

Методика обоснования рациональных способов управления беспилотным летательным аппаратом

Дмитриев В.И.¹, Звонарев В.В.^{2*}, Лисицын Ю.Е.^{2}**

¹*Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Тихорецкий проспект, 3, Санкт-Петербург, 194064, Россия*

²*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198, Россия*

**e-mail: zvonaarevvitalii@yandex.ru*

***e-mail: fqxu@yandex.ru*

Статья поступила 29.04.2020

Аннотация

В статье разработана методика обоснования рациональных способов управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). В состав данной методике входит методика формирования способов управления БПЛА и методика оценивания эффективности применения БПЛА. Методика формирования способов управления БПЛА, необходимая для формирования геопространственных и энергетических характеристик радиолиний. Методика оценивания эффективности применения БПЛА может применяться для расчета глубины ведения разведки. Основу методике обоснования рациональных способов управления БПЛА составляют расчеты с применением многомерной редуцированной вероятностной меры и динамических характеристик случайных процессов.

Ключевые слова: способы управления БПЛА, геопространственные и энергетические характеристики радиолиний, оценка эффективности применения

БПЛА, динамическая характеристика случайных процессов, скрытность управления, устойчивость управления.

Введение

Практика, полученная в ходе локальных войн и вооруженных конфликтов последнего времени, убедительно свидетельствует о непрерывном и существенном изменении характера и содержания боевых действий, проводимых войсковыми группировками. Война может начаться с проведения воздушных наступательных операций на одном или нескольких направлениях. После завершения оперативного развертывания группировок сухопутных войск противника предполагается переход к наземной фазе наступательной операции.

Расширение круга и возрастание сложности задач, решаемых военными структурами РФ, вызывает необходимость непрерывного совершенствования не только методик, позволяющих повысить качество выполняемых задач в ходе ведения боевых действий, но и образцов вооружения, эффективное применение которых позволяет дать своевременную и достаточную информацию об обстановке в определенном районе и быстро реагировать на ее изменение, выдавать координаты противника, подтверждать факт поражения цели [1, 2].

Именно с этим связаны высокие темпы развития беспилотных авиационных систем. Современные БПЛА военного назначения используются в качестве одного из важных средств повышения боевых возможностей формирований ВС. Применение БПЛА необходимо для выполнения задач связанных с продолжительным ведением разведки, повышенной опасностью и сложностью, для обнаружения противника и

вскрытия его боевых порядков, для выдачи разведывательной информации на пункт управления [3-8].

Глубина разведки является целевым показателем эффективности применения БПЛА и характеризуется максимальным удалением БПЛА от наземного пункта управления (НПУ).

Увеличение глубины разведки может осуществляться до тех пор, пока значения показателей эффективности управления – скрытности и устойчивости, соответствуют требуемым.

Значения этих показателей зависят от способа управления БПЛА.

В статье под способом управления БПЛА понимается сочетание параметров:

- мест расположения НПУ, наземных пунктов приема (НПП);
- траектории полета БПЛА;
- режимы радиолинии НПУ-БПЛА и БПЛА-НПУ.

Для повышения эффективности применения БПЛА требуется обоснованно выбирать способ управления БПЛА. Для этого разработана методика обоснования рациональных способов управления БПЛА.

Постановка задачи

В качестве исходных данных используются [9]:

а) параметры БПЛА:

- глубина ведения разведки БПЛА составила до 60 км с дискретностью 200 м;
- при формировании профиля трассы высота подъема антенны НПУ (НПП)

варьируется в пределах диапазона от 10 до 30 м;

– при формировании профиля трассы высота полета БПЛА варьируется в пределах диапазона от 100 до 500 м;

б) параметры средства радиотехнической разведки (РТР) противника;

в) характеристики местности:

– по характеру рельефа – равнинная (незначительные колебания высот до 200 м и небольшие уклоны до 3°);

– по природным условиям – лесная (до 50 – 60% поверхности покрыто лесной растительностью (лиственной, хвойной, смешанной));

– по условиям наблюдения – полузакрытая (условия прямой видимости с оптимальных дальностей и высот поднятия антенн имеют место только 60-80 % поверхности);

– по проходимости – проходимая (до 60 % местности проходимо для автомобильной транспорта);

– по плотности дорожной сети – средняя (до 50 км улучшенных грунтовых дорог и дорог с покрытием на 100 км²);

– при формировании профиля трассы учитывались местные предметы слоев «Растительность» и «Застройка», имеющие семантическую характеристику «Высота относительная».

Требуется построить множество способов управления БПЛА при ограничениях:

– геометрических – на область размещения НПУ (НПП);

– функциональных – на высоту полета, мощность передатчика и разрешение съемки на местности.

Вариант оценивается по показателям способов управления БПЛА: глубине разведки (при ограничении на качество съемки), устойчивости и скрытности.

Требуется найти рациональный способ управления БПЛА, при котором глубина разведки достигает максимального значения. При этом устойчивость и скрытность должны соответствовать заданным значениям.

Методика формирования способов управления БПЛА

Для решения поставленной задачи разработана методика обоснования рациональных способов управления БПЛА. Ее структура представлена на рисунке 1.

В ее состав входят:

- методика формирования способов управления БПЛА;
- методика оценивания эффективности применения БПЛА.

Методика формирования способов управления БПЛА предназначена:

- для формирования геопространственных и энергетических характеристик радиолиний БПЛА-НПУ и БПЛА-НПП;
- для формирования очередного способа управления БПЛА.

Формирование геопространственных и энергетических характеристик радиолиний выполняется в следующей последовательности [10, 11]:

1) множество элементов местности разбивается на подмножества:

- для размещения элементов НПУ БПЛА;
- ведения разведки;

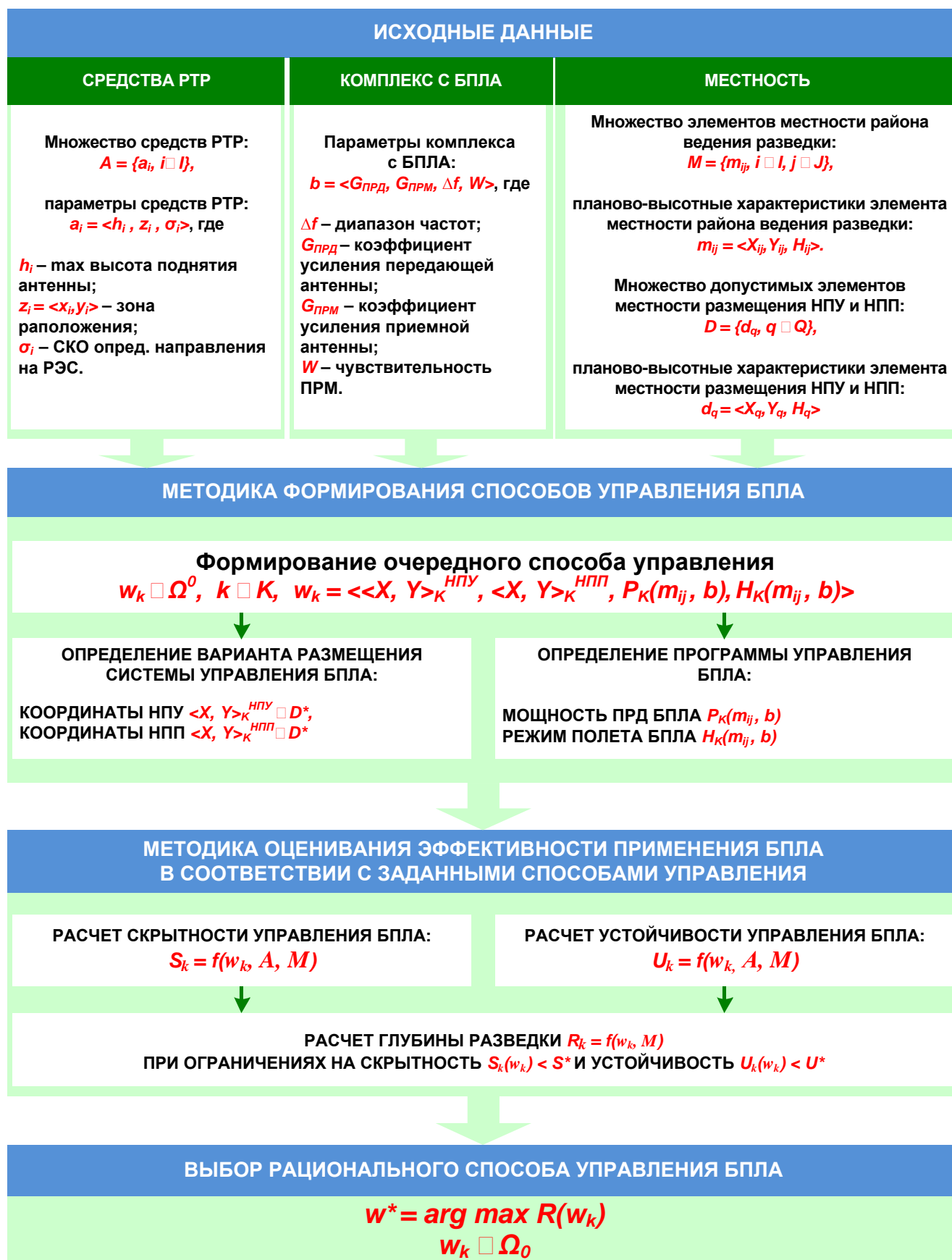


Рис. 1. Структура методики обоснования рациональных способов управления БПЛА при ведении разведки

2) определяется максимальная высота полета БПЛА, при которой сохраняется допустимое разрешение на местности;

3) для каждого элемента местности размещения НПУ (НПП) и ведения разведки определяются планово-высотные характеристики;

