

МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАЗВЕДКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Никита Вадимович Игнатенко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (906)994-60-92, e-mail: nikannor2010@yandex.ru

Алексей Николаевич Поликанин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры информационной безопасности, тел. (913)397-63-51, e-mail: polikanin.an@yandex.ru

Малогабаритные летательные аппараты все чаще используются для ведения шпионажа или разведки. Это обусловлено их малым размером, что дает им преимущество быть незамеченными. Легко переносимые в рюкзаке или сумке, они могут быть запущены практически в любом месте земного шара. Дроны легко обеспечивают сбор полезной информации с помощью технических средств, установленных на них, это могут быть как камеры, которые имеют высокое разрешение, так и направленные микрофоны, которые собирают запись конфиденциальной информации на расстоянии в десятки метров от объекта разведки. Все это представляет угрозу для жителей всех стран мира.

В этой статье проведено исследование по возможным методам обнаружения малогабаритных летательных аппаратов, оценена общая эффективность этих методов, сделан вывод о том, что пассивная радиолокация является перспективным методом противодействия и обнаружения беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: дроны, обнаружение объекта, качество изображения, акустическая разведка, оптическая разведка, распознавание объекта

METHODS OF COUNTERING INTELLIGENCE USING SMALL-SIZED UNMANNED AERIAL VEHICLES

Nikita V. Ignatenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (906)994-60-92, e-mail: nikannor2010@yandex.ru

Alexey N. Polikanin

Siberian State University of Geosystems and Technologies 10, Plahotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Information Security, phone: (913)397-63-51, e-mail: polikanin.an@yandex.ru

Small-sized aircrafts are increasingly used for espionage or intelligence. This is due to their small size, which gives them the advantage of being unnoticed. Easily carried in a backpack or bag, they can be launched almost anywhere in the world. Drones easily provide the collection of useful information with the help of technical means installed on them, it can be both cameras that have high resolution, and directional microphones that collect the recording of confidential information for tens of meters from the object of intelligence. All this poses a threat to the inhabitants of all countries of the world.

In this article, a study is conducted on possible methods for detecting small-sized aircrafts, general effectiveness of these methods is evaluated, and it's concluded that passive radar is a promising method of countering and detecting unmanned aerial vehicles.

Keywords: drones, object detection, image quality, acoustic reconnaissance, optical reconnaissance, object recognition

Введение

Малогобаритные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и микро-БПЛА рассматриваются как технология, которая создает актуальные угрозы не только общественной безопасности, но и военной безопасности страны. Эти БПЛА обычно называют дронами, потому что они имеют небольшой размер, и их вес достаточно мал. Часто встречающийся беспилотник имеет размеры в длину и ширину не более 1 м при максимальном взлетном весе менее 15 кг. Такую беспилотную систему можно легко переносить в рюкзаке или сумке. Стоимость такой системы, включая видеокамеры с видом от первого лица, направленные микрофоны, относительно невысокая и составляет менее 100000 рублей за беспилотник [1]. Как ожидается, она будет только падать по мере роста рынка; таким образом, это вполне доступный товар. Это дает возможность максимального технического оснащения дрона для получения важной разведывательной информации.

Уже сейчас беспилотные летательные аппараты все чаще используются для ведения разведки и слежки за определенными объектами; они полезны для сбора и передачи информации в реальном времени об объекте разведки.

Использование ресурсоемких аккумуляторов для беспилотников, которые находятся в общем доступе, позволяют им преодолевать расстояния более чем 50 км [2]. Ожидается, что возможности дронов будут только расти по мере появления более эффективных двигателей и батарей большей емкости. На сегодняшний день активно распространяется технология поддержки спутниковой связи для управления беспилотниками [3]; это позволяет осуществлять связь диспетчера с беспилотником вне его визуального контакта. Например, дрон, летящий на высоте 500 м, имеет радиус видимости около 80 км; спутниковая линия передачи данных позволяет значительно увеличить дистанцию контроля для диспетчера.

Совершенствование технологий беспилотных летательных аппаратов, сенсоров и линий передачи данных, несомненно, создаст серьезные угрозы для безопасности конфиденциальной информации. Таким образом, для обеспечения защиты информации крайне важно быть в курсе любой враждебной или шпионской деятельности с использованием беспилотных летательных аппаратов [4].

