и распознавать объект на расстоянии до 240 м с помощью лазерных импульсных дальномеров. Эта схема вполне применима для использования на БПЛА-перехватчиках.

Разработаны БЛА-перехватчики с сетями-ловушками, оснащённые датчиками обнаружения (видеокамерами) и устройствами определения расстояния до объекта перехвата [24]. В [24] предложено устройство обнаружения БПЛА-нарушителя в виде малогабаритного радиолокатора “обнаружения активного типа, полуактивного (двухпозиционного) со специальным передатчиком или с передатчиком систем сотовой связи, устанавливаемых на перехватчике”. В патенте описана конструкция устройства с ловчей сетью на БПЛА-перехватчике, направляемом с земли к нарушителю по данным, получаемым от РЛС.

Оценка дальности обнаружения дрона-нарушителя с помощью бортовых локационных средств БПЛА-перехватчика

С целью выполнения оценок дальности обнаружения дрона-нарушителя с помощью БПЛА-перехватчика будем использовать следующие характеристики бортовой аппаратуры оптического и акустического каналов обнаружения и идентификации БПЛА:

- дальность обнаружения и идентификации БПЛА в дистанционном оптико-электронном канале достигает $r_{o3}=2$ [км] при наличии сложного неоднородного фона [25];

- дальность обнаружения в дистанционном акустическом канале - до $r_3=200$ [м] (примерно равна минимальной дальности обнаружения в радиолокационном канале) достигается при наличии фона, обусловленного ветром [26].

Принимаем за основу идею из [17], [22], – облет БПЛА-перехватчиком зоны вокруг критически важного объекта на расстоянии R (до 16 км) от индустриального объекта, равной дальности обнаружения БПЛА с помощью РЛС. Предполагаем, что на борту перехватчика размещена малогабаритная РЛС, подобная описанной в [15], - РЛС с синтезированной апертурой антенны массой до 4[кг] и дальностью $r=5$ [км]. В этом случае получаем увеличение дальности обнаружения БПЛА в секторе 102 , образованном пересечением двух зон обнаружения - дистанционной системой и перехватчиком (Рис.1). Угол сектора α определяется по дальностям r и R обнаружения обеих РЛС: $\alpha=4 \cdot \arcsin(r/(2R))$. Дальность обнаружения в секторе α по радиолокационному каналу теперь будет составлять $R+r$ (до 21 км). Дальность идентификации по акустическому каналу теперь определяется акустической зоной действия БПЛА-перехватчика (окружность штрих-пунктирная) и равна $R+r_3=16$ [км]+ 200 [м], если установленная на перехватчике акустическая система аналогична описанной в [26]. Дальность обнаружения по оптическому каналу комплексной системой определяется дальностью обнаружения по тому же каналу для БПЛА-перехватчика (штрихованная окружность): $R+r_{o3}=16$ [км]+ 2 [км]= 18 [км], если на перехватчик установлена оптико-электронная система, аналогичная описанной в [25].

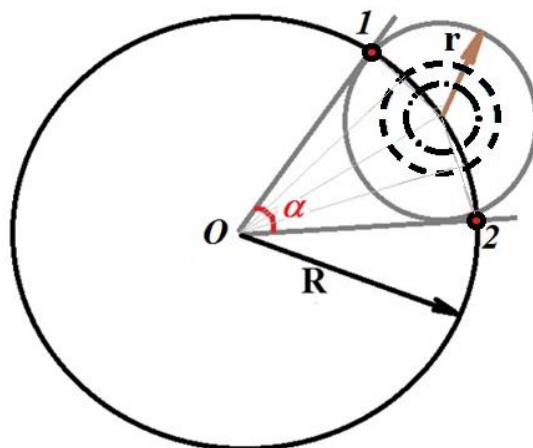


Рис.1. Зоны дальностей обнаружения БПЛА-нарушителей вблизи критически важного промышленного объекта с использованием наземных информационных каналов и каналов, расположенных на БПЛА-перехватчике

Выводы

В статье показана возможность увеличения дистанции обнаружения и идентификации БПЛА-нарушителя вблизи критически важного промышленного объекта путем использования БПЛА-перехватчика, оснащенного малогабаритной РЛС. Это позволит увеличить эффективность работы установленных на перехватчике оптического и акустических каналов идентификации дрона-нарушителя. Показано, что дальность обнаружения по радиолокационному, оптическому и акустическому дистанционным информационным каналам при комплексном их использовании с информационными каналами, расположенными на БПЛА-перехватчике, становится одного порядка или даже равными между собой.

Список литературы:

1. Ошеев А. В. Современный терроризм: основные тенденции развития и поиск действенных методов борьбы с ним // Актуальные проблемы борьбы с преступлениями и иными правонарушениями. 2018. № 18-1. С. 291-292.
2. Ливанова Л. О., Чикишева В.А. Психология современного терроризма // Colloquium-journal. 2020. № 11-9 (63). С. 22-24.
3. Зайцев А. В., Кичулкин Д. А., Красавцев О. О., Шищенко М. Ю. Многофункциональная малогабаритная цифровая радиолокационная станция "Фасет" обнаружения БПЛА с трёхмерным электронным сканированием пространства // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. 2019. № 3 (6). С. 4-10.
4. V. Kartashov, V. Oleynikov, O. Zubkov, S. Sheiko, "Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time," The Fourth International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2019), 9–13 September 2019, Odessa, Ukraine, 4 p.
5. Kartashov V.M., Tikhonov V.A., Voronin V.V. and Tymoshenko L.P. Complex model of random signal in problems of acoustic sounding of atmosphere // Telecommunications and Radio Engineering, V. 75, Iss. 20, 2016; pp.1885–1892.
6. Карташов В.М. и др. Обработка сигналов в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга атмосферы. - Харьков: ХНУРЭ, 2014. - 312 с.
7. V. N. Oleynikov, O. V. Zubkov, V. M. Kartashov, I. V. Korytsev, S. I. Babkin, S. A. Sheiko. Investigation of detection and recognition efficiency of small unmanned aerial vehicles on their acoustic emission. Telecommunications and Radio Engineering, V. 78, Issue 9, 2019; pp. 759–770.
8. Kartashov V., Oleynikov V., Korytsev I., Sheyko S., Zubkov O., Babkin S., Selieznov I. Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles; 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 25-29 Feb. 2020; pp.1–4.
9. Oleynikov V., Zubkov O., Kartashov V., Korytsev I., Sheiko S., Babkin S. Experimental estimation of direction finding to unmanned air vehicles algorithms efficiency by their acoustic emission; 2019 International Scientific-

