



УДК 621.384.3

doi: 10.21685/2587-7704-2025-10-1-22



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Проблемы и методы обнаружения современных беспилотных авиационных систем

**Михаил Александрович Кулапин**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
qulapinmisha@gmail.com

**Дмитрий Сергеевич Кисилев**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
rtech@pnzgu.ru

**Юлия Вячеславовна Алланова**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
ula356398@gmail.com

**Аннотация.** Рассмотрена важная проблема обнаружения современных беспилотных авиационных систем. На основе этого анализа представлены методы обнаружения и беспилотных летательных аппаратов. Результат обзора позволяет определить наиболее оптимальный подход к решению поставленной проблемы.

**Ключевые слова:** беспилотные авиационные системы, беспилотные летательные аппараты, обнаружение, наблюдение, выявление

**Для цитирования:** Кулапин М. А., Кисилев Д. С., Алланова Ю. В. Проблемы и методы обнаружения современных беспилотных авиационных систем // Инжиниринг и технологии. 2025. Т. 10 (1). С. 1–5. doi: 10.21685/2587-7704-2025-10-1-22

## Problems and methods of detection of modern unmanned aircraft systems

**Mikhail A. Kulapin**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
qulapinmisha@gmail.com

**Dmitry S. Kiselyov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
rtech@pnzgu.ru

**Julia V. Allanova**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
ula356398@gmail.com

**Abstract.** An important problem of detecting modern unmanned aircraft systems is considered. Based on this analysis, methods of detection and unmanned aerial vehicles are presented. The result of the review allows us to determine the most optimal approach to solving the problem.

**Keywords:** unmanned aircraft systems, unmanned aerial vehicles, detection, surveillance, identification

**For citation:** Kulapin M.A., Kiselyov D.S., Allanova J.V. Problems and methods of detection of modern unmanned aircraft systems = *Engineering and Technology*. 2025;10(1):1–5. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2025-10-1-22

### Введение

Развитие технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) началось в XX в. Американский изобретатель Арчибальд Маклиш представил миру первый БПЛА под названием Kettering Bug. Первое применение такого аппарата произошло во время первой мировой войны.



Окончание первой мировой войны не повлияло на развитие технологий беспилотной авиации, и в сентябре 1924 года совершил первый радиоуправляемый полет гидросамолет Curtiss F-5L. В 30-е годы XX века в Великобритании был разработан дрон DH.82B Queen Bee. Он управлялся при помощи вакуумных электронных ламп и электромеханических реле. Данный дрон уже был военным и применялся как воздушная мишень для тренировки пилотов Королевских ВВС [1].

Самым известным и положившим начало развитию БПЛА и ракетостроению является Немецкая крылатая ракета самолетного типа Фау-1, разработанная в 1942 году и принятая на вооружение Нацистской Германии в июне 1944 года. На основе ракеты Фау-1 в послевоенные годы стали появляться реактивные беспилотники, которые использовались исключительно в военных целях. Примером такого беспилотника является Ту-123, который был разработан в 1961 году и предназначался для разведки местности [2].

Первый радиоуправляемый дрон продемонстрировали израильтяне в 1978 году на авиавыставке в Париже. Первое применение состоялось во время Ливанской войны. Тогда ЦАХАЛ при помощи этих дронов смогла разведать позиции Сирийских расчетов ПВО и по полученным координатам нанесли авиаудар. IAI Scout предопределил будущий облик и направление развития всех БПЛА [3].

Современные технологии позволяют создавать различные виды беспилотных авиационных систем (БАС), в зависимости от задач и местности. На сегодня день преимущественно используют четыре типа конструкции БАС:

- БАС мультикоптерного типа;
- гибридные БАС;
- БАС самолетного типа;
- БАС вертолетного типа.

Различие БАС определяется не только их конструкцией, но и более постоянными показателями – взлетной массой, дальностью, высотой и продолжительностью полета, размерами летательных аппаратов и прочими аналогичными параметрами. В табл. 1 описана Российская классификация БАС, ориентированная на данный момент на военные дроны [4].

