

УДК: 004.932.2

КОМПЛЕКС ОБНАРУЖЕНИЯ И ПОРАЖЕНИЯ БПЛА-НАРУШИТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ БПЛА-ПЕРЕХВАТЧИКОВ

COMPLEX FOR DETECTING AND DEFEATING INTRUDER UAVS USING INTERCEPTOR UAVS

Канд. техн. наук А.И. Каляев, канд. техн. наук Я.С. Коровин

PhD A.I. Kalyaev, PhD Ya.S. Korovin

ООО «НИИ МВУС»

Развитие технологий создания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и снижение их стоимости привело к тому, что БПЛА стали применяться для противоправной деятельности. Поэтому актуальной научно-технической задачей является разработка мобильных комплексов обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей, отличающихся невысокой стоимостью «выстрела» и оперативностью развертывания в городских условиях. Коллективом авторов создана концепция комплекса обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей с помощью БПЛА-перехватчиков, базирующаяся на автоматизированном визуальном обнаружении нарушителей и отправлении им на перехват БПЛА, обладающего автономной бортовой системой управления для нейтрализации нарушителя путем тарана или захвата с применением кевларовых нитей. Преимуществами комплекса являются его универсальность, малогабаритность, быстрота развертывания и низкая стоимость применения.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, визуальное обнаружение, БПЛА-перехватчик, бортовой блок управления, автономное управление.

The development of technologies for creating unmanned aerial vehicles (UAVs) and the reduction in their cost has led to the fact that UAVs have been used for illegal activities. Therefore, an urgent scientific and technical task is to develop mobile systems for detecting and defeating intruder UAVs, which are characterized by a low cost of «shooting» and rapid deployment in urban conditions. The team of authors created the concept of a complex for detecting and defeating intruder UAVs using interceptor UAVs, based on automated visual detection of intruders and sending for interception a UAV that has an autonomous onboard control system to neutralize the intruder by ramming or capturing with the use of kevlar threads. The advantages of the complex are its versatility, small size, quick deployment and low cost of use.

Keywords: unmanned aerial vehicle, visual detection, UAV-interceptor, on-board control unit, autonomous control.

Стремительное развитие технологий создания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и снижение их стоимости привело к тому, что БПЛА стали все чаще применяться для осуществления террористических атак на объектах критической инфраструктуры, а также в местах мас-

сового скопления людей. При этом в последнее время для подобных атак, как правило, используются недорогие гражданские квадрокоптеры, управление которыми может осуществляться малоквалифицированным оператором по радиоканалу, либо по заранее заложеной программе.

Одним из наиболее известных примеров подобных террористических атак является попытка убийства президента Венесуэлы Н. Мадуро с помощью начиненных взрывчаткой квадрокоптеров [1] (рис. 1).

Использованием БПЛА для проведения террористических атак породило актуальную проблему борьбы с ними. На рис. 2 приведены примеры систем [2], предназначенных для обнаружения и уничтожения БПЛА-нарушителей.

Проведенный анализ существующих систем показал, что большинство из них используют радиолокаторы в качестве средств обнаружения БПЛА-нарушителя, в качестве средств уничтожения используются либо средства радиоподавления (блокирование и искажение каналов спутниковой навигации, блокирование каналов управления и связи), либо средства огневого, электромагнитного или лазерного поражения [3]. При этом зачастую стоимость одного «выстрела» в таких системах на порядки превышает стоимость уничтожаемого БПЛА-нарушителя (в настоящее время стоимость подходящего для диверсионной деятельности квадрокоптера начинается от 300 долларов США).

При этом большинство из существующих систем борьбы с БПЛА-нарушителями не могут быть эффективно использованы в городских урбанизированных условиях и местах массового скопления людей вследствие:

1. Невозможности использования радиолокационных средств обнаружения БПЛА-нарушителя из-за большого числа источников излучения, отражающих поверхностей, что, в свою очередь, приводит к большому числу ложных срабатываний и малой зоне уверенного обнаружения БПЛА-нарушителя [4];

2. Недопустимости использования средств обнаружения и поражения БПЛА-нарушителя, которые могут привести к выходу из строя гражданской аппаратуры (например, городской инфраструктуры, систем связи экстренных служб и т.д.);

3. Недопустимости использования средств обнаружения и поражения БПЛА-нарушителя, не обеспечивающих нормы безопасного воздействия на людей;

4. Недопустимости использования средств поражения БПЛА-нарушителя, которые могут привести к травмированию и ранению людей

в условиях их массового скопления (например, осколочных ранений при огневом поражении БПЛА).