4) для каждого элемента местности размещения НПУ (НПП) и ведения разведки строятся профили радиотрассы для заданной максимальной высоты полета БПЛА и заданной высоты подъема антенн НПУ (НПП) [12];

5) определяется множитель ослабления на трассе;

6) определяется минимальная мощность передачи БПЛА, при которой сохраняется требуемое качество приема на НПУ (НПП) [13, 14];

7) формируется очередной способ управления БПЛА, который определяется способом приема и режимом полета БПЛА.

Способ приема определяется координатами и количеством НПУ (НПП):

– однопунктный прием используется при наличии одного НПУ;

– двухпунктный прием используется, когда есть НПУ и один НПП (пункты территориально разнесены);

– трехпунктный прием используется при наличии НПУ и двух НПП (пункты территориально разнесены).

Режим полета БПЛА определяется его высотой.

Методика оценивания эффективности применения БПЛА

Полученный способ управления, характеристики местности и средства РТР являются исходными данными методики оценивания эффективности применения БПЛА, структура которой представлена на рисунке 2.

Данная методика включает в себя:

а) расчет мощности сигнала НПУ (НПП) при разнесенном и сосредоточенном приеме [15]:

– расчет мощности помехи [16]:

$$P^{\Pi} = f(A, M),$$

где A – множество средств РТР;

M – множество элементов местности района ведения разведки;

– расчет мощности шума:

$$P^{\text{Ш}} = f(w_k, M),$$

где w_k – очередной способ управления БПЛА;

– коэффициента запаса [17]:

$$K^3 = f(w_k, A, M);$$

– расчет мощности сигнала НПУ (НПП) при одноpunktном и двухpunktном приеме:

$$P^{\text{ППМ}} = f(K^3);$$

б) расчет отношения сигнал/шум + помеха в приемном устройстве НПУ (НПП):

$$h^2 = f(P^{\text{ППМ}}, P^{\Pi}, P^{\text{Ш}});$$

в) расчет показателей эффективности управления БПЛА:

– расчет времени обработки сигнала:

$$T = f(w_k);$$

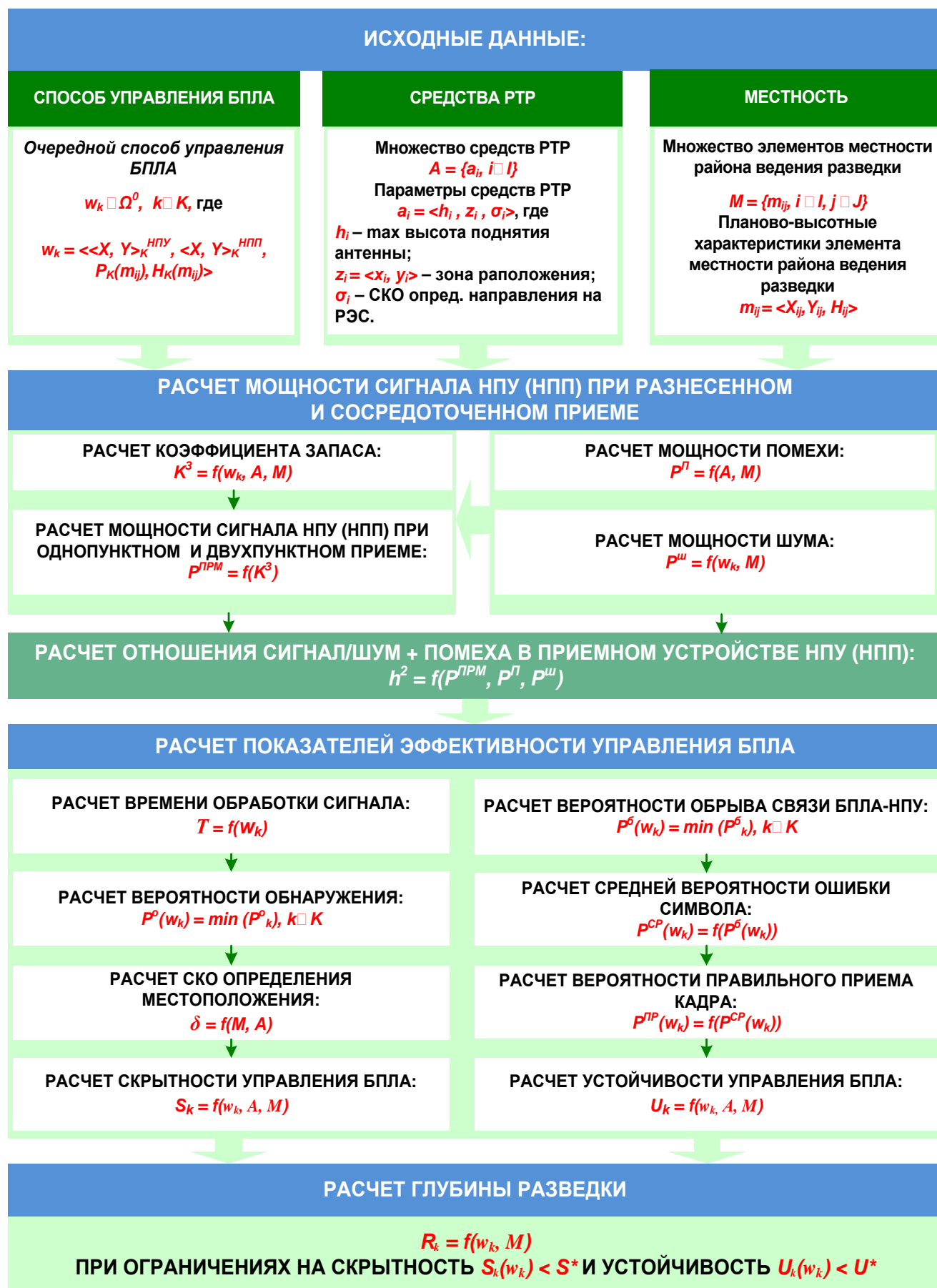


Рис. 2. Структура методики оценивания эффективности применения БПЛА

– расчет вероятности обнаружения:

$$P^0(w_k) = \min(P_k^0), k \in K,$$

где K – количество способов управления БПЛА;

– расчет среднеквадратической ошибки определения местоположения:

$$\delta = f(M, A);$$

– расчет скрытности управления БПЛА:

$$S_k = f(w_k, A, M);$$

– расчет вероятности обрыва связи БПЛА-НПУ:

$$P^6(w_k) = \min(P_k^6), k \in K;$$

– расчет средней вероятности ошибки символа [18]:

$$P^{CP}(w_k) = f(P^6(w_k));$$

– расчет вероятности правильного приема кадра [18]:

$$P^{PP}(w_k) = f(P^{CP}(w_k));$$

– расчет устойчивости управления БПЛА [19]:

$$U_k = f(w_k, A, M).$$

г) расчет глубины разведки при ограничениях на скрытность и устойчивость [20]:

$$R_k = f(w_k, M).$$

Представленные расчеты основаны на определении требуемого (минимального) значения коэффициента запаса при воздействии помех.