Practical Conference «Problems of Infocommunications – Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceeding», 2019; pp.175–178.

10. Kartashov, V.M., Oleynikov V.N, Zubkov, O.V., Korytsev I.V., Babkin, S. I., Sheiko, S.A., Kolendovskaya, M.M. Spatial-temporal Processing of acoustic Signals of Unmanned Aerial Vehicles; Telecommunications and Radio Engineering, V. 79, №9. 2020, pp.769–780.

11. Ильин Е. М., Репников Д. А., Савостьянов В. Ю., Самарин О. Ф., Полубехин А. И., Черевко А. Г. Режимы функционирования многофункциональной бортовой РЛС БЛА малой и средней дальности // Вестник СибГУТИ. 2019. № 2.

12. Быстров Н. Е., Жукова И. Н., Кунец Н. А., Реганов В. М., Чеботарёв С. Д. Малогабаритная РЛС Х/Л-диапазона для обнаружения/сопровождения малоразмерных БПЛА // Вестник Новгородского государственного университета. 2019. № 4 (116). С. 65-71.

13. Литвинов В. С. РЛС бокового обзора для беспилотных летательных аппаратов // Радиотехнические системы: материалы 53-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов – Минск: БГУИР. 2017. С. 50 - 51.

14. Брайткрайц С. Г., Ильин Е. М., Полубехин А. И., Прищеп Д. В., Юрин А. Д., Хомяков К. А. Проблемы и пути создания радиолокационных систем для БПЛА тактического и оперативно-тактического назначения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 11.

15. Купряшкин И. Ф., Лихачев В. П., Рязанцев Л. Б. Краткий опыт создания и первые результаты практической съемки поверхности малогабаритной РЛС с синтезированием апертуры антенны с борта мультикоптера // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 4. 3с.

16. Shepeta A. P., Nenashev V. A. Accuracy characteristics of object location in a two-position system of small onboard radars // Information and Control Systems. 2020. № 2 (105). С. 31-36.

17. Исмаилов Д. А., Синельников В. И., Бровкин Ю. А. Защита РЛС от противорадиолокационных ракет за счет размещения на борту БПЛА дополнительного источника излучения // Аллея науки. 2019. Т. 1. № 5 (32). С. 273-277.

18. Артюшенко В. М., Воловач В. И., Васильев Н. А. Вероятность обнаружения БПЛА системами дистанционного обнаружения // Информационно-технологический вестник. 2017. № 1 (11). С. 25-44.

19. Каляев А. И., Коровин Я. С. Комплекс обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей с помощью БПЛА-перехватчиков // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3-4 (153-154). С. 101-107.

20. Тищенко А. И., Артыщенко С.В. Математическая модель вероятности обнаружения точечной цели оператором полезной нагрузки оптико-электронной системы БПЛА // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 13. № 3. С. 328-337.

21. Довгаль В. А., Довгаль Д. В. Анализ уязвимостей и угроз безопасности роя дронов с поддержкой Wi-Fi, противостоящего атакам злоумышленников // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2020. № 3 (266). С. 67-73.

22. Красовский А. Н., Сулова О. А. Облет дронами-квадрокоптерами сельскохозяйственных угодий // Аграрный вестник Урала. 2016. № 1 (143). С. 29-32.

23. Ерин А. А., Хомоненко А. Д. Расчет предельно измеряемой дальности лидара на БПЛА для задач распознавания объектов // Бюллетень результатов научных исследований. 2020. № 2. С. 45-59.

24. Борисов Е. Г., Сидоров Н. М., Морозова Е.В. Устройство перехвата беспилотных летательных аппаратов // Патент на изобретение 2738383 С2, 11.12.2020. Заявка № 2020127599 от 19.08.2020.

25. Черников А. А., Пуртов А. И., Прокофьев И. В. Алгоритм обнаружения беспилотного летательного аппарата на неоднородном фоне // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 8. № 2. С. 94-99.

26. Пузанов А. Д., Нефёдов Д. С. Синтез алгоритма обнаружения беспилотных летательных аппаратов по акустическим шумам // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2021. Т. 19. № 2. С. 65-73.

Поступила в редколлегию 04.10.2021

Сведения об авторах:

Карташов Владимир Михайлович – д-р техн. наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем, Украина; e-mail: volodymyr.kartashov@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8335-5373>

Кизка Валерий Александрович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем, Украина; e-mail: kizkavaleri@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1007-5295>

Тихонов Вячеслав Анатолиевич – д-р физ-мат. наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем, Украина; e-mail: vyacheslav.tykhonov@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4618-4787>