

УДК 621.391

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АЭРОМОБИЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Ананьев А.В., Ерзин И.Х., Стафеев М.А.

ФГКВОВУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: sasha303_75@mail.ru

Предложен экспертный метод обоснования рационального выбора беспилотного летательного аппарата (БЛА) для аэромобильной сети связи (АСС). Основным назначением АСС на базе БЛА является предоставление услуг связи экипажам воздушных судов, действующим в оперативной и оперативно-тактической глубине, тактическим подразделениям первых эшелонов, действующих совместно с ударной авиацией. Реализация метода включает формирование группы возможных альтернатив типов БЛА, способных обеспечить требуемый функционал АСС в условиях огневого и функционального поражения и других разрушающих воздействий; формирование группы критериев, применяемых для оценки различных типов БЛА; составление иерархии принятия решения; последовательную реализацию этапов парных сравнений и ранжирования метода анализа иерархии Т. Саати. Разработанный метод обладает гибкостью применения и позволяет проводить обоснование рационального выбора в случае изменения условий применения АСС на базе БЛА и решаемых с ее использованием задач.

Ключевые слова: сеть связи, беспилотный летательный аппарат

JUSTIFICATION OF THE RATIONAL CHOICE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR DESIGN OF THE AEROMOBILE COMMUNICATION NETWORK

Ananayev A.V., Erzin I.Kh., Stafeyev M.A.

Federal State Official Military Educational Institution of Higher Professional Education Military Educational – Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (Voronezh) of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh, e-mail: sasha303_75@mail.ru

The expert method of a substantiation of a rational choice of the unmanned aerial vehicle (UAV) for an aeromobile communication network (ACN) is offered. Basic purpose ACN on the basis of UAV is provision of a telecommunication service to crews of the aircrafts operating in operative and operational and tactical depth, tactical subdivisions of the first echelons operating together with shock aircraft. Method implementation includes formation of group of possible alternatives of types UAV, capable to provide demanded functional ACN in the conditions of fire and functional defeat and other destroying influences; formation of group of the criteria applied to an estimation of various types UAV; compilation of hierarchy of decision-making; serial implementation of stages of conjugate comparing and ranging of a method of the analysis of hierarchy of T. Saaty. The developed method possesses flexibility of application and allows to lead a substantiation of a rational choice in case of change of conditions of application UAV on the basis of UAV and tasks solved with its usage.

Keywords: communication network, unmanned aerial vehicle

Одним из приоритетных направлений развития ВС РФ является создание объединенной автоматизированной цифровой системы связи (ОАЦСС) ВС РФ [15]. В работе [2] в интересах повышения показателей эффективности ОАЦСС ВС РФ предложена аэромобильная сеть связи (АСС) на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА), которую можно рассматривать как составляющую воздушного эшелона (ВЭ) ОАЦСС ВС РФ. Преимущества и задачи АСС на базе БЛА представлены в [3]. Аналоги такой сети также актуальны для решения задач других силовых ведомств. Так, например, в работе [7] рассмотрены варианты построения и возможности применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами, как нового вида специальной техники органов внутренних дел.

Основным назначением АСС на базе БЛА является предоставление услуг связи экипажам воздушных судов, действующим в оперативной и оперативно-тактической глубине, подразделениям первых эшелонов, поддерживаемых ударной авиацией [12].

Одной из частных задач по формированию технического облика АСС на базе БЛА является выбор и обоснование типа БЛА. В известных источниках [10] выбор БЛА рассматривается как многокритериальная задача, при этом выбор БЛА для специфической задачи применения в составе АСС на базе БЛА не рассмотрен. Существуют также работы [1, 5, 8], в которых проводятся эмпирические рассуждения о техническом облике FANET для сетей связи тактических подразделений и БЛА, применяемых в качестве отдельного ретранслятора, без учета объективных критериев.

