

УДК 623.624.9

## **Система критериев для оценки эффективности способов противодействия беспилотным летательным аппаратам**

**Подстригаев А.С.<sup>1\*</sup>, Слободян М.Г.<sup>2\*\*</sup>, Можяева Е.И.<sup>3\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет*

*«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова, ул. Профессора Попова, 5,*

*Санкт-Петербург, 197376, Россия*

<sup>2</sup>*Брянский государственный технический университет (БГТУ), бульвар 50-лет*

*Октября, 7, Брянск, 241035, Россия*

<sup>3</sup>*Научно-исследовательский институт «Вектор», ул. Академика Павлова, 14а,*

*Санкт-Петербург, 197376, Россия*

*\*e-mail: ap0d@ya.ru*

*\*\*e-mail: slobmaria@yandex.ru*

*\*\*\*e-mail: mozhaeva1702@gmail.com*

***Статья поступила 23.04.2019***

### **Аннотация**

В настоящей статье представлена система критериев, позволяющая дать количественную оценку эффективности технических способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Предложенные критерии учитывают различные характеристики обнаружения и противодействия способов, фоноцелевую обстановку, последствия применения, экономические показатели и т.д. Оценка эффективности предлагается проводить с использованием весовых и оценочных коэффициентов критериев. Сделаны выводы о возможности применения разработанной системы для оценки и прогноза эффективности существующих и

перспективных способов соответственно. Также дана рекомендация по проведению дальнейшего сравнения.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, борьба с беспилотными летательными аппаратами, противодействие беспилотным летательным аппаратам, оценка эффективности противодействия беспилотным летательным аппаратам.

В связи с возросшей частотой противоправного применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [1 – 6] развиваются различные подходы к противодействию. Известно множество технических способов противодействия БЛА, таких как физический захват (например, сетью); лазерное поражение; подавление (а при высокой мощности – поражение) средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ); обнаружение с последующей передачей координат БЛА и его оператора правоохранительным службам и пр. [7 – 11]. При этом очевидны принципиальные различия в физической реализации способов, тактике их применения и результирующем эффекте, зависящем к тому же от условий противодействия. В связи с этим сравнение эффективности способов напрямую затруднено.

В работах [12 – 17] представлены различные подходы к сравнению эффективности способов противодействия БЛА. Общим недостатком этих подходов является неполнота оценки, а, кроме того, во многих случаях отсутствуют количественные показатели. Так, алгоритм оценки эффективности комплексных мер

противодействия [12] учитывает только ряд тактических и технических характеристик БЛА, без учета внешних воздействующих факторов и фоноцелевой обстановки. Сравнительный анализ способов противодействия БЛА в работе [13] основан на качественной, но не количественной оценке. В работах [14 – 16] выполнен только аналитический обзор особенностей способов без их сравнения между собой.

Поскольку для сравнения эффективности способов противодействия БЛА, очевидно, требуется их количественная оценка, в настоящей работе предложена система критериев для выполнения такой оценки.

Каждый критерий оценивается по 10-балльной шкале. Для повышения достоверности оценки значения критериев, при необходимости, нормируются к максимальному из рассматриваемых. Таким образом, оценочный коэффициент критерия определяется по формуле:

$$R_i = 10Z_i / Z_{i \max}, \quad (1)$$

где  $i = \overline{1, m}$  – порядковый номер критерия ( $m$  – количество критериев),  $Z_i$  – численное значение оцениваемого критерия для рассматриваемого способа противодействия,  $Z_{i \max}$  – наибольшее значение оцениваемого критерия среди всех рассматриваемых способов противодействия.

Кроме того, критерии могут иметь свои подкритерии, а те, в свою очередь, свои и т.д. Для учета важности вклада в общую оценку эффективности всем подкритериям в зависимости от требований к способам назначаются весовые коэффициенты.

Таким образом, выражение, определяющее количественную оценку эффективности способа противодействия БЛА, можно записать в следующем виде:

$$W = \sum W_i R_i, \quad (2)$$

где  $W_i$ ,  $R_i$  – весовой и оценочный коэффициенты  $i$ -го критерия.

При этом для каждого оценочного коэффициента при наличии подкритериев можно записать аналогичное выражение:

$$R_i = \sum W_{ij} R_{ij}, \quad (3)$$

где  $j = \overline{1, n}$  – порядковый номер подкритерия  $i$ -го критерия ( $n$  – количество подкритериев  $i$ -го критерия).