Рекомендации по совершенствованию способа управления БПЛА

Результаты оценивания эффективности применения БПЛА представлены на рисунках 3 и 4.

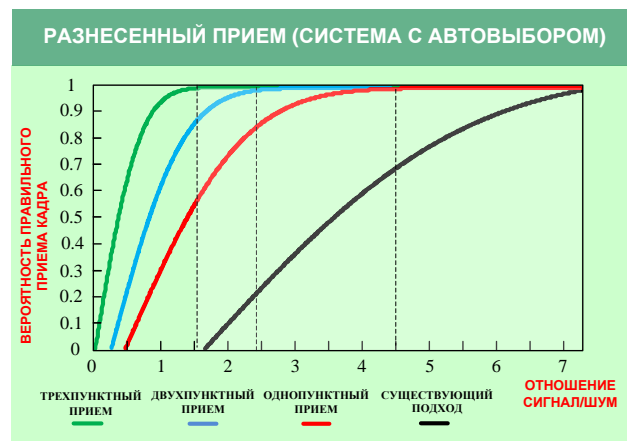
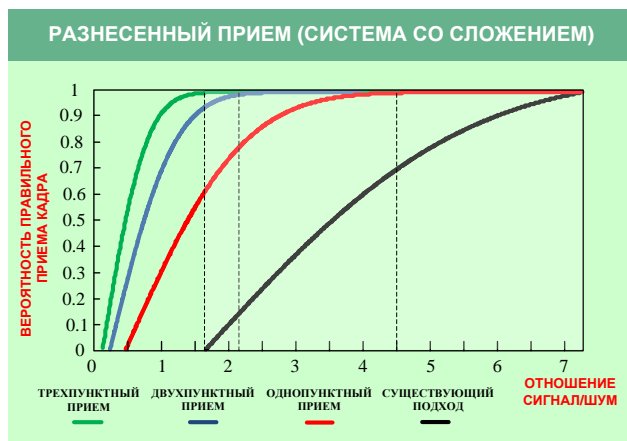


Рис. 3. Зависимость вероятности правильного приема кадра от отношения сигнал/шум для системы со сложением

Рис. 4. Зависимость вероятности правильного приема кадра от отношения сигнал/шум для системы с автовыбором

На графиках представлены зависимости вероятности правильного приема кадра от отношения сигнал/шум для:

- существующего подхода;
- предлагаемого подхода: однопунктный, двухпунктный и трехпунктный способы управления.

Из графиков видно, что применение разработанной методики позволяет достичь требуемой вероятности правильного приема кадра при меньшем отношении сигнал/шум, чем при существующем подходе.

Рекомендации по выбору способа управления БПЛА представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендации по выбору способа управления БПЛА

Способ управления			Глубина разведки, км	Мощность излучения, Вт	Скрытность БПЛА (Вероятность обнаружения БПЛА)	Устойчивость управления БПЛА (Вероятность обрыва связи)
Наименование способа	Число НПУ	Число НПП				
Однопунктный	1	0	10	0,204	0,17	0,035
			20	0,206	0,19	0,071
			30	0,218	0,31	0,093
			40	0,234	0,35	0,099
Двухпунктный	1	1	30	0,205	0,18	0,067
			40	0,207	0,21	0,084
			50	0,209	0,24	0,091
			60	0,227	0,33	0,098
Трехпунктный	1	2	60	0,206	0,29	0,095
			70	0,211	0,30	0,113

Проведенный анализ полученных результатов показал, что:

- однопунктный способ управления применять при ведении разведки до 20 км;
- двухпунктный способ управления применять при ведении разведки до 50 км;
- трехпунктный способ управления применять при ведении разведки свыше 50 км.

Применение методики обоснования рациональных способов управления БПЛА в условиях воздействия помех при автовыборе и сложении разного числа сигналов с разным числом временных сечений, позволяет уменьшить коэффициент запаса на 20-25% при обеспечении требуемого качества передачи информации.