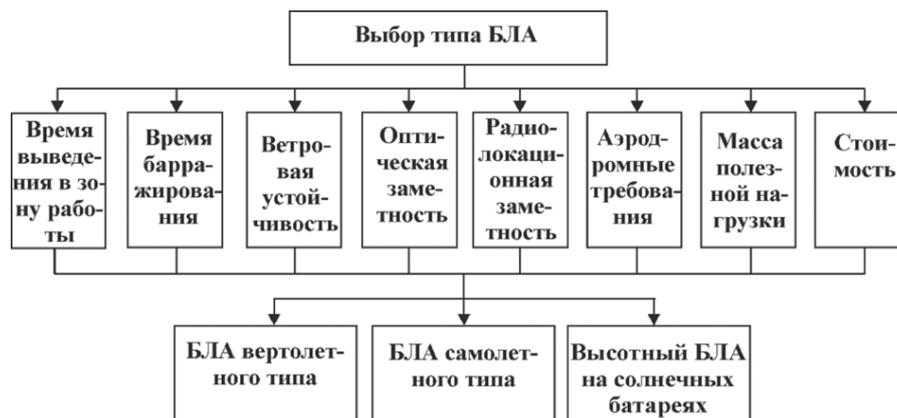


Рис. 1. Схема иерархии принятия решения

Таблица 1

Матрица парных сравнений критериев эффективности

Критерий – Выбор типа БЛА	ВВ	АТ	С	ВБ	ПН	РЗ	ОЗ	ВУ	Вектор приоритетов
Время выведения (ВВ)	1	8	6	3	3	5	5	6	0,3470
Аэродромные требования (АТ)	1/8	1	1/6	1/5	1/5	1/6	1/6	1/6	0,0183
Стоимость (С)	1/6	6	1	1/3	1/5	1/4	1/5	1/4	0,0358
Время барражирования (ВБ)	1/3	5	3	1	2	4	4	4	0,1948
Масса полезной нагрузки (ПН)	1/3	5	5	1/2	1	4	4	4	0,1746
Радиолокационная заметность (РЗ)	1/5	6	4	1/4	1/4	1	1	3	0,0857
Оптическая заметность (ОЗ)	1/5	6	5	1/4	1/4	1	1	3	0,0882
Ветровая устойчивость (ВУ)	1/6	6	4	1/4	1/4	1/3	1/3	1	0,0555

Целью работы является разработка метода рационального выбора беспилотного летательного аппарата для построения аэромобильной сети связи.

На первом этапе решения задачи рационального выбора БЛА для АСС необходимо сформировать группу возможных альтернатив типов БЛА, способных обеспечить требуемый функционал АСС.

Исходя из замысла применения АСС на базе БЛА, заключающегося в обеспечении информационного обмена в условиях огневого и функционального поражения, применяемые БЛА, прежде всего, должны обладать малой стоимостью и высокой живучестью. Живучесть БЛА во многом зависит от оптической и радиолокационной заметности. Стоимость БЛА определяется расходами на эксплуатацию БЛА и непосредственно стоимостью самого БЛА и должна быть существенно меньше применяемых по ним средств поражения.

Среди типов БЛА, удовлетворяющих требованиям по живучести и стоимости, необходимо выбрать БЛА, применение ко-

торых может обеспечить размещение полезной нагрузки (связного оборудования, антенн), что определяется ее массой и размерами, обладать достаточным или, по крайней мере, максимальным временем барражирования в зоне выполнения задачи.

Вышеперечисленным требованиям удовлетворяют БЛА самолетного (БЛА-С) типа, например Орлан-10 [13], вертолетного типа (БЛА-В), например гибридные разработки НЕЛК [11], а также высотные БЛА самолетного типа на солнечных батареях (БЛА-СБВ), например «ЛА-252 «Аист», разработки КБ Лавочкина [6].

Следующим этапом разработки метода рационального выбора является формирование группы критериев, применяемых для оценки различных типов БЛА. Кроме перечисленных выше критериев, в статье предлагается учесть готовность БЛА к применению в составе АСС, что определяется в первую очередь аэродромными требованиями к запуску БЛА и скоростью их полета в зону выполнения задачи. В работе также учтена ветровая устойчивость БЛА, которая

существенно влияет на их живучесть и высоту полета БЛА. С учетом проведенных рассуждений получим иерархию принятия решения, представленную на рис. 1.

В табл. 1 представлены парные сравнения выбранных критериев согласно представленной выше шкале.

В табл. 2–9 представлены результаты парных сравнений по приведенным выше критериям каждой из альтернатив. По критерию время выведения наиболее эффективным можно полагать БЛА-С, прежде всего, по причине наибольшей скорости полета в зону выполнения задач ретрансляции, составляющей порядка 100–170 км/ч, в то время как БЛА-В с гибридным двигателем способны развивать скорость до 80–100 км/ч. БЛА-СБВ работают на больших высотах, поэтому развертывание АСС на их базе самое долговременное. Результаты оценки сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение альтернатив по критерию «время выведения»

ВВ	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	7	8	0,7766
БЛА-В	1/7	1	3	0,1530
БЛА-СБВ	1/8	1/3	1	0,0704

При сравнении предлагаемых альтернатив по критерию «аэродромные требования» БЛА-В и БЛА-С находятся в практически равных условиях, однако применение БЛА-С рассматриваемого радиуса действия требует катапульты, а следовательно, подходящей площадки, что дает слабую значимость превосходства БЛА-В. БЛА-СБВ требуют взлетно-посадочную полосу, поэтому они по данному критерию наименее приоритетны (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение альтернатив по критерию «аэродромные требования»

АТ	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	2	7	0,5736
БЛА-В	1/2	1	7	0,3614
БЛА-СБВ	1/7	1/7	1	0,0650

С точки зрения стоимости рассматриваемые БЛА-С и БЛА-В примерно одинаковы, за некоторым преимуществом БЛА-С. БЛА-

СБВ существенно дороже по отношению к другим БЛА. Результат парных сравнений представлен в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение альтернатив по критерию «стоимость»

С	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	3	7	0,6491
БЛА-В	1/3	1	5	0,2790
БЛА-СБВ	1/7	1/5	1	0,0719

Наибольший приоритет по критерию «время барражирования» имеют БЛА-СБВ, т.к. по заявляемым характеристикам [6] они будут способны барражировать до 100 суток. Современные БЛА-С могут находиться в воздухе примерно в три раза дольше БЛА-В. На основе проведенных рассуждений в табл. 5 представлены результаты парных сравнений.

Таблица 5

Сравнение альтернатив по критерию «время барражирования»

ВВ	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	3	1/8	0,1383
БЛА-В	1/3	1	1/9	0,0639
БЛА-СБВ	8	9	1	0,7978

По критерию «масса полезной нагрузки» наибольшим приоритетом обладают БЛА-СБВ (до 25 кг [6]). Масса полезной нагрузки БЛА-С в несколько раз превосходит массу полезной нагрузки БЛА-В. Результаты парных сравнений по критерию «масса полезной нагрузки» представлены в табл. 6.

Таблица 6

Сравнение альтернатив по критерию «масса полезной нагрузки»

ПН	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	5	2	0,5591
БЛА-В	1/5	1	1/5	0,0887
БЛА-СБВ	1/2	5	1	0,3522

Применение полимерных композиционных материалов из переплетённых нитей углеродного волокна при конструировании БЛА позволяет существенно снизить их радиолокационную заметность. Однако даже

в этом случае играет роль размер БЛА, поэтому БЛА-СБВ являются наиболее заметными, несмотря на их существенно большую высоту полета. БЛА самолетного типа при нахождении в воздухе не могут находиться без поступательного движения, что также позволяет селектировать их по доплеровскому сдвигу частоты. В то же время БЛА-В могут «зависнуть в воздухе» или двигаться со скоростью облаков, т.е. радиолокационный отклик от них может иметь доплеровский сдвиг частоты, стремящийся к нулю. Результаты парных сравнений по критерию «радиолокационная заметность», с учетом проведенного анализа и сделанных выводов, представлены в табл. 7.

Таблица 7
Сравнение альтернатив по критерию «радиолокационная заметность»

РЗ	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	1/4	3	0,2255
БЛА-В	4	1	5	0,6738
БЛА-СБВ	1/3	1/5	1	0,1007

С точки зрения оптической заметности все рассматриваемые БЛА находятся примерно в одинаковых условиях. Относительно большие размеры БЛА-СБВ компенсируются большой высотой полета. БЛА-С и БЛА-В практически одинаково малозаметны в оптическом диапазоне разведки. Результаты парных сравнений, рассматриваемых БЛА по критерию «оптическая заметность» приведены в табл. 8.

Таблица 8
Сравнение альтернатив по критерию «оптическая заметность»

ОЗ	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	1/2	1/3	0,1634
БЛА-В	2	1	1/2	0,2970
БЛА-СБВ	3	2	1	0,5396

Наибольшей устойчивостью к ветровым возмущениям обладают рассматриваемые БЛА-СБВ по причине их наибольшей массы и полете на высоте малых ветровых возмущений [9]. БЛА-В обладают несколько большей устойчивостью по отношению БЛА-С. Результаты парных сравнений рассматриваемых БЛА по критерию «устойчивость к ветровым возмущениям» приведены в табл. 9.

Таблица 9
Сравнение альтернатив по критерию «устойчивость к ветровым возмущениям»

ОЗ	БЛА-С	БЛА-В	БЛА-СБВ	Вектор приоритетов
БЛА-С	1	1/2	1/3	0,1634
БЛА-В	2	1	1/2	0,2970
БЛА-СБВ	3	2	1	0,5396

На рис. 2 представлен результирующий вектор приоритетов [14], показывающий преимущество применения БЛА-С для рассматриваемого варианта применения АСС.

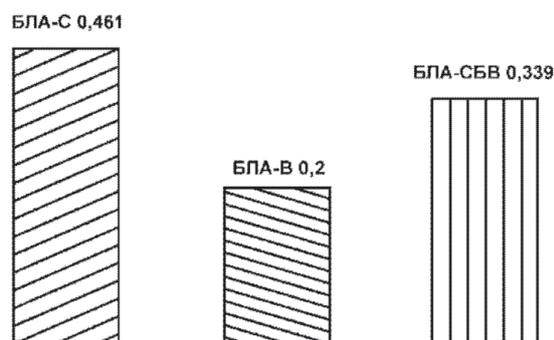


Рис. 2. Результирующий вектор приоритетов

Таким образом, на основе парных сравнений разработан экспертный метод рационального выбора беспилотного летательного аппарата для построения аэромобильной сети связи. С использованием разработанного метода для частного случая применения АСС на базе БЛА обосновано преимущество применения БЛА самолетного типа. Разработанный метод обладает гибкостью применения и позволяет проводить обоснование рационального выбора в случае изменения условий применения АСС на базе БЛА и решаемых с ее использованием задач. Применение разработанного подхода актуально на стадии предпроектной подготовки, например, при ранжировании альтернатив в ходе эволюционного синтеза [4].

Список литературы

1. Аджемов С.С. Оценка возможности создания самоорганизующейся сети тактической связи на базе беспилотных летательных аппаратов [Текст] / С.С. Аджемов, Д.С. Чиров // Телекоммуникации. – 2016. – № 7. – С. 25–31.
2. Ананьев А.В. Многокритериальный выбор маршрута в системах связи на базе беспилотных летательных аппаратов А.В. Ананьев, Б.Ф. Змий, А.Л. Афанасьев, Г.А. Кашенко // Актуальные вопросы исследований в авионике. Сб. науч. ст. по мат. докл. III Всероссийской НПК «Авиатор» (11–12 февраля 2016 г.): в 2-х томах. – 2016. – Т. 2. – С. 15–20.

3. Ананьев А.В. Применение сетей связи на основе БЛА в составе ОАЦСС ВС РФ [Текст] / А.В. Ананьев, И.Х. Ерзин, С.В. Филатов, Г.А. Кашенко // Сб. ст. по мат. докл. V Всерос. НТК «Научные чтения им. Попова». – Воронеж. – ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. – С. 22–28.

4. Ананьев А.В. Модернизация бортовых приемопередающих систем беспилотных летательных аппаратов на основе эволюционного подхода. [Текст] / А.В. Ананьев, Б.Ф. Змиг, Г.А. Кашенко // Радиотехника. – 2016. – № 8. – С. 46–49.

5. Леонов А.В. Сети FANET [Текст] / А.В. Леонов, В.А. Чаплышкин // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 297–301.

6. Летные испытания нового беспилотного летательного аппарата на солнечной батарее «ЛА-252 «Аист» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://путь.рф/news/1514/> (дата обращения: 07.11.2016).

7. Митюшин Д.А. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами полиции. Монография – LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 156 с.

8. Михалев О.А., Галимов А.Ф. Анализ беспилотных авиационных систем в качестве потенциальной платформы для размещения ретранслятора радиосигнала в интересах системы связи МО РФ // Мат. докл. НПК Перспективы развития и применения комплексов с БЛА: мат. докл. НПК. – Коломна, 2016. – С. 180–187.

9. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами. [Текст] / В.С. Моисеев. – Казань, 2013. – 768 с.

10. Нестеров В.А. Многокритериальная оценка военной техники с использованием гибридной функции предпочтений на примере беспилотных летательных аппаратов [Текст] / В.А. Нестеров, В.А. Судаков, Б.В. Обносков // Вооружение и экономика. – 2015. – № 4 (33). – С. 55–66.

11. Октакоптер НЕЛК с водородно-воздушными топливными элементами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://izvestia.ru/news/611043> (дата обращения: 07.11.2016).

12. Организация, вооружение и способы действий передовых авианаводчиков ВС РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.milkavkaz.net/2016/05/sposoby-dejstