

УДК 623.624

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫМ ПОЛЕТАМ БВС ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© 2024 В.А. Злобин¹, М.И. Гордиеня², Н.Е. Киселева⁵

¹ Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

² Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева,
г. Ульяновск, Россия

³ Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Иваново, Россия

Статья поступила в редакцию 06.06.2024

В статье рассматриваются вопросы, связанные с обнаружением беспилотных воздушных судов и мерами противодействия.

Ключевые слова: беспилотники, дроны, противодействие, несанкционированные полеты, обнаружение, детектирование.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-376-382

EDN: MHQDEZ

*Исследования выполнены при финансовой поддержке ФСИ (фонд содействия инновациям)
в рамках конкурса «Студенческий стартап» № 1214ГССС15-Л/87653*

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные воздушные суда (БВС) с развитием прогресса получают все большее и большее распространение [1].

Информация федеральных авиационных правил под номером 138 гласит: «беспилотный летательный аппарат - летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов».

В настоящее время можно увидеть на официальных ресурсах СМИ статистику, которую опубликовала международная ассоциация беспилотных систем UVS International, БВС изготавливают и продают более 55-ти известных странах мира. Сейчас любое физическое лицо может себе позволить купить летающий, радиоуправляемый дрон [2]. Причем стоимость данных устройств невелика, может начинаться от одной либо нескольких тысяч рублей и доходит до сотен тысяч. Приобрести дрон можно под любые потребительские запросы, т.к. из-за конкуренции производители всегда подстраиваются под потребителя. Поэтому современные БВС имеют множество отличающихся друг от друга

технических параметров и характеристик в соответствии с ценовой категорией.

С ростом количества пользователей дронов физическими лицами так же растет и вероятность незаконных полетов БВС в запрещенных для этого местах. Каждый приобретенный дрон должен быть по законодательству РФ поставлен на учет в ведомстве Росавиации с присвоением регистрационного номера устройству. Но большинство граждан игнорируют данные правила, тем самым становятся потенциальными нарушителями закона и подвергают опасности окружающих.

Области применения беспилотных воздушных судов весьма разнообразны. Сюда можно отнести, например, аэрофотосъемку объектов; проектирование земельных участков; контроль периметров охраняемых территорий; помощь в поисково-спасательных мероприятиях; координация действий для помощи военным, спасателям и т.д.; наблюдение за ходом выполняемых работ; контроль температур на производственных объектах; контроль и обнаружение выбросов токсичных веществ.

В открытом доступе в СМИ есть статистические данные о процентном соотношении зарегистрированных и незарегистрированных пользователей беспилотных воздушных судов в базе Росавиации Российской Федерации. На сегодняшний день зарегистрировано порядка 75 тысяч БВС – это всего лишь 10-я часть (10%) от всех беспилотников страны. Данная информация предполагает, что оставшихся незарегистрированных устройств около 750 тысяч штук по стране. При этом с каждым годом указанные цифры интенсивно растут.

Злобин Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация машиностроительных производств и производства изделий из композитных материалов». E-mail: ktnzlobin@yandex.ru

Гордиеня Максим Ильич, студент.

E-mail: mk.gordienya@yandex.ru

Киселева Надежда Евгеньевна.

E-mail: shirmanova18@bk.ru

По всему миру не получается полностью решить проблему с полетами беспилотников, несмотря на то, что это делается на различных уровнях, начиная от информационных профилактических мер, заканчивая обезвреживанием летающих БВС путем уничтожения. [5, 6].

Российское государственное федеральное информационное агентство ТАСС сообщает, что в Российской Федерации идет рост на спрос специальных систем радиоэлектронной борьбы с беспилотниками (ссылка: <https://tass.ru/ekonomika/16116019>). Наибольший интерес проявляют силовые структуры, а также предприятия нефтегазового сектора и химической промышленности. При этом числа коммерческих организаций, предоставляющих свои товары и услуги по реализации систем противодействия нарушениям во время полетов БВС недостаточно. Динамика негативных происшествий при использовании несанкционированных полетов БВС свидетельствует о том, что данная проблема в будущем будет становиться только серьезнее, а защита от дронов – это способ защитить или, по крайней мере, снизить материальный и финансовый ущерб от возможного шпионажа либо нападения.