Методы обнаружения малогобаритных летательных аппаратов

Существует целый список методов для обнаружения дронов. Далее приводится краткое описание каждого из методов, обобщающих технологические тенденции, обсуждаемые учеными во всем мире. Основное внимание уделяется малогобаритным беспилотникам, которые могут предоставлять оперативную информацию в режиме реального времени. Кроме того, они очень транспортабельны, могут быть легко запущены в любой местности и их трудно обнаружить.

Акустический метод обнаружения

Шум от вращающихся винтов и электродвигателей может быть обнаружен акустическими датчиками, такими как направленные микрофоны, но они имеют ограниченный диапазон около 100–150 м. База данных акустических сигнатур различных моделей дронов составляется для различения окружающих шумов, предотвращая ложную тревогу. Однако сигнатура шума дрона может быть легко изменена или заглушена, чтобы обмануть базу данных. Кроме того, акустическое обнаружение не может быть использовано для точного отслеживания цели, оно может только обнаружить присутствие беспилотника поблизости и оповестить об этом. Тем не менее, акустические датчики для обнаружения беспилотных летательных аппаратов, таких как квадрокоптеры, уже доступны как для домашнего использования [5], так и для коммерческого использования [6]. Так эти датчики используются вблизи атомных электростанций и в богатых районах.

Оптический метод обнаружения

Видеокамеры обеспечивают относительно небольшую дальность обнаружения дронов, около 100 м [7]. Главный минус состоит в том, что они плохо работают в пасмурную погоду, туман и ночью. Это объясняется тем, что дроны летают на низкой скорости, около 16 м/с (58 км/ч), и камеры испытывают сложности с различением дронов и птиц, особенно когда птицы плавно скользят во время полета. Это может привести к высокому уровню ложного срабатывания. Однако с этим справляется технология компьютерного зрения с использованием искусственного интеллекта, который может помочь отличить дронов от птиц на изображениях фото или видеокамеры с помощью анализа движения.

Тепловой метод обнаружения

Тепловое обнаружение также имеет дальность действия около 100 метров и подвержено воздействию погодных условий. Тепловая защита электродвигателей дрона, может снизить эффективность теплового обнаружения. Большинство дронов сделаны из пластика и углеродного волокна. Тепловое обнаружение в этом случае становится проблематичным [7]. Инфракрасные камеры с большой вероятностью обнаруживают мелких птиц из-за их особенных тепловых сигнатур, что соответственно вызывает высокую частоту ложных срабатываний.

Радиолокационный метод обнаружения

Существуют традиционные радиолокационные системы обнаружения беспилотных летательных аппаратов. Эти системы могут улавливать беспилотные летательные аппараты, имеющие эффективную площадь рассеяния (ЭПР) по размеру сопоставимую с размером мелкой птицы ($0,01 \text{ м}^2$) на расстоянии до 2 км, используя значение плотности потока мощности [8]. Есть основания полагать, что сейчас существует система, отслеживающая небольшие беспилотники на расстоянии до 20 км [9].

Однако, были сообщения о том, что радиолокационные установки имеют проблемы с обнаружением небольших беспилотных целей [7, 10] даже при том, что ЭПР дрона находится в пределах обнаруживаемого значения. Проблема в том, что слабый сигнал от небольшого дрона, идущий к радару, сложно отличить от сигнала мелкой птицы и других источников помех. Для беспилотных летательных аппаратов, летающих на малой высоте и низкой скорости, лишний шум является проблемой [11]. Кроме того, поскольку птицы имеют такие же ЭПР, как и малогабаритные дроны, частота ложных срабатываний может стать достаточно высокой. Но с появлением технологии искусственного интеллекта (ИИ) эта проблема будет решена, благодаря алгоритму ИИ, который сможет отличить птицу от дрона, анализируя характер движения в воздухе [11].

Еще одной потенциальной проблемой радиолокационного обнаружения является необходимость непрерывного получения радиочастотного сигнала. В условиях городской среды размещение радиопередатчика рядом с местом работы и проживания людей может вызвать проблемы со здоровьем. Это может быть опасно для людей, живущих поблизости, когда радиопередатчик передает сигнал постоянно. Кроме того, стоимость поддержания непрерывной работы передатчика 24/7 – это еще одна проблема.