Таблица 1

Российская система классификации БАС

| Категория                                    | Взлетная масса, кг | Дальность действия, км |
|----------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| Микро и мини БАС ближнего действия           | 0–5                | 25–40                  |
| Легкие БАС малого радиуса действия           | 5–50               | 10–70                  |
| Легкие БАС среднего действия                 | 50–100             | 70–150 (250)           |
| Средние БАС                                  | 100–300            | 10–1000                |
| Средне – тяжелые БАС                         | 300–500            | 70–300                 |
| Тяжелые БАС среднего радиуса действия        | <500               | 70–300                 |
| Тяжелые БАС большой продолжительности полета | <1500              | 1500                   |
| Беспилотные боевые самолеты                  | <500               | 1500                   |

### Методы обнаружения беспилотных авиационных систем

Координаты БАС могут быть установлены за счет детектирования отраженного и излучаемого сигнала во всех частотных диапазонах – как электромагнитных, так и акустических волн.

Беспилотная авиационная система, как и любой материальный объект, обладает демаскирующими признаками, позволяющими выделить его из окружающего пространства. В настоящее время уровень заметности беспилотников определяется по их сигнатурам в радиочастотном, инфракрасном, видимом и акустическом диапазонах. Благодаря использованию композитных материалов, пластика



и многослойного спецпокрытия, современные БАС обладают крайне низкой сигнатурой. Дополнительно их малозаметность обеспечивается за счет маломощных двигателей (бензиновых или электрических), которые практически не излучают тепла и работают с минимальным уровнем шума [5].

Многообразие подходов к построению и эксплуатации средств наблюдения в указанных диапазонах создает значительные сложности при определении их реальной эффективности. Поэтому необходимо подробно исследовать каждый из существующих методов обнаружения.

Акустический способ обнаружения БАС основан на анализе звуковых волн, генерируемых БПЛА во время полета. Акустическая сигнатура тактического БАС формируется совокупностью гармонических и широкополосных составляющих. Они включают в себя гармонические колебания от работы силовой установки, аэродинамический шум вращающихся винтов, механические вибрации элементов конструкции и широкополосные шумовые составляющие от двигателя (как низкочастотные, так и высокочастотные). Для моделей с поршневыми двигателями воздушного охлаждения, не оборудованными глушителями, основной вклад в акустическое излучение вносит именно силовая установка. Недостатками акустического метода является зависимость от звукового фона окружающей среды, т.е. при наличии громких звуков в поле нахождения БАС, его будет невозможно распознать. К недостаткам также относят ограниченный радиус действия акустических систем, из-за затухания в среде звуковых колебаний от работающей силовой установки дрона [6].

Оптический способ выявления БАС характеризуется высокой зависимостью от внешних условий. Для повышения дальности детектирования требуется уменьшить угол обзора оптической системы, сократить контролируемые зоны наблюдения и увеличить продолжительность сканирования территории. Вследствие этого визуальные сенсоры малоэффективны для первичного обнаружения целей. Их оптимальное применение возможно на этапе сопровождения БАС при условии получения координат от других, более эффективных средств поиска. За счет компактных размеров БАС, значительно уступающих габаритам пилотируемых летательных аппаратов, их выявление оптическими системами представляет существенную техническую сложность. Ключевыми недостатками оптического метода являются подверженность влиянию внешних факторов, таких как дождь или туман, которые уменьшают размер рабочей области, а в темное время суток обнаружить БАС практически невозможно. Оптические системы также обладают низким углом обзора и не способны эффективно отличать беспилотники от других воздушных объектов [7].

ИК метод использует регистрацию теплового излучения объектов. Его эксплуатационные характеристики способствуют обнаружению объектов при неблагоприятных погодных условиях, а также в темное время суток. Разработчики БАС принимают меры для минимизации ИК-излучения в направлении наземных детекторов, перенаправляя тепловые потоки вверх, в сторону небосвода. Дополнительно применяются материалы с низкой тепловой излучаемостью, включая алюминий и серебро. В таких условиях вероятность обнаружения БАС зависит от трех ключевых факторов: коэффициента теплового излучения поверхности, температурного контраста с окружающей средой и площади излучающей поверхности [8].

Радиолокационный способ обнаружения реализуется с использованием активных радиолокационных станций (РЛС), которые обладают обширной зоной обзора за счет большого импульсного объема и высокой дальностью действия. Однако РЛС также могут быть обнаружены врагом, за счет собственного излучения. Эффективное применение РЛС может осуществляться при условии, что не требуется скрытность работы или высокая мобильность. Как было указано ранее, современные БАС преимущественно производятся из композитных материалов, обладающих низкой отражательной способностью в отношении электромагнитного излучения. Электромагнитное излучение частично отражается от корпуса БАС, тогда как основная доля радиоволн проходит сквозь его конструкцию. Радиолокационный способ обладает ограниченными возможностями в определении пространственных координат цели. В большинстве случаев он позволяет установить лишь направление движения БАС, но не обеспечивает точного измерения дальности и высоты его полета [9].

Кроме этого, БАС способны обнаружить средства радиотехнической разведки путем приема и анализа сигналов управления, излучения бортовых высотомеров, работы станций активных помех и РЛС. Но данный метод позволяет определить исключительно азимут на БАС, при этом точность пеленгации возрастает пропорционально продолжительности измерения. Отдельные низкочастотные каналы связи обладают повышенной дальностью обнаружения. Бортовые РЛС и средства радио-

электронного подавления БАС также обладают повышенной дальностью обнаружения по сравнению с другими излучающими системами. Данный способ отличается простотой технической реализации и обеспечивает оперативное определение направления на цель с последующей передачей координат оптическим или инфракрасным системам наблюдения [10].

### **Трудности обнаружения низколетящих беспилотных авиационных систем**

Несмотря на различные методы обнаружения БАС, главной проблемой является обнаружение дронов на предельно малых высотах. Современные РЛС не могут эффективно проводить контроль воздушного пространства против низколетящих беспилотников. Зачастую малые дроны остаются незамеченными за счет компенсации влияния отражений от подстилающей поверхности [11].

Наиболее эффективным способом контроля за пролетом низколетящих БАС можно считать ИК-метод. Как было сказано выше, данный метод позволяет обнаруживать объекты в любых погодных условиях и в любое время суток. Но и этот метод в полной мере не обеспечивает надежности обнаружения.

Исходя из рассмотренных методов, следует разработать систему на основе БАС и малогабаритных мобильных РЛС. В случае установки РЛС на стационарный мультикоптер, подключенный к источнику постоянного питания (аккумулятору), можно обеспечить контроль воздушного пространства от низколетящих дронов. Такой подход будет крайне эффективен для действующей армии, которая находится в движении. На рис. 1. Изображается принцип работы подобного устройства [12].



Рис. 1. Принцип обнаружения низколетящих дронов при помощи БАС с РЛС на борту

### **Заключение**

В статье рассматривались методы и проблемы при обнаружении современных БАС. Несмотря на отличительные особенности каждого метода, многие из них малоэффективны при обнаружении низколетящих дронов. Исходя из этого, была выдвинута концепция размещения РЛС на борту мультикоптера, чтобы увеличить эффективность обнаружения.

### **Список литературы**

1. Буянов М. С., Фискевич А. С., Федорченко А. А., Гаранин С. А. История создания и развития беспилотных летательных аппаратов // Специальная техника и технологии транспорта. 2022. С. 13–25.
2. Горожанин С., Муратов М., Физелер «Рейхенберг» // Крылья Родины. 1994. С. 47.
3. Фрезе В. Р. Опыт применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами в вооруженных конфликтах. 2018. С. 106–112.
4. Классификация БПЛА по летным характеристикам. URL: <https://docs.geoscan.ru/pioneer/database/const-module/classification/classification.html>
5. Гордеев В. И., Тебайкин Д. С., Шульгин А. Н. Классификация методов обнаружения беспилотных летательных аппаратов // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых). 2023. С. 3516–3523.
6. Патент РФ 2749651. Акустический способ обнаружения беспилотных летательных аппаратов / Деркачев П. Ю., Косогор А. А., Тихов Ю. И. Заявл. 27.08.2020 ; опубл. 16.06.2021.
7. Морозов А. Н., Назолин А. Л., Фуфурин И. Л. Оптические и спектральные методы в задачах обнаружения и распознавания подвижных летательных объектов // Радиостроение. 2020. № 2. С. 39–50.