ИНЦИДЕНТЫ, ПРОИЗОШЕДШИЕ С УЧАСТИЕМ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ПОЛЕТОВ БВС

Сбой работы аэропорта *Gatwick (Великобритания)*

20 декабря 2018 года на территории Лондонского аэропорта Гатвик были обнаружены два беспилотных воздушных судна. Данные дроны летали в непосредственной близости к периметру аэродрома, неоднократно подлетая и отлетая от его взлетно-посадочных полос (ВПП) и представляя угрозу. В результате пришлось закрыть аэропорт вплоть до 21:00 по местному времени. Открытие произошло лишь в 03:00. Самолеты были вынуждены уйти в зону ожидания, а затем - на запасные аэродромы Великобритании и далее в Париж и Амстердам. Из-за нарушения было отменено более 800 рейсов и более 140 тыс. человек не смогли совершить прелет.

Инцидент БВС и самолетом *Embraer ERJ-190*

Пилотируемое воздушное судно аргентинской авиакомпании «Austral» Embraer ERJ-190, имеющее регистрационный номер LV-CDZ, выполняющий рейс AU-2701 из Сан-Франциско, в аэропорт Буэнос-Айреса, Британская Колумбия (Аргентина), с 75 людьми на борту, приближалось к ВПП. Перед порогом ВПП произошло столкновение самолета с находящимся в воздухе объектом. Самолет произвел безопасную посадку. При осмотре левой части фюзеляжа были обнаружены незначительные повреждения обшивки (рисунок 1).

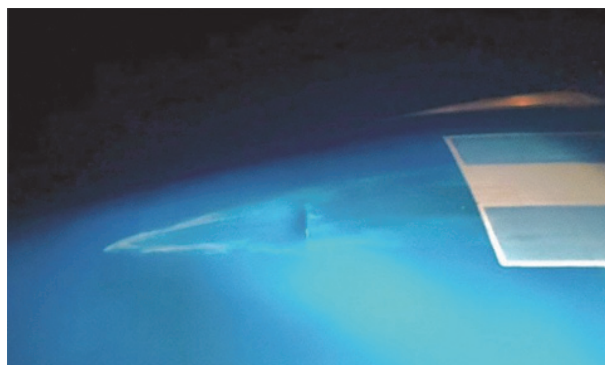


Рисунок 1 – Следы контакта фюзеляжа Embraer ERJ-190

Инцидент с участием БВС и самолета *Boeing 737-800*

12 декабря 2018 года произошел инцидент с самолетом Boeing 737-800 мексиканской авиакомпании «AeroMexico», который выполнял внутренний рейс. На борту находилось 130 человек и 5 членов экипажа. На этапе конечного захода на посадку пилоты доложили диспетчеру громким звуке удара в носовой обтекатель (рисунок 2). Полет закончился благополучно, самолет под управлением пилотов приземлился и зарулил на стоянку.



Рисунок 2 – Последствия столкновения БВС с носовым обтекателем Boeing 737-800

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ ДРОНОВ С ПИЛОТИРУЕМЫМИ ВС

С каждым годом в мире происходит рост использования БВС, следовательно, растет столкновений. Было проведено компьютерное мо-

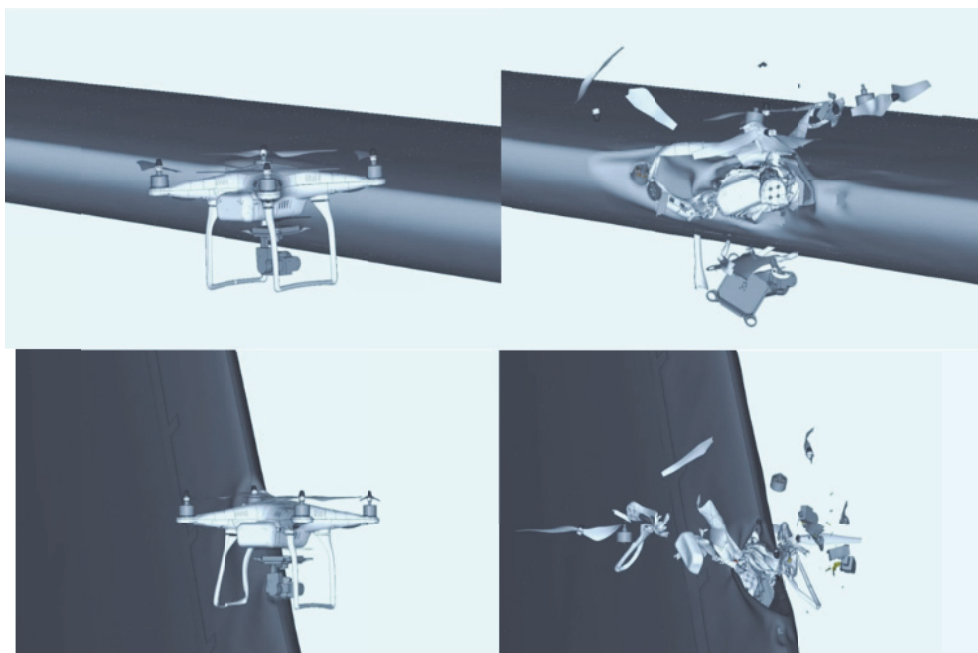


Рисунок 3 – Компьютерное моделирование столкновения БВС кромкой крыла ВС

делирование попадания БВС в кромку крыла воздушного судна (рисунок 3). Здесь можно увидеть повреждение крыла, которое может быть критичным для воздушного судна и повлечь за собой авиакатастрофу.

Также было проведено компьютерное моделирование ситуаций попадания дрона в авиационный двигатель. При этом можно сделать вывод, что серьезную опасность для двигателей представляют дроны массой более 3 кг. Попадая в двигатель, они разрушают лопатки турбовентилятора и разрушаются (рисунок 4). Далее части лопаток и осколки дрона попадают во внешний воздушный контур, откуда их выбросит наружу, а также во внутренний контур — компрессор, камеру сгорания и зону турбины. По

мнению специалистов, столкновение с дроном может привести к более серьезным последствиям, так как БВС работают на мощных литиевых АКБ, способных вызвать возгорание двигателя. Скорость обломков внутри двигателя может достигать 1150 километров в час. Таким образом, при столкновении при взлете с беспилотником массой более 3 килограммов двигатель полностью перестанет работать за долю секунды [7].

На основании проведенных теоретических исследований и рассмотренных авиационных происшествий в области столкновения пилотируемого воздушного судна с беспилотным воздушным судном, можно сделать вывод, что несанкционированные и незаконные полеты БВС в запрещенных местах воздушного простран-

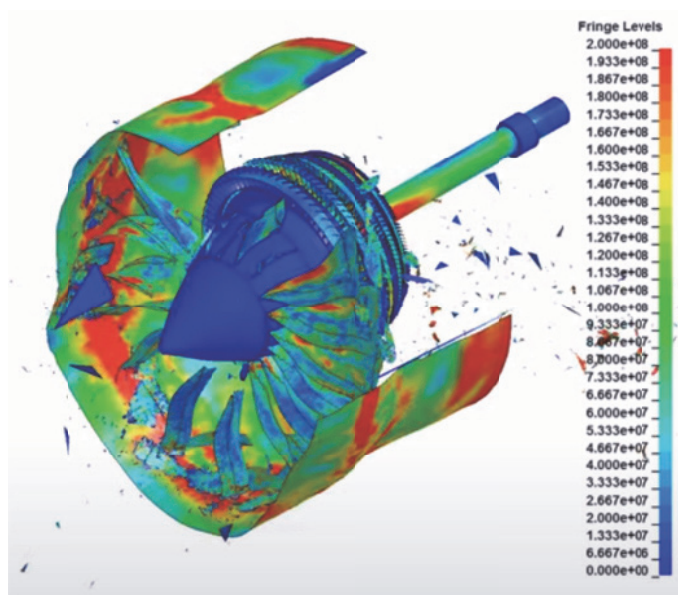


Рисунок 4 – Компьютерное моделирование попадания БВС в двигатель

ства или в непосредственной близости к аэропорту могут быть причиной очень серьезных последствий, вплоть до авиакатастрофы.

СИСТЕМА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ НЕЗАКОННЫМ ПОЛЕТАМ БВС

Устройство детектирования БВС в воздушном пространстве.

В качестве системы детектирования БВС возможно применение комплекса устройств, а именно:

- измерительная антенна KPM15-790/2700;
- анализатор спектров Arinst SSA-TG R2;
- устройство на Android 11 с Bluetooth;

- аттенюатор (для усиления приема радиосигналов);

- ПО Drone Alert, разработанное для работы по обнаружению всех известных частот управления дронами гражданского назначения.

Устройство для детектирования изображено на рисунке 5, а интерфейсы дисплеев Arinst SSA-TG R2 и мультимедийного устройства, работающего на операционной системе Android 11 представлены на рисунке 6.

Устройство подавления частот управления радиосвязи дронов

На рисунке 7 представлена схема для реализации подавления радиосигнала управления БВС на частоте 2,4ГГц (самый распространен-

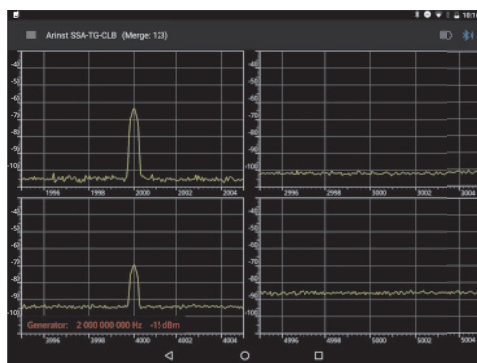


а)

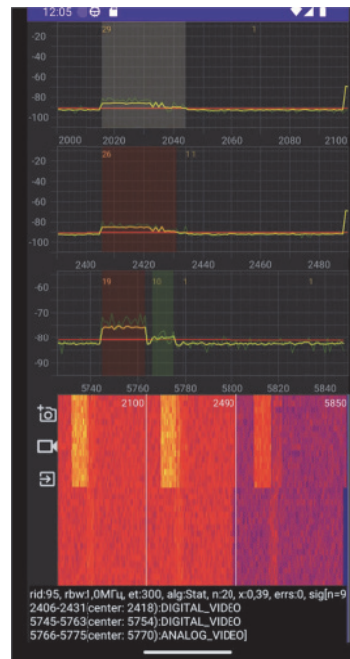


б)

Рисунок 5 – Устройство для обнаружения БВС в воздушном пространстве (а-общий вид; б- фото с полевых исследований)



а)



б)

Рисунок 6 – Интерфейсы на дисплеях (а- Arinst SSA-TG R2; б- мультимедийное устройства на Android 11)