Одним из перспективных применений радиолокационного обнаружения в городских условиях является пассивная радиолокация, которая использует существующие антенны ТВ-сигнала как передатчики полезной информации. Например, ТВ-сигналы, передаваемые крупными телеканалами, имеют достаточную мощность для обнаружения дронов, даже самых малых размеров. Поскольку антенны передачи ТВ-сигнала уже давно стали неотъемлемой частью городского ландшафта, люди смирились с их присутствием и принимают их. Также, ТВ-сигнал является бесплатным; по причине того, что нет никаких затрат на подключение к передатчику телевизионного сигнала. Еще одной особенностью является то, что телевизионный сигнал передается непрерывно 24/7, что делает его идеальным источником радиолокационного наблюдения.

Используя опыт зарубежных коллег, рассмотрим возможность ведения пассивной радиолокационной разведки. В качестве примера пассивного радиолокационного обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов в городских условиях можно привести систему, используемую в г. Оттава, Канада. Передатчик ТВ-сигнала, расположенный в Кэмп-Форчун, может быть использован в качестве радиолокатора вблизи значимых объектов критической информационной инфраструктуры для возможности обнаружения шпионской деятельности малогабаритных беспилотных летательных аппаратов.

Все объекты находятся в радиусе 17 км от телевизионной передающей башни. Пассивная радиолокация с использованием ТВ-сигнала способна обнаруживать такие цели как беспилотник небольшого размера ($\text{ЭПР} = 0,001 \text{ м}^2$). Пример расчета, оценивающий возможность обнаружения дронов, показан в табл. 1. Наилучшего результата помогут добиться COTS-технологии (Commercial Off The Shelf).

Малогабаритные беспилотники, находящиеся вблизи аэропортов, поднимают вопросы обеспечения безопасности самолетов, прилетающих в аэропорты и улетающих из них. Все чаще появляются сообщения о наблюдениях беспилот-

ных летательных аппаратов вблизи траектории полета самолетов, и эти беспилотники становятся реальной угрозой для движения воздушных судов.

Таблица 1

Обнаружение малогабаритных дронов пассивным радаром вблизи значимых объектов критической информационной инфраструктуры с использованием передачи цифрового ТВ-сигнала

Местоположение передатчика	Кэмп-Форчун, Квебек
Мощность телевизионного передатчика, ЭИИМ [18]	311 кВт
Частота (видеосигнала), f	537,25 МГц
Длина волны, c/f	0,558 м
Пропускная способность, β	6 МГц
Расстояние от передатчика до цели, R_1	17 км
Расстояние от цели до приемника(приемников), R_2	1 км
ЭПР цели, σ	0,001 м ²
Коэффициент усиления антенны приемника, G_r	100
Область действия антенны приемника, A	2,5 м ²
Мощность приемника	$1,71 \cdot 10^{-14}$ Вт
Сила шума (передний вход приемника), η	$2,85 \cdot 10^{-14}$ Вт
Отношение сигнал/шум принимаемого приемником сигнала	0,6
Усиление сигнала, необходимого для достижения порога обнаружения	67
Отношение сигнал/шум при пороге обнаружения = 40	

Телевизионная башня в Кэмп-Форчун обладает достаточной мощностью для обнаружения дронов размером с насекомое с ЭПР (0,001 м²), работающих в радиусе 5 км вокруг международного аэропорта Оттавы. Пример расчета эффективности обнаружения приведен в табл. 2.

Таблица 2

Обнаружение малогабаритных дронов пассивным радаром вокруг Международного аэропорта Оттавы, используя передатчик цифрового ТВ-сигнала

Местоположение передатчика	Кэмп-Форчун, Квебек
Мощность телевизионного передатчика, ЭИИМ [18]	311 кВт
Частота (видеосигнала), f	537,25 МГц
Длина волны, c/f	0,558 м
Пропускная способность, β	6 МГц
Расстояние от передатчика до цели, R_1	30 км
Расстояние от цели до приемника(приемников), R_2	5 км
ЭПР цели, σ	0,001 м ²
Коэффициент усиления антенны приемника, G_r	100
Область действия антенны приемника, A	2,5 м ²
Мощность приемника	$2,18 \cdot 10^{-16}$ Вт
Сила шума (передний вход приемника), η	$2,85 \cdot 10^{-14}$ Вт
Отношение сигнал/шум принимаемого приемником сигнала	$7,64 \cdot 10^{-3}$
Усиление сигнала, необходимого для достижения порога обнаружения	5236
Отношение сигнал/шум при пороге обнаружения = 40	

Радиочастотный (РЧ) метод обнаружения

Использование сигналов, исходящих от дрона, рассматривается как еще один эффективный способ обнаружения дронов. На сегодняшний день существует целый список компаний, реализующих эту идею и разрабатывающих такие системы [7, 12–14]. Обнаружение дронов по радиочастотному излучению намного проще из-за большой мощности сигнала, принимаемого датчиками во время их движения. Такие проблемы, как помехи или искажение сигнала, которые присутствуют в пассивных радиолокационных системах, здесь избегаются.

Недостатком радиочастотного обнаружения является то, что оно напрямую зависит от объекта, который распространяет радиочастотное излучение. Но это второстепенный фактор, который не может сделать метод неэффективным. БПЛА должен поддерживать связь с диспетчером для корректной навигации и сбора полезной информации. Существует возможность программирования определенного автономного маршрута БПЛА с использованием GPS-координат и ведения видеозаписи, тогда они не будут излучать радиочастотные сигналы, но вся собранная информация будет рассматриваться как неактуальная, в отличие от информации, получаемой в режиме реального времени. Основным преимуществом использования небольших беспилотных ISR (Intelligence, surveillance and reconnaissance) систем является возможность обеспечить оперативную осведомленность о объекте разведки с помощью изображения в реальном времени. Высокий спрос на эту функцию означает, что большинство разведывательных полетов с использованием малогабаритных беспилотных летательных аппаратов должно быть обеспечено постоянной связью между оператором и дроном. Таким образом, радиочастотное обнаружение является эффективным способом определения угроз наблюдения беспилотниками путем использования их радиочастотных сигналов.

Из-за линейного распространения высокочастотных радиоволн и разнонаправленного высокочастотного сигнала, ВЧ-излучение может быть обнаружено с помощью простого оборудования; эти датчики по размеру сравнимы с портативными автомобильными GPS-приемниками. Таким образом, система радиочастотного обнаружения может быть очень мобильной и легко переносимой. Радиочастотное обнаружение может обеспечить эффективную защиту от разведки с использованием беспилотников со стороны нарушителя, который будет полагаться на радиочастотную связь в режиме реального времени, поскольку заранее запрограммированный GPS-маршрут не предоставит актуальной информации о перемещающемся объекте разведки.

В случае использования программных комплексов по оповещению о присутствии беспилотных летательных аппаратов вблизи аэропортов основные угрозы будут исходить от активной деятельности самих операторов беспилотных летательных аппаратов. Основной целью в большинстве этих случаев является развлечение; это использование дронов с бортовыми камерами для съемки от первого лица в режиме реального времени, которые пролетают вблизи лета-

щих самолетов. Таким образом, практически все эти беспилотники будут посылать радиочастотные сигналы. Радиочастотное обнаружение может обеспечить точное отслеживание этих беспилотных летательных аппаратов и геолокацию наземных операторов. В табл. 3 приведены расчеты для обычного дрона, находящегося в свободной продаже, передающего видеосигнал для связи с оператором. Можно сделать вывод, что вполне реально уловить излучаемый сигнал от такого беспилотника.

Таблица 3

Обнаружение радиочастотного сигнала,
излучаемого типичным беспилотником (коммерческий квадрокоптер)

Мощность передатчика дрона, ЭИИМ [19]	0,1 Вт
Частота (видеосигнала), f	5,8 ГГц
Длина волны, c/f	0,055 м
Пропускная способность, β	17,5 МГц
Расстояние от цели до приемника(приемников), R	5 км
Коэффициент усиления антенны приемника, G_r	4
Область действия антенны приемника, A	2,5 м ²
Мощность приемника	$2,21 \cdot 10^{-14}$ Вт
Сила шума (передний вход приемника), η	$8,5 \cdot 10^{-14}$ Вт
Отношение сигнал/шум принимаемого приемником сигнала	0,26
Усиление сигнала, необходимого для достижения порога обнаружения Отношение сигнал/шум при пороге обнаружения = 40	154

Еще одним потенциальным применением радиочастотного обнаружения является обнаружение и отслеживание мини-дронов. Нано-дроны имеют физические размеры размером с ладонь или меньше (рис. 1, 2). Они могут маскировать свой внешний вид под маленькую птицу, что делает их менее заметными в пределах контролируемой зоны и более трудными для визуального обнаружения.