Таким образом, обоснованный выбор рационального способа управления БПЛА позволяет увеличить глубину разведки на 15-20 км (рисунок 5).

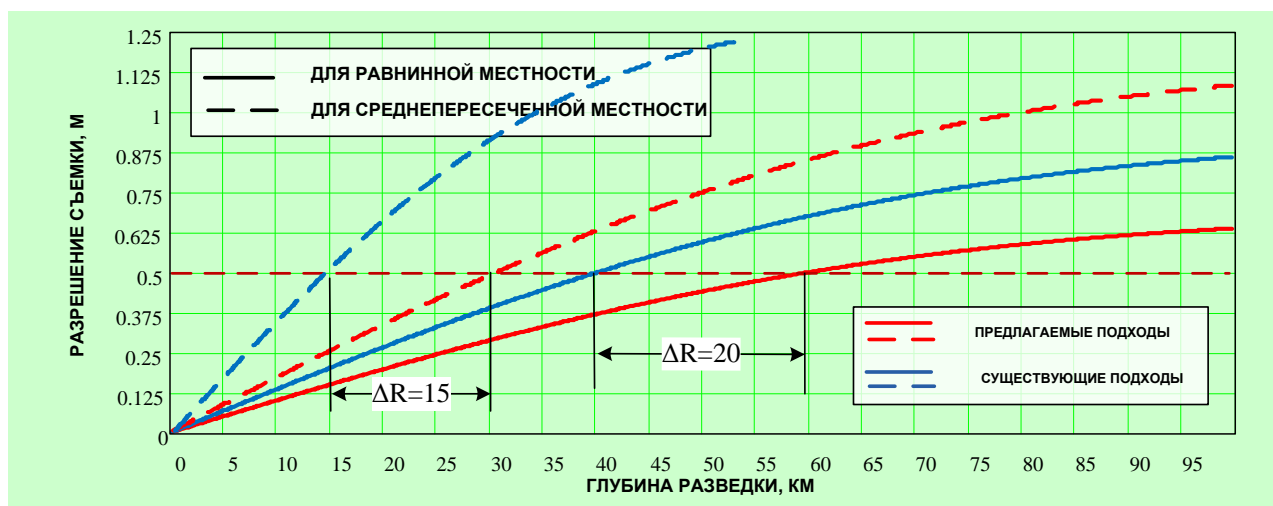


Рис. 5. Зависимость глубины разведки БПЛА от разрешения съемки

Описанные результаты могут быть достигнуты при реализации разработанной методики с учетом разнесенного приема разведывательной информации на НПП и динамических характеристик случайных процессов.

Заключение

1. Методика оценивания эффективности применения БПЛА и методики формирования способов управления ими комплексно позволяют определить координат НПУ (НПП), высоту полета БПЛА, режимы радиолинии, при которых достигается требуемое разрешение съемки в условиях воздействия помех.

2. Методика обоснования рациональных способов управления БПЛА позволяет определить максимальное значение глубины разведки БПЛА при обеспечении заданных значений скрытности и устойчивости управления.

3. Разработанная методика обоснования рациональных способов управления БПЛА ТВР позволяет учесть, в дополнение к известным методикам, динамические

характеристики случайного процесса обнаружения объектов разведки, определить точные параметры радиоканала.

Библиографический список

1. Слюсар В.И. Электроника в борьбе с терроризмом: защита гаваней. Ч. 1. // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. 2009. № 5. С. 68 - 73.
2. Popov A.S., Kraplin M.E. The technique of direct calculation of noise immunity of the optimal coherent reception of multiposition-keyed radio signal, in Proceedings of SPIE, vol. 5066, Lasers for Measurements and Information Transfer 2002, SPIE, Bellingham, WA, 2003, pp. 281 - 291.
3. Настоящее и будущее беспилотной авиации. Ч. 2. // Военное обозрение. 2016. URL: <http://topwar.ru/89909-nastoyaschee-i-budushee-bespilotnoy-aviacii-chast-2.html>
4. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 73 - 132.
5. Морозов Д.В., Чермошенцев С.Ф. Модель локализации отказов в аппаратуре системы управления беспилотного летательного аппарата при гибкого алгоритма функционирования в полете // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=91997>
6. Слюсар В.И. Микроробототехника: передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. 2010. № 3. С. 80 - 86.
7. Абросимов В.К. Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистической среде: монография. – М.: Наука, 2013. – 168 с.

8. Стрелецкий А. Беспилотная авиация сухопутных войск Франции // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 9. С. 24 - 28.

9. Миронов А.Н., Цветков К.Ю., Ковальский А.А., Пальгунов В.Ю. Методика обоснования возможности и условий продления назначенных показателей срока службы антенных систем наземных станций измерительного комплекса космодрома // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=91968>

10. Чарушников А.В., Колесник А.В. Методический подход к оптимизации прогнозирования радиодоступности беспилотных радиоуправляемых самолетов // Информация и космос. 2010. № 1. С. 94 - 97.

11. Трубецкой А.И., Воронин С.Г. Концептуальные вопросы создания геоинформационной технологии военного назначения // Информация и космос. 2005. № 4. С. 53 - 64.

12. Звонарев В.В., Мороз А.В., Шерстюк А.В. Методика оценивания характеристик диаграммы направленности ультразвукового локатора в режиме синтезирования апертуры антенны // Труды МАИ. 2019. № 106. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=105683>

13. Звонарев В.В., Попова А.С., Худик М.Ю. Методика расчета вероятности ошибки посимвольного приема дискретных сообщений при наличии помех // Труды МАИ. 2019. № 105. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=104213>

14. Звонарев В.В., Попов А.С., Пряхин В.А. Методика расчета коэффициента запаса по мощности для обеспечения заданной вероятности непрерывания передачи информации в канале с замираниями сигнала // Вестник воздушно-космической обороны. 2015. № 4 (8). С. 47 - 51.

15. Попов А.С. Пространственная селекция помех при разнесенном приеме сигнала // Приборостроение. 2017. № 1. С. 39 - 44.
16. Звонарев В.В., Агеев Ф.И., Ворона М.С., Попов А.С. Методика расчета помехоустойчивости системы радиосвязи с учетом динамических характеристик случайных замираний сигнала // Радиотехника. 2018. № 5. С. 92 - 99.
17. Буга Н.Н., Казаков А.А. Статистическая теория связи. – Л.: ВИКИ имени А.Ф. Можайского, 1979. – 342 с.
18. Козлов И.В., Набоков С.А., Смирнов А.С. Программа имитационного моделирования цифровых радиолиний передачи данных // Труды МАИ. 2011. № 45. URL: http://trudymai.ru/published.php?ID=25408&PAGEN_2=2
19. Лихачев В.П., Сидоренко С.В. Помехоустойчивость алгоритма автофокусировки изображений по минимуму энтропии при сложной фоновой обстановке // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=92074>
20. Томаси У. Электронные системы связи. - М.: Техносфера, 2007. - 1360 с.

Justification technique for rational control methods of unmanned flying vehicle

Dmitriev V.I.¹, Zvonarev V.V.^{2*}, Lisicin Yu.E.^{2}**

¹*Military academy of communication of Marshall of the Soviet Union S.M. Budenny,
3, Tikhoretsky Avenue, St. Petersburg, 194064, Russia*

²*Military space academy of A.F.Mozhaysky,
13, Zhdanovskaya str., St. Petersburg, 197198, Russia*

**e-mail: zvonarevvitalii@yandex.ru*

***e-mail: fqxu@yandex.ru*

Abstract

The purpose of the article is efficiency increasing of the unmanned aerial vehicle (UAV) application based on the feasible selection and realization of rational control method.

The article considers the UAV application as the object of research. The subject of research is the UAV control methods.

The relevance of the topic in the modern military-political situation is determined by ensuring the State security in the field of military development, on the assumption of the existing threats. At present, UAV is the most important component of weapons, military equipment, automated reconnaissance and information transfer systems. Its application can significantly increase the efficiency of troops command and control, increase combat capabilities and combat means effectiveness.

The article presents a methodology for the UAV application effectiveness evaluating and a technique for the UAV control methods forming. The dependence of the correct frame reception probability on the signal-to-noise ratio for a system with addition and with auto-

selection is demonstrated. Recommendations on the UAV control method selection are given.