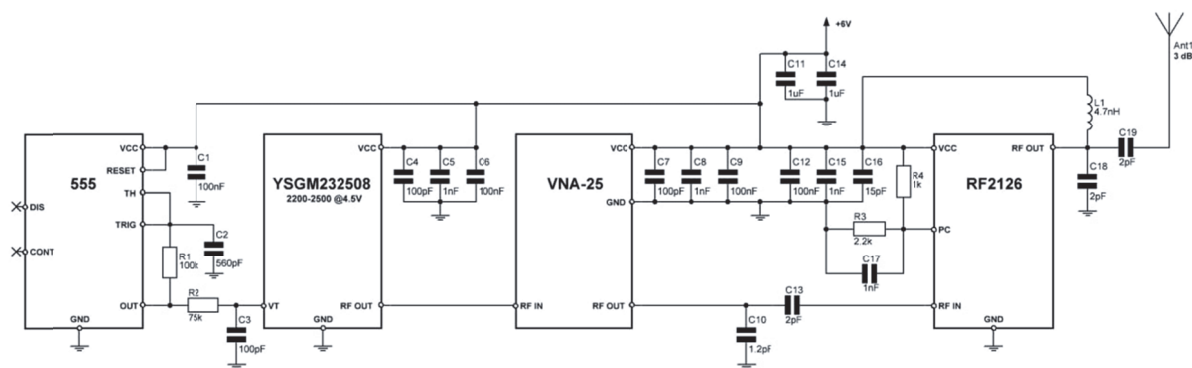


Рисунок 7 – схема для подавления БВС, управляемых радиосигналом 2,4 ГГц

ный диапазон для дистанционного управления устройствами).

Схема (рисунок 7) имеет 4 функциональные части:

Слева – генератор пилообразных колебаний на микросхеме 555 (эти импульсы поступают на управляющий вход ГУН, который выполнен на микросхеме YSGM232508, с которой «помехи» усиливаются по напряжению каскадом на микросхеме VNA-25, а затем – по мощности – усилителем на микросхеме RF2126. Далее помехи выходят в эфир посредством излучающей антенны.

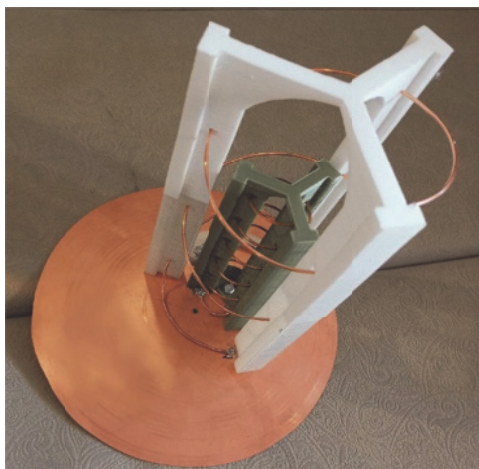


Рисунок 8 – Антенна с круговой поляризацией

Для подключения к данной схеме использовали антенну с круговой поляризацией (рисунок 8) с соответствующей диаграммой направленности (рисунок 9).

Тест в лабораторных условиях на анализаторе спектров радиозифра ARINST SSA R2 показал диапазон созданных помех в интервале 2,03 – 2,6 ГГц (рисунок 10)

Расчет напряженности поля распространения в пространстве, создаваемого направленной антенной с круговой поляризацией, рассчитывается по приведенной ниже формуле:

$$E = \frac{\sqrt{30P_a G}}{r},$$

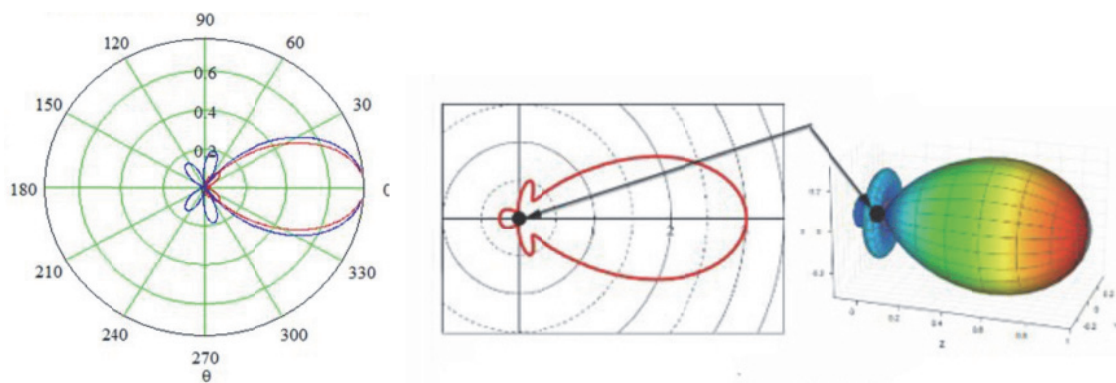
где P_a – мощность источника сигнала, Вт; G – коэффициент усиления антенны, dBi; r – расстояние, м.