Поэтому актуальной научно-технической задачей является разработка и создание доступных для применения в городских условиях мобильных комплексов обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей, отвечающих перечисленным требованиям, а также отличающихся невысокой стоимостью «выстрела» и оперативностью развертывания в городских условиях.

Концептуальная проработка прототипа такого комплекса была проведена специалистами «НИИ МВУС» (г. Таганрог). Принципиальное

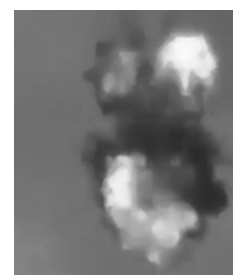
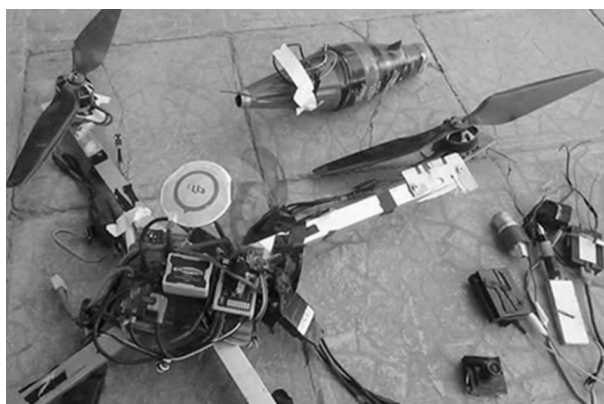


Рис. 1. БПЛА, осуществивший террористическую атаку на президента Мадуро

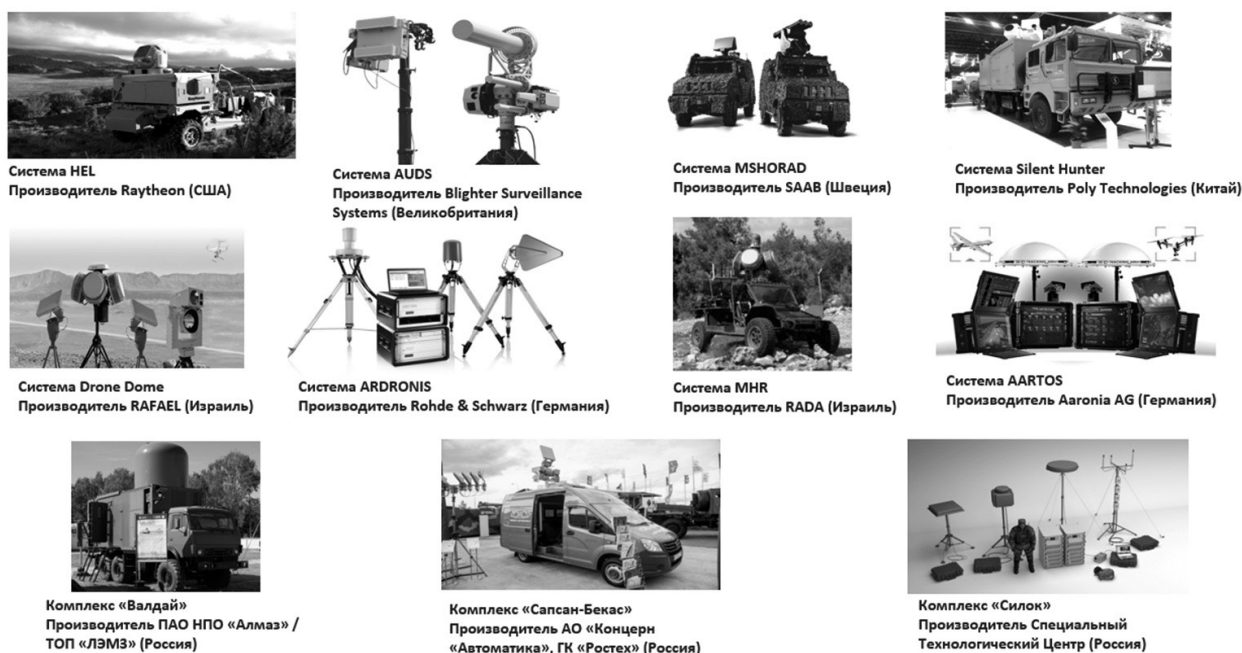


Рис. 2. Существующие системы борьбы с БПЛА

отличие предлагаемого комплекса от существующих, заключается в том, что в нем в качестве средства поражения БПЛА-нарушителей было предложено использовать такие же БПЛА-перехватчики.

На рис. 3 показана структура комплекса, включающая в свой состав: подсистему видеонаблюдения, подсистему обработки информации и целеуказания

и целеуказания, пульт оператора и собственно БПЛА-перехватчик.

В качестве подсистемы видеонаблюдения используется устройство производства ОАО «Пеленг» (г. Минск), включающее в свой состав:

- видеокамеру и тепловизионную камеру;
- дальномер, позволяющий получать данные о расстоянии до целей, находящихся на ос-

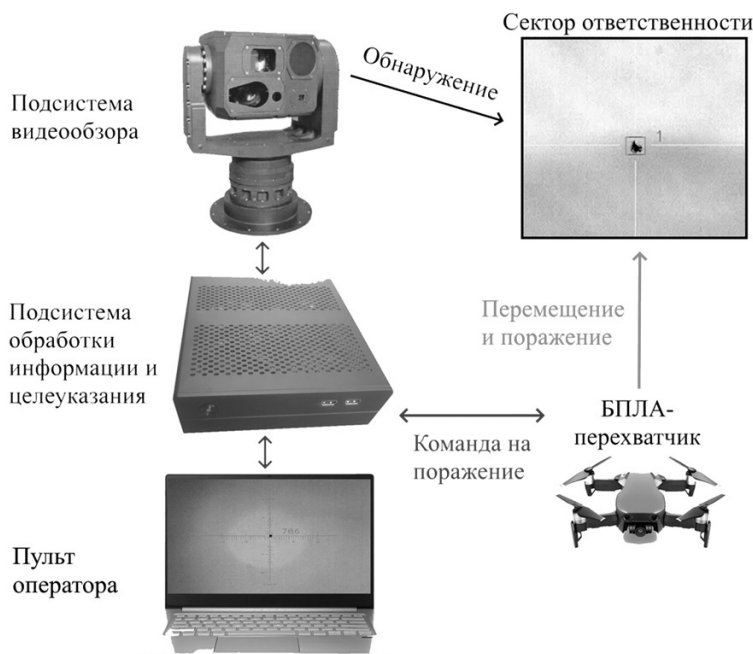


Рис. 3. Структура комплекса с БПЛА-перехватчиком

новой визирной оси блока получения видеосигнала;

- поворотное устройство, позволяющее осуществлять разворот камер и дальномера в требуемом направлении и выдавать данные об углах поворота.

Подсистема обработки информации и целеуказания (разработанная и созданная «НИИ МВУС») включает в свой состав:

- вычислительный модуль;
- программное обеспечение, реализующее комплекс алгоритмов обнаружения и сопровождения БПЛА в условиях сложной фоноцелевой обстановки на основе видеопоследовательностей, получаемых с помощью подсистемы видеобзора, а также целеуказания для БПЛА-перехватчика;

- устройство топопривязки, позволяющее осуществить привязку блока получения видеосигнала к земным координатам.

Пульт оператора включает в свой состав:

- персональный компьютер, в том числе автономный;

- программное обеспечение, позволяющее осуществлять первичную настройку и управление подсистемой обработки информации и целеуказания, и бортовым блоком управления БПЛА.

Работа комплекса обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей (КОП БПЛА) состоит из следующих этапов.

Оператор выбирает сектор ответственности КОП БПЛА, указывая граничные значения угловых координат (например, от 30 до 45 градусов по вертикали и от 0 до 90 градусов по горизонтали).