8. Патент РФ 2758881. Тепловизионный способ обнаружения беспилотного летательного аппарата типа «мультикоптер» / Марков П. Н., Резников А. В., Пасынков А. Н., Ермаков С. В. Заявл. 30.12.2020 ; опубл. 02.11.2021.
9. Грачева К. В. Радиолокационные методы в обнаружении и отслеживании БПЛА // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 27. С. 1143–1147.
10. Патент РФ 2534217. Радиолокационный способ обнаружения малозаметных беспилотных летательных аппаратов / Зайцев А. В., Амозов Е. В., Митрофанов Д. Г. Заявл. 28.08.2013; опубл. 27.11.2014.
11. Уткин А. С. Способы обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов // Оригинальные исследования. 2022. № 3. С. 26–29.
12. Мухин И. Е., Хмелевская А. В. Универсальный радиолокационный комплекс для обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и замаскированных объектов, включая подповерхностные неглубоко залегающие // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения. 2023. С. 23–30.

## References

1. Bujanov M.S., Fiskevich A.S., Fedorchenko A.A., Garanin S.A. The history of the creation and development of unmanned aerial vehicles. *Spetsialnaja tehnika i tehnologii transporta = Special equipment and transport technologies*. 2022:13–25. (In Russ.)
2. Gorozhanin S., Muratov M. Fizeler «Rejhenberg». *Krylja Rodiny = Wings of the Motherland*. 1994:47. (In Russ.)
3. Freze V.R. *Opyt primeneniya kompleksov s bespilotnymi letatelnyimi apparatami v vooruzhennyh konfliktah = The experience of using complexes with unmanned aerial vehicles in armed conflicts*. 2018:106–112. (In Russ.)
4. *Klassifikatsija BPLA po letnym harakteristikam = Classification of UAVs by flight characteristics*. (In Russ.). Available at: <https://docs.geoscan.ru/pioneer/database/const-module/classification/classification.html>
5. Gordeev V.I., Tebajkin D.S., Shulgin A.N. Classification of detection methods for unmanned aerial vehicles. *XXVI Tupolevskie chtenija (shkola molodyh uchenyh) = XXVI Tupolev Readings (school of young scientists)*. 2023:3516–3523. (In Russ.)
6. Patent RF 2749651. Acoustic method for detecting unmanned aerial vehicles. Derkachev P.Ju., Kosogor A.A., Tihov Ju.I.; appl. 27.08.2020; publ. 16.06.2021. (In Russ.)
7. Morozov A.N., Nazolin A.L., Fufurin I.L. Optical and spectral methods in the tasks of detection and recognition of mobile flying objects. *Radiostroenie = Radio engineering*. 2020;(2):39–50. (In Russ.)
8. Patent RF 2758881. Thermal imaging method for detecting an unmanned aerial vehicle of the "multicopter" type. Markov P.N., Reznikov A.V., Pasynkov A.N., Ermakov S.V.; appl. 30.12.2020; publ. 02.11.2021. (In Russ.)
9. Gracheva K.V. Radar methods in the detection and tracking of UAVs. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie = Innovation. Science. Education*. 2021;(27):1143–1147. (In Russ.)
10. Patent RF 2534217. Radar method for detecting inconspicuous unmanned aerial vehicles. Zajtsev A.V., Amozov E.V., Mitrofanov D.G.; appl. 28.08.2013; publ. 27.11.2014. (In Russ.)
11. Utkin A.S. Methods of detecting small-sized unmanned aerial vehicles. *Originalnye issledovaniya*. 2022;(3):26–29. (In Russ.)
12. Muhin I.E., Hmelevskaja A.V. A universal radar system for detecting small-sized unmanned aerial vehicles and camouflaged objects, including shallow-lying subsurface. *Infokommunikatsii i kosmicheskie tehnologii: sostojanie, problemy i puti reshenija = Infocommunications and space technologies: status, problems and solutions*. 2023:23–30. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 28.04.2025

Принята к публикации / Accepted 14.05.2025