Рис. 1. Маленький глаз в небе [15]



Рис. 2. Нано-колибри; упоминается журналом Time как одно из «50 лучших изобретений 2011 года» [16]

Эти нано-дроны могут быть оборудованы маленькими камерами для проведения разведки и имеют возможность дистанционного управления. Из-за своих небольших физических размеров они не способны нести достаточно мощный блок питания, чтобы вести разведку продолжительное время; мощности полета может хватить только на то, чтобы добраться до определенной точки и вернуться обратно. Но эти нано-дроны могут сидеть на ветвях деревьев и способны крепко держаться за поверхность, чтобы оставаться в вертикальном положении во время наблюдения за объектом разведки (рис. 3).



Рис. 3. Дрон с лапками, который может сесть на ветку дерева [17]

Радиочастотные излучения будут передаваться для предоставления видеоизображения оператору, чтобы найти подходящее место для организации наблюдения. Ретрансляция изображения в реальном времени во время наблюдения

также будет порождать радиочастотное излучение. Таким образом, присутствие и деятельность нано-дронов все еще можно обнаружить, даже когда они не находятся в полете. Кроме того, сидящий дрон не может быть обнаружен методом радиолокационного обнаружения, потому что неподвижный дрон будет скрыт среди фона окружающей среды.

Для более крупных беспилотных летательных аппаратов с поддержкой спутниковой связи их радиочастотное излучение при передаче данных на спутники может быть обнаружено, и положение дрона может быть отслежено. Хотя их передающие антенны будут иметь большую направленность и будут направлены вверх, по направлению к спутникам, их передающая мощность достаточно высока, около 7 Вт, если взять антенну спутникового телефона системы связи «Iridium» в качестве эталона. Сила утечки сигнала от антенны будет иметь достаточную мощность, чтобы быть обнаруженной наземными датчиками. Большинство датчиков очень чувствительны, например, всего 10^{-16} Вт спутникового сигнала могут быть обнаружены обычным GPS-приемником, который используется автомобилями на дорогах. В настоящее время чувствительность современных датчиков составляет 10^{-19} Вт. Более того, соединяющий сигнал по линии связи от дрона к спутникам передается в другой полосе частот, чем сигналы обычной спутниковой связи; таким образом, передаваемые дроном сигналы отличаются для радиочастотных детекторов.

Как отмечалось во введении, некоторые технологии ISR для беспилотных летательных аппаратов могут дать толчок для совершенствования операционной системы беспилотников, чтобы сделать их легко расходуемым ресурсом для получения необходимой информации. Радиочастотное обнаружение может обеспечить своевременное обнаружение беспилотников, снижая шансы на успех такой «тактики камикадзе». Подводя итог, радиочастотное обнаружение может предложить практичный и эффективный инструмент противодействия слежке беспилотными летательными аппаратами всех типов и размеров.

Заключение

Приводятся результаты исследования тенденции применения методов противодействия беспилотным летательным аппаратам. По нашим данным, радиолокационное обнаружение и радиочастотное обнаружение являются двумя эффективными подходами, которые найдут свое практическое применение в ближайшее время. В частности, пассивный радар, использующий передачу телевизионного сигнала, выглядит особенно перспективным для обнаружения угроз, создаваемых очень маленькими дронами с ЭПР размером с насекомое в городских условиях. Также возможно обеспечить круглосуточный мониторинг с минимальными эксплуатационными затратами, так как источник радиолокационного наблюдения (ТВ-сигнал) уже применяется в нашей жизни и, по существу, бесплатен.

Используя метод пассивного обнаружения, уже разработанный и применяемый Командованием воздушно-космической обороны Северной Америки, можно определить положение дронов (т. е. GPS-координаты) и одновременно

отслеживать несколько таких дронов в режиме реального времени [20]. Это значительно облегчает действие по нейтрализации вторгающихся дронов либо силовым, либо мягким выводом из строя.

Радиочастотное обнаружение предлагает еще одно надежное и эффективное средство обнаружения дронов всех размеров, пока дроны излучают сигналы. Радиочастотное обнаружение позволяет осуществлять геолокацию и отслеживание нескольких целей. В случае беспилотных летательных аппаратов, летающих вблизи аэропортов, операторы беспилотных летательных аппаратов на земле также могут быть обнаружены с помощью радиочастотного обнаружения.

Преимущество радиочастотного обнаружения заключается в том, что для обнаружения цели не требуется передатчик. Это означает, что система обнаружения намного проще, меньше и легче, что облегчает ее установку, демонтаж и быстрое перемещение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. DJI Phantom3 with 4K camera [Electronic resource]. – Mode of access: <http://store.dji.com/> (дата обращения: 14.04.2021).
2. Microdrones model MD4-3000 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.microdrones.com/en/news/detail/microdronespresents-the-new-md4-3000/> (дата обращения: 14.04.2021).
3. UAVs drive SATCOM modernization [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.defensemianetwork.com/stories/uavs-drive-satcom-modernization/> (дата обращения: 14.04.2021).
4. «Arctic spy drones a defence concern as Russia expands reach», CBC News [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.cbc.ca/news/politics/arctic-spy-drones-a-defence-concern-as-russia-expands-reach-1.2953027/> (дата обращения: 15.04.2021).
5. Drone Detection [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gcn.com/articles/2015/06/03/drone-detection.aspx/> (дата обращения: 15.04.2021).
6. Japan's Alosk to launch warning system for unwelcoming drones [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.pcworld.com/article/2922552/japans-also-to-launch-warning-system-for-unwelcoming-drones.html/> (дата обращения: 15.04.2021).
7. Drone Detection: what works and what doesn't [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.netsecurity.org/article.php?id=2297&p=1/> (дата обращения: 16.04.2021).
8. ART Drone Sentinel [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.advancedradartechnologies.com/products-services/art-dronesentinel/> (дата обращения: 16.04.2021).
9. Radars to prevent drone-aircraft collisions already in testing [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2014/12/radars-to-prevent-drone-aircraft-collisions-already-in-testing/> (дата обращения: 16.04.2021).
10. Mini UAVs detection by radar / Yu Rong, Richard M Gutierrez, Kumar Vijay Mishra, Daniel W Bliss // JOURNAL OF LATEX CLASS FILES: arXiv:2011.13982v1 [eess.SP] 27 Nov 2020.
11. Can we detect small drones like the one that crashed at White House? [Electronic resource]. – Mode of access: <http://spectrum.ieee.org/automation/robotics/airial-robots/small-drone-detection-strategies/> (дата обращения: 17.04.2021).
12. Drone detection technology to watch over US airports [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.gizmag.com/us-faa-drone-detection-airport/39775/> (дата обращения: 17.04.2021).
13. The Military Wants New Technologies To Fight Drones [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.defenseone.com/technology/2014/11/military-wants-new-technologies-fight-drones/98387/> (дата обращения: 17.04.2021).

14. Drone Labs [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.dronedetector.com/compare-drone-detector/> (дата обращения: 17.04.2021).
15. Review: Axis Drones Vidius quadcopter is a tiny eye in the sky [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.gizmag.com/review-axis-drones-vidius/41605/> (дата обращения: 17.04.2021).
16. Nano hummingbird [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.avinc.com/nano/> (дата обращения: 18.04.2021).
17. Bird-Like Drone Actually Perches To Spy [Electronic resource]. – Mode of access: <http://thefutureofthings.com/8574-bird-like-drone-actually-perches-spy/> (дата обращения: 18.04.2021).
18. TV Signal Locator [Electronic resource]. – Mode of access: <http://tvfool.com/> (дата обращения: 18.04.2021).
19. Surface Skins [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.firstpersonview.co.uk/transmitters/5.8ghz/> (дата обращения: 18.04.2021).
20. ISR System-of-Systems concept evaluation of their effectiveness for NORAD Maritime Warning and the Replacement of the Aerospace Warning Systems / R. Jassemi-Zargani et al. // DRDC Scientific Report 2016.

© Н. В. Игнатенко, А. Н. Поликанин, 2021