Напряженность поля, создаваемого пультом управления RC беспилотника DJI mini 3 pro (один из самых распространенных БВС гражданского назначения для видеосъемки), будет соответствовать при отдаленности дрона от источника управляющего сигнала на расстояние:

а) 500 метров

$$E_i = \frac{\sqrt{30 \cdot 0,025 \cdot 2}}{500} = 0,0024 \text{ В/м};$$

б) 1000 метров



а)

б)

Рисунок 9 – Диаграмма направленности антенн с круговой поляризацией (а- двухмерное изображение; б- трехмерное изображение)



Рисунок 10 – Изображение анализатора спектров радиоэфира

$$E_i = \frac{\sqrt{30 \cdot 0,025 \cdot 2}}{1000} = 0,0012 \text{ В/м.}$$

Следовательно, зная коэффициент усиления антенны с круговой поляризацией в 9,4 dBi, можно рассчитать напряженность поля, создаваемую источником устройства для подавления несанкционированных полетов дронов. Мощность усилителя теоретически можно заложить в устройстве номиналом в 20 Вт. Тогда получим напряженности поля соответственно:

А) 500 метров

$$E_r = \frac{\sqrt{30 \cdot 20 \cdot 9,4}}{500} = 0,15 \text{ В/м;}$$

Б) 1000 метров

$$E_r = \frac{\sqrt{30 \cdot 20 \cdot 9,4}}{1000} = 0,075 \text{ В/м.}$$

При учете, что для эффективного подавления радиосигнала управления дроном напряженность поля, распространяемого устройством

противодействия должна приблизительно в 100 раз превышать напряженность поля, распространяющегося от источника связи, можно сделать следующее заключение. Сигнал радиоправления БВС «нарушителем» эффективно будет подавлен устройством противодействия при подлете к нему на расстояние 400 м и отдалении от источника управления на 1000 м, это так же можно увидеть на графике (рисунок 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате исследований получили зависимость эффективности системы противодействия незаконным полетам беспилотников. При расстоянии между оператором управления дрона и системой противодействия в 1500 м при запуске и полете беспилотника в сторону оператора управления системой проти-

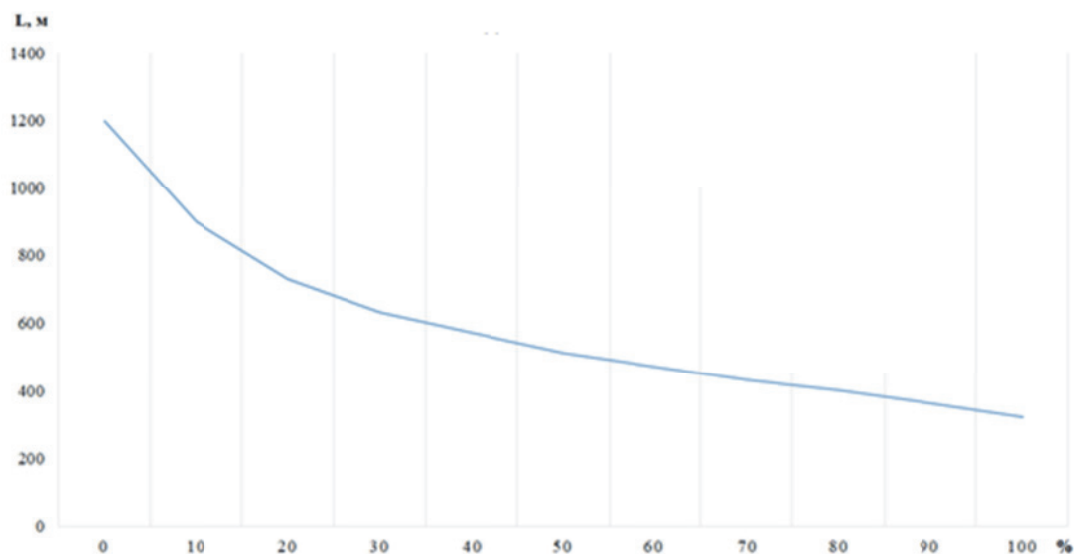


Рисунок 11 – График зависимости интенсивности подавления радиосигнала управления дроном от расстояния до источника помех