Подсистема видеобзора последовательно сканирует выбранный сектор ответственности, проходя по нему своим полем зрения, останавливаясь в каждой точке поиска на время, требуемое для обнаружения объектов.

Видеосигналы, получаемые с помощью видеокамеры и тепловизора, отправляются на обработку в вычислительный модуль (в использованной конфигурации для обнаружения БПЛА-нарушителя требуется обработать около 10 кадров, при этом время обнаружения составляет примерно 0,2 секунды, а полное сканирование указанного сектора ответственности занимает около 11 секунд).

В случае, если целеподобный объект обнаружен, перемещение поля зрения прекращается

и на пульте оператора появляется уведомление об обнаружении цели. Оператор может маркировать данную цель как ложную и, в этом случае, поиск продолжается, либо — как представляющую угрозу и, в данном случае, объект инициируется процесс её сопровождения.

В последнем случае подсистема обработки формирует управляющие воздействия на поворотное устройство подсистемы видеобзора для приведения цели к оси действия дальномера и осуществляет дальнейшее сопровождение цели таким образом, чтобы минимизировать время нахождения цели вне оси действия дальномера (рис. 4).

В процессе сопровождения осуществляется периодическая работа дальномера подсистемы видеобзора, с помощью которого передаются данные о расстоянии до выбранной цели.

Данные, получаемые с дальномера и углов оптической оси с поворотного устройства подсистемы видеобзора, передаются в подсистему обработки и целеуказания, которая с учетом топопривязки рассчитывает текущие координаты цели и траекторию её движения.

Параллельно с процедурой слежения (сопровождения) оператора за целью по команде с пульта оператора осуществляется запуск БПЛА-перехватчика (в случае, если в наличии имеется несколько БПЛА, осуществляется запуск ближайшего к координатам цели).

В процессе сопровождения цели на БПЛА-перехватчик постоянно транслируются актуальные координаты цели (БПЛА-нарушителя).

Координаты цели поступают на бортовой блок управления БПЛА, который формирует команды управления движением БПЛА для сближения с целью. В момент сближения с целью

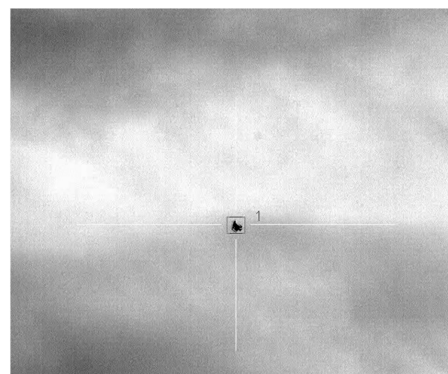


Рис. 4. Приведение оптической оси в центр цели

БПЛА-перехватчик осуществляет ее нейтрализацию.

При этом нейтрализация БПЛА-нарушителя может осуществляться двумя способами: БПЛА-перехватчик осуществляет таран БПЛА-нарушителя (рис. 5), либо осуществляет его захват с применением кевларовых нитей (рис. 6) (технология такого захвата предложена и отработана специалистами АО «НПО Спецматериалов», г. Санкт-Петербург). Последний вариант более приемлем в случае использования комплекса в местах массового скопления людей, поскольку при таране падающие обломки БПЛА могут нанести ранения людям.

В обоих случаях, прежде чем осуществить таран или захват БПЛА-нарушителя БПЛА-перехватчик должен приблизиться к нему на минимальное расстояние. Это может осуществляться двумя способами.

В первом варианте управление БПЛА-перехватчика осуществляется с помощью команд, передаваемых подсистемой обработки видеoinформации и целеуказания, которая после захвата цели постоянно отслеживает положение цели и пере-

дает ее координаты на БПЛА-перехватчик. На основании этих данных БПЛА-перехватчик с помощью своих бортовых вычислительных устройств рассчитывает и корректирует траекторию своего движения к цели (БПЛА-нарушителю).

Однако в городских условиях постоянная связь между подсистемой обработки и целеуказания и БПЛА-перехватчиком может периодически теряться. Поэтому также предусматривается автономный режим управления БПЛА-перехватчиком. В этом режиме после получения от подсистемы обработки и целеуказания координат цели дальнейшее ее сопровождение может осуществляться с помощью бортовой видеокамеры и бортового вычислительного устройства БПЛА-перехватчика.

Для этой цели на борту БПЛА-перехватчика устанавливается бортовой блок управления, базирующийся на высокопроизводительном малоразмерном вычислительном модуле (габариты модуля — 100 x 150 мм), разработанном в ООО «НИЦ СЭ и НК» (г. Таганрог) (рис. 7), на базе которого реализуются адаптированные к бортовому применению алгоритмы обработ-



Рис. 5. Таран БПЛА-нарушителя



Рис. 6. Захват БПЛА-нарушителя с применением кевларовых нитей

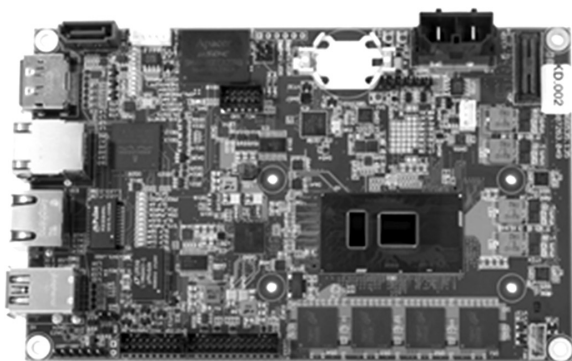


Рис. 7. Высокопроизводительный бортовой вычислительный модуль производства ООО «НИЦ СЭ и НК»

ки видеопоследовательностей, получаемых с помощью бортовой видеокамеры БПЛА, и решения задачи захвата и сопровождения цели (БПЛА-нарушителя), а также формирования команд управления БПЛА-перехватчика для его уничтожения. Реализация данных алгоритмов на базе бортового упомянутого вычислительного модуля обеспечивает возможность обработки видеопоследовательностей с разрешением 1 миллион элементов изображения и частотой до 50 кадров в секунду.

Натурные экспериментальные испытания прототипа КОП БПЛА-нарушителей показали его работоспособность и эффективность при работе в городских урбанизированных условиях, в условиях сложной фоноцелевой обстановки (при соотношении сигнал-шум до 0,3 дБ). Реализация разработанных алгоритмов обработки видеопоследовательностей, получаемых с помощью подсистемы видеозвора, на базе вычислительного модуля обеспечивает возможности обнаружения, захвата и сопровождения малоразмерных целей,двигающихся со скоростями до 75 км/ч на сложном фоне.

Преимуществами разработанного комплекса являются его универсальность, малогабаритность, быстрота развертывания и низкая стоимость применения. Потенциально слабой стороной комплекса является сравнительно невысокая скорость обнаружения объектов, связанная с необходимостью осуществления последовательного сканирования сектора ответственности. Поэтому в настоящее время в «НИИ МВУС» ведется разработка прототипа распределенной системы обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей, включающей в

свой состав множества распределённых в пространстве подсистем видеозвора, каждая из которых имеет свой сектор ответственности. Такой подход обеспечивает возможность обнаружения и перехвата целей при групповом налете БПЛА-нарушителей с помощью группы БПЛА-перехватчиков.

Литература

1. Артемьев М. Атака дронов: как покушение на Николаса Мадуро сделало рекламу беспилотникам. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/365651-ataka-dronov-kak-pokushenie-na-nikolasa-maduro-sdelalo-reklamu-bespilotnikam> (Дата обращения: 01.02.2021).
2. Бойко А. Обнаружение и противодействие беспилотникам. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/obnaruzhenie-i-protivodyaystvie-bespilotnikam> (Дата обращения: 01.02.2021).
3. Алексеев А. Технологии борьбы с беспилотниками (Часть 1). URL: <https://topwar.ru/98934-tehnologii-borby-s-bespilotnikami.html> (Дата обращения: 01.02.2021).
4. Ерёмин Г.В., Гаврилов А.Д., Назарчук И.И. Малоразмерные беспилотники — новая проблема для ПВО. URL: <http://otvaga2004.ru/armiya-i-vpk/armiya-i-vpk-vzglyad/malorazmernye-bespilotniki/> (Дата обращения: 13.04.2021).
5. Испытание систем РЛС, радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и радиотехнической разведки (РТР): общие проблемы испытаний. URL: <https://radiorf.ru/wp-content/uploads/2014/11/Ispytanie-sistem-RLS-radioelektronnoj-borby-REB-i-radiotekhnicheskoy-razvedki.pdf> (Дата обращения: 01.02.2021).
6. Васильев А. Устройства наблюдения перспективных танков. URL: <https://topwar.ru/31998-ustroystva-nablyudeniya-perspektivnyh-tankov.html> (Дата обращения: 01.02.2021).
7. Коровин Я.С., Хисамутдинов М.В., Каляев А.И. Улучшение показателя psnr цифрового изображения / Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий издательство: московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ. — Москва. 2014. № 1. С. 558–560.
8. Korovin Ya.S., Khisamutdinov M.V., Ivanov D.Ya. Improvement of a video sequence singular image / acm international conference

proceeding series 2. сер. «ICAAI 2018 — 2018 the 2nd International conference on advances in artificial intelligence» // Association for computing machinery. 2018. С. 12–15.

9. Коровин Я.С., Хисамутдинов М.В., Иванов Д.Я. Метод обнаружения точечных объектов на монохромных изображениях видеопоследовательности в режиме реального времени / Известия тульского государственного университета. технические науки. — Тула. № 10. 2019. С. 356–365.

10. Макаров В. Дрон идет на таран: как США охотятся на беспилотники. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/news-511472-dron-idet-na-taran-kak-ssha-ohotyatsya-na-bespilotniki/> (Дата обращения: 01.02.2021).

References

1. Artemiev M. Drone Attack: How the assassination Attempt on Nicolas Maduro made Ads for drones. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/365651-ataka-dronov-kak-pokushenie-na-nikolasa-maduro-sdelalo-reklamu-bespilotnikam> (Accessed: 01.02.2021).

2. Boyko A. Detection and counteraction to drones. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/obnaruzhenie-i-protivodyaystvie-bespilotnikam> (Accessed: 01.02.2021).

3. Alexeev A. Anti-drone technologies (Part 1). URL: <https://topwar.ru/98934-tehnologii-borby-s-bespilotnikami.html> (Accessed: 01.02.2021).

4. Eremin G.V., Gavrilov A.D., Nazarchuk I.I. Small-sized drones — a new problem for Air Defense.

URL: <http://otvaga2004.ru/armiya-i-vpk/armiya-i-vpk-vzglyad/malorazmernye> (Accessed 13.04.2021).

5. Testing of radar, electronic warfare (EW) and electronic intelligence (RTR) systems: general problems of testing. URL: <https://radiorf.ru/wp-content/uploads/2014/11/Ispytanie-sistem-RLS-radioelektronnoj-borby-REB-i-radiotekhnicheskoy-razvedki.pdf> (Accessed: 01.02.2021).

6. Vasiliev A. Observation devices for promising tanks. URL: <https://topwar.ru/31998-ustroystva-nablyudeniya-perspektivnyh-tankov.html> (Accessed: 01.02.2021).

7. Korovin Ya.S., Khisamutdinov M.V., Kalyaev A.I. Digital image psnr improvement / Innovation based on information and communication technologies publishing house: Moscow Institute of Electronics and Mathematics, NRU HSE. — Moscow. 2014. № 1. P. 558–560.

8. Korovin Ya.S., Khisamutdinov M.V., Ivanov D.Ya. Improvement of a video sequence singular image / acm international conference proceeding series 2. сер. «ICAAI 2018 — 2018 the 2nd International conference on advances in artificial intelligence» // Association for computing machinery. 2018. С. 12–15.

9. Korovin Ya.S., Khisamutdinov M.V., Ivanov D.Ya. Method of detecting point objects on monochrome images of video sequences in real time / Bulletin of the Tula State University. technical sciences. — Tula. № 10. 2019. P. 356–365.

10. Makarov V. Drone goes to ram: how the United States hunt drones. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/news-511472-dron-idet-na-taran-kak-ssha-ohotyatsya-na-bespilotniki/> (Accessed: 01.02.2021).