The practical significance of the article consists in the following:

- the developed technique for evaluating the UAV application effectiveness describes more accurately the conditions for receiving messages and allows compare radio channels with various characteristics (type of modulation, type and parameters of the noise-immune code, etc.) at the information receiving point, and perform the performance indicator computing of the UAV control methods;

- in supplement to the known methods, the developed technique for rational UAV control methods substantiating allows accounting for the dynamic characteristics of a random process, determine the exact parameters of the radio channel, and increase the reconnaissance depth (ensuring herewith the required survey resolution of the required probability of the correct frame reception and the given stealth).

It is advisable to use the obtained methodology when planning the use of UAVs with the aim of transmitting information over the radio channel with signal fading.

Keywords: UAV control methods, radio lines' geospatial and energy characteristics, UAV application efficiency evaluation, dynamic response of random processes, stealthiness of control, control stability.

References

1. Slyusar V.I. *Elektronika: Nauka. Tekhnologiya. Biznes*, 2009, no. 5, pp. 68 - 73.

2. Popov A.S., Kraplin M.E. The technique of direct calculation of noise immunity of the optimal coherent reception of multiposition-keyed radio signal, *in Proceedings of SPIE, vol. 5066, Lasers for Measurements and Information Transfer 2002*, SPIE, Bellingham, WA, 2003, pp. 281 – 291, <https://doi.org/10.1117/12.501678>
3. *Voennoe obozrenie*, 2016, available at: <http://topwar.ru/89909-nastoyaschee-i-budushee-bespilotnoy-aviacii-chast-2.html>
4. Makarenko S.I. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, 2016, no. 2, pp. 73 - 132.
5. Morozov D.V., Chermoshentsev S.F. *Trudy MAI*, 2018, no. 99, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=91997>
6. Slyusar V.I. *Elektronika: Nauka. Tekhnologiya. Biznes*, 2010, no. 3, pp. 80 - 86.
7. Abrosimov V.K. *Grupповое dvizhenie intellektual'nykh letatel'nykh apparatov v antagonisticheskoi srede* (Grouped movement of intelligent aircraft in antagonistic environment), Moscow, Nauka, 2013, 168 p.
8. Streletskii A. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2000, no. 9, pp. 24 - 28.
9. Mironov A.N., Tsvetkov K.Yu., Koval'skii A.A., Pal'gunov V.Yu. *Trudy MAI*, 2018, no. 99, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=91968>
10. Charushnikov A.V., Kolesnik A.V. *Informatsiya i kosmos*, 2010, no. 1, pp. 94 - 97.
11. Trubetskoi A.I., Voronin S.G. *Informatsiya i kosmos*, 2005, no. 4, pp. 53 - 64.
12. Zvonarev V.V., Moroz A.V., Sherstyuk A.V. *Trudy MAI*, 2019, no. 106, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=105683>
13. Zvonarev V.V., Popova A.S., Khudik M.Yu. *Trudy MAI*, 2019, no. 105, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=104213>

14. Zvonarev V.V., Popov A.S., Pryakhin V.A. *Vestnik vozdushno-kosmicheskoi oborony*, 2015, no. 4 (8), pp. 47 - 51.
15. Popov A.S. *Priborostroenie*, 2017, no. 1, pp. 39 - 44.
16. Zvonarev V.V., Ageev F.I., Vorona M.S., Popov A.S. *Radiotekhnika*, 2018, no. 5, pp. 92 - 99.
17. Buga N.N., Kazakov A.A. *Statisticheskaya teoriya svyazi* (Statistical theory of communication), Leningrad, VIKI imeni A.F. Mozhaiskogo, 1979, 342 p.
18. Kozlov I.V., Nabokov S.A., Smirnov A.S. *Trudy MAI*, 2011, no. 45, available at: http://trudymai.ru/published.php?ID=25408&PAGEN_2=2
19. Likhachev V.P., Sidorenko S.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 99, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=92074>
20. Tomasi U. *Elektronnye sistemy svyazi* (Electronic communication systems), Moscow, Tekhnosfera, 2007, 1360 p.