водействия, уже на расстоянии 800 м возникают помехи канала радиуправления дроном. А при достижении расстояния до цели в 400 м БВС теряет связь с оператором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коннова, Л.А. Об истории беспилотных летательных аппаратов и перспективах использования в практике спасательных работ / Л.А. Коннова, Г.И. Бончук. – 2018. – 43 стр.
2. Иванов, А. Как устроен дрон / А. Иванов – URL: <https://iot.ru/gadzhety/kak-ustroen-dron> (дата обращения 12.05. 2024).
3. Сычев, В. Дрон навyleт: Насколько опасны беспилотники для пассажирских самолетов/ В. Сычев.

- URL: <https://nplus1.ru/material/> (дата обращения 12.05. 2024).
4. Семенова, Л.Л. Современные методы навигации беспилотных летательных аппаратов: отчет о НИР/ Сургутский государственный университет (СГУ) ; рук. Семенова Л.Л.– УДК 623 – 3 стр.
 5. Абидова, Н.В. Анализ способов противодействия агрессивным дронам/ Н. В. Абидова – URL: <https://ictnews.uz/01/10/2019/agg-drones/> (дата обращения 12.05. 2024).
 6. Руководство по бортовой системе предупреждения столкновений (БСПС) : Doc. 9863AN461. – Montreal: ICAO, 2012.
 7. Лондонский аэропорт Гатвик закрылся из-за дронов / BBC News – URL: <https://www.bbc.com/russian/news-46633933>. (дата обращения 12.05. 2024).

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF DEVICES TO COUNTER UNAUTHORIZED CIVIL UAV FLIGHTS

© 2024 V.A. Zlobin¹, M.I. Gordienya², N.E. Kiseleva³

¹Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

²Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia

³Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ivanovo, Russia

The article discusses issues related to the detection of unmanned aircraft and measures to counter them.

Key words: drones, drones, countermeasures, unauthorized flights, detection, detection.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-376-382

EDN: MHQDEZ

The research was carried out with the financial support of the FSI (Innovation Promotion Fund) as part of the “Student Startup” competition №1214ГССС15-Л/87653

REFERENCES

1. Konnova, L.A. Ob istorii bespilotnyh letatel'nyh apparatov i perspektivah ispol'zovaniya v praktike spasatel'nyh rabot / L.A. Konnova, G.I. Bonchuk– 2018 – 43 str.
2. Ivanov, A. Kak ustroen dron / A. Ivanov – URL: <https://iot.ru/gadzhety/kak-ustroen-dron> (data obrashcheniya 12.05. 2024).
3. Sychev, V. Dron navylet: Naskol'ko opasny bespilotniki dlya passazhirskih samoletov / V. Sychev. – URL: <https://nplus1.ru/material/> (data obrashcheniya 12.05. 2024).
4. Semenova, L.L. Sovremennye metody navigacii

- bespilotnyh letatel'nyh apparatov: otchet o NIR/ Surgutskij gosudarstvennyj universitet (SGU) ; ruk. Semenova L.L. – UDK 623 – 3 str.
5. Abidova, N.V. Analiz sposobov protivodejstviya agressivnym dronom / N.V. Abidova – URL: <https://ictnews.uz/01/10/2019/agg-drones/> (data obrashcheniya 12.05. 2024).
 6. Rukovodstvo po bortovoj sisteme preduprezhdeniya stolknovenij (BSPS) : Doc. 9863AN461. – Montreal: ICAO, 2012.
 7. Londonskij aeroport Gatvik zakrylsya iz-za dronov / BBC News – URL: <https://www.bbc.com/russian/news-46633933>. (data obrashcheniya 12.05. 2024).

Vadim Zlobin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Automation of Mechanical Engineering and Production of Products from Composite Materials». E-mail: ktnzlobin@yandex.ru
Maxim Gordienya, Student. E-mail: mk.gordienya@yandex.ru
Nadezhda Kiseleva. E-mail: shirmanova18@bk.ru