Для подкритериев следующего уровня – соответственно,

$$R_{ij} = \sum W_{ijk} R_{ijk}, \quad (4)$$

где  $k = \overline{1, p}$  – порядковый номер подкритерия второго уровня вложенности ( $p$  – количество подкритериев  $j$ -го подкритерия). И далее – по аналогии.

Разработанные критерии оценки эффективности способов противодействия БЛА приведены в таблице 1. Под указанными максимальными и минимальными значениями характеристик предполагаются их максимальные и минимальные нормированные значения.

Таблица 1

## Критерии оценки эффективности способов противодействия БЛА

Критерии оценки	
Подкритерии оценки	Шкала оценки
1. Характеристики противодействия:	
.Эффективная дальность действия. .Время реакции.	1.1: 0 – дальность до 100 м; 10 – максимальная дальность. 1.2: 0 – максимальное значение; 10 – минимальное значение.
Электромагнитная совместимость (ЭМС) (нарушение штатной работы радиоэлектронных средств (РЭС))	
–	0 – нарушение штатной работы большого количества РЭС на большой дальности; 5 – нарушение штатной работы нескольких РЭС на дальности до 100 м; 10 – штатное функционирование РЭС не нарушается.
3. Возможность непреднамеренного нанесения вреда жизни и здоровью человека	
–	0 – высокая вероятность нанесения вреда; 10 – безопасно.
4. Возможность непреднамеренного повреждения других летательных аппаратов (гражданская авиация) и наземных объектов	

Критерии оценки	
Подкритерии оценки	Шкала оценки
–	0 – высокая вероятность нанесения вреда; 10 – безопасно.
5. Степень автоматизации работы:	
<p>5.1. Необходимое количество операторов для противодействия БЛА в количестве:</p> <p>1.1. 1 шт.</p> <p>1.2. от 2 до 10 шт.</p> <p>1.3. от 11 до 100 шт.</p> <p>5.2. Качество (потенциально достижимое или возможность) распознавания и классификации целей.</p>	<p>5.1:</p> <p>5.1.1:</p> <p>0 – требуется оператор;</p> <p>2 – автоматизация работы в одном из режимов;</p> <p>4 – автоматизация в режиме сопровождения и нейтрализации;</p> <p>6 – автоматизация в режиме обнаружения и сопровождения;</p> <p>8 – автоматизация во всех режимах под контролем оператора;</p> <p>10 – автоматическая работа.</p> <p>5.1.2, 5.1.3:</p> <p>0 – количество операторов равно количеству целевых БЛА;</p> <p>2 – автоматизация работы в одном из режимов, количество целевых БЛА более чем в 2 раза превышает количество операторов;</p> <p>4 – автоматизация в режиме сопровождения и нейтрализации, количество целевых БЛА более чем в 2 раза превышает количество</p>

Критерии оценки	
Подкритерии оценки	Шкала оценки
	<p>операторов;</p> <p>6 – автоматизация в режиме обнаружения и сопровождения, количество целевых БЛА более чем в 2 раза превышает количество операторов;</p> <p>8 – автоматизация отсутствует требуется один оператор;</p> <p>9 – автоматизация во всех режимах под контролем оператора</p> <p>10 – автоматическая работа.</p> <p>5.2:</p> <p>0 – цели распознает только оператор в зоне прямой видимости;</p> <p>2 – цели распознает оператор, обнаружение выполняется до вхождения цели в зону прямой видимости;</p> <p>4 – частичная автоматизация распознавания на средней (нормированной) дальности и классификации (в том числе при постобработке);</p> <p>6 – частичная автоматизация распознавания на большой (нормированной) дальности и классификации (в том числе при</p>

Критерии оценки	
Подкритерии оценки	Шкала оценки
	постобработке); 8 – глубокая автоматизация распознавания на большой дальности и классификации (в том числе при постобработке); 10 – автоматическое распознавание и классификация (в т.ч. потенциально достижимое).
6. Универсальность использования:	
6.1. Диапазон внешних воздействующих факторов, при которых обеспечивается устойчивая работа: 1.1. Ветер 1.2. Температура 1.3. Влажность 1.4. Сложная фоноцелевая обстановка 6.2. Возможность использования для противодействия беспилотным аппаратам другого вида базирования (наземного, морского).	6.1: 6.1.1 – 6.1.3: 0 – минимальное значение; 10 – максимальное значение. 6.1.4: 0 – отсутствие селекции на сложном фоне; 5 – способность различать мини БЛА [18, 19] на сложном фоне; 10 – способность различать микро БЛА [18, 19] на сложном фоне. 6.2: 0 – невозможно; 5 – со средней по технической сложности и стоимости доработкой; 10 – возможно без доработки.
7. Характеристики обнаружения:	
7.1. Дальность обнаружения.	7.1 – 7.3:



Критерии оценки	
Подкритерии оценки	Шкала оценки
7.2. Угол обзора по азимуту. 7.3. Обзор по углу места. 7.4. Длительность перехода из одного крайнего углового положения в другое.	0 – минимальное значение; 10 – максимальное значение. 7.4: 0 – максимальное значение; 10 – минимальное значение.
8. Качество распознавания целевых БЛА:	
8.1. Селекция на фоне птиц. 8.2. Минимальные габаритные размеры (эффективная площадь рассеивания – ЭПР) БЛА, который может быть распознан в автоматическом / автоматизированном режиме. 8.3. Распознавание типа БЛА (микро, мини, сверхлегкий, легкий, средний и т.д.) 8.4. Другие распознаваемые критерии	8.1: 0 – отсутствие возможности распознавания; 10 – распознавание целевого БЛА с минимальной ЭПР на максимальной дальности (нормированной к максимально достижимой для рассматриваемых способов) на фоне. 8.2: 0 – отсутствие возможности распознавания; 10 – распознавание всех типов, начиная с наименьшего (для рассматриваемых способов).
9. Снижение эффективности выполнения целевой задачи БЛА при самозащите от средств противодействия с помощью следующих способов:	
9.1. Выполнения маневров. 9.2. РЭП. 9.3. Посадка БЛА в месте потери канала управления. 9.4. Возврат БЛА на исходную	0 – гарантированное выполнение целевой задачи; 10 – способ самозащиты неэффективен.

Критерии оценки	
Подкритерии оценки	Шкала оценки
<p>позицию.</p> <p>9.5. Продолжение движения БЛА по сигналам глобальной навигационной спутниковой системы.</p> <p>9.6. Продолжение движения БЛА по инерциальным датчикам/карте местности.</p>	
10. Объем аппаратуры для противодействия БЛА в количестве:	
<p>10.1. до 3 шт.</p> <p>10.2. от 4 до 10 шт.</p> <p>10.3. от 11 до 100 шт.</p>	<p>10.1:</p> <p>0 – объем аппаратуры пропорционален количеству целевых БЛА;</p> <p>10 – требуется одно изделие.</p> <p>10.2, 10.3:</p> <p>0 – объем аппаратуры пропорционален количеству целевых БЛА;</p> <p>5 – количество изделий равно или меньше половины целевых БЛА;</p> <p>10 – требуется одно изделие.</p>
11. Затраты на содержание и обслуживание	
–	<p>0 – требуются техническое обслуживание, охрана, очистка, энергетические и прочие затраты на содержание;</p> <p>4 – требуются энергетическое обеспечение и один из видов затрат;</p>

Критерии оценки	
Подкритерии оценки	Шкала оценки
	6 – требуются только энергетические затраты; 10 – затраты или обслуживание не требуются.

По результатам оценки эффективности способов противодействия БЛА целесообразно дальнейшее сравнение способов по критерию «эффективность-стоимость».

Разработанная система критериев представляет собой гибкий инструмент, который позволяет:

- количественно оценивать различные реализации существующих способов противодействия БЛА;
- основываясь на количественной оценке, выполнять сравнение между собой различных реализаций одного или нескольких способов противодействия БЛА;
- выявлять наиболее эффективные способы противодействия для конкретных условий применения;
- прогнозировать эффективность перспективных способов противодействия.

Основное преимущество представленной системы критериев относительно прочих подходов к сравнению [12 – 17] состоит в том, что с ее помощью можно получить количественную оценку способов противодействия БЛА. Количественную оценку эффективности противодействия БЛА также можно получить с помощью способа, изложенного в работе [20], однако, он разработан только для сравнения

средств РЭБ. Все вышеперечисленные возможности разработанной системы достигнуты благодаря тому, что в критериях учтены не только характеристики противодействия, как в работе [12], но и условия фоноцелевой обстановки, которые в немалой степени влияют на эффективность того или иного способа.

### Библиографический список

1. Подстригаев А.С., Сидорцов И.А. Обзор способов противоправного применения коммерческих беспилотных летательных аппаратов // XXXV Международная научно-практическая конференция «Молодой исследователь: вызовы и перспективы»: сборник трудов (Москва, 12-22 июня 2017). –М.: Интернаука, 2017. Т. 10(35). С. 367 – 374.
2. Смирнов А.В. Противодействие беспилотным летательным аппаратам в уголовно-исправительной системе // Материалы Международной научной конференции адъюнктов, аспирантов, курсантов и студентов «Проблемы и перспективы развития уголовно-исполнительной системы России на современном этапе» (Самара, 25 апреля 2017). – Самара: Самарский юридический институт ФСИИ России. С. 144 - 147.
3. Ryan J. Wallace, Jon M. Loffi. Examining Unmanned Aerial System Threats & Defenses: A Conceptual Analysis // International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 2015, vol. 2, issue 4. DOI: 10.15394/ijaaa.2015.1084.

4. Быков А.И. Риски, вызванные массовым использованием беспилотных летательных аппаратов, для уголовно-исполнительной системы // Вестник института: преступление, наказание, исправление. 2018. № 2 (42). С. 66 - 70.
5. Ананенков А.Е., Марин Д.В., Нуждин В.М., Расторгуев В.В., Соколов П.В. К вопросу о наблюдении малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2016. № 91. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=75662>
6. Лосева С.Н. Противодействие использованию беспилотных летательных аппаратов над территориями учреждений ФСИН России // Сборник материалов выставки средств обеспечения безопасности государства «Интерполитех – 2017». – М.: Изд-во Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации им. В.Я. Кикотя, 2017, С. 108 - 109.
7. Слободян М.Г., Можаяева Е.И., Подстригаев А.С. Способы и средства противодействия беспилотным летательным аппаратам // Современные проблемы радиоэлектроники: сборник научных трудов. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. С 46 - 50.
8. Семенец В.О., Трухин М.П. Способы противодействия беспилотным летательным аппаратам // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 3. С. 4 - 12.
9. Теодорович Н.Н., Строганова С.М., Абрамов П.С. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Интернет-журнал «Наукоедение». 2017. Т. 9. № 1. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN117.pdf>

10. Cang Liang, Ning Cao, Xiaokai Lu, Youjie Ye. UAV Detection Using Continuous Wave Radar // 2018 IEEE International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP), 28-30 Sept. 2018, Singapore. DOI:[10.1109/ICICSP.2018.8549736](https://doi.org/10.1109/ICICSP.2018.8549736)
11. Sineglazov V.M. Complex structure of UAVs detection and identification // Electronics and Control Systems, 2015, no. 3 (45), С. 28 - 32.
12. Igor Korobiichuk, Yuriy Danik, Oleksyj Samchyshyn The estimation algorithm of operative capabilities of complex countermeasures to resist UAVs // Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 7 August 2018, vol. 95, pp. 569 – 573. DOI: 10.1177/0037549718791264.
13. Ергунов В.О., Ильин В.О., Некрасов М.И., Сосунов В.Г. Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 1-2 (115-116). С. 51 - 58.
14. Todd Humphreys. Statement on the security threat posed by unmanned aerial systems and possible countermeasures, Radionavigation Laboratory, The University of Texas at Austin, 2015, URL: <https://radionavlab.ae.utexas.edu/images/stories/files/papers/statement-humphreys-20150318.pdf>
15. Теодорович Н.Н., Строганова С.М., Абрамов П.С. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Интернет-

журнал «Науковедение». 2017. Т. 9. № 1. URL:  
<http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN117.pdf>

16. Dinesh Sathyamoorthy. A review of security threats of unmanned aerial vehicles and mitigation steps // ResearchGate, 2015, available at:  
[https://www.researchgate.net/publication/282443666\\_A\\_Review\\_of\\_Security\\_Threats\\_of\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicles\\_and\\_Mitigation\\_Steps](https://www.researchgate.net/publication/282443666_A_Review_of_Security_Threats_of_Unmanned_Aerial_Vehicles_and_Mitigation_Steps)

17. Кузнецов В.Е., Волков Ю.А. Анализ методов противодействия малоразмерным беспилотным летательным аппаратам // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 12. С. 81 - 87.

18. Корченко А.Г., Ильяш О.С. Обобщенная классификация беспилотных летательных аппаратов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2012. № 4(33). С. 27 - 36.

19. Каримов А.Х. Цели и задачи, решаемые беспилотными авиационными комплексами нового поколения // Труды МАИ. 2011. № 47. URL:  
<http://trudymai.ru/published.php?ID=26767>

20. Nickolay L. Georgiev, Venstislav I. Pehlivanski, Ognyan G. Todorov. Indicators on the Effectiveness of Radio-Electronic Counteraction against Unmanned Aerial Vehicles // NDT Days, 2018, vol. 1, issue.1, pp. 126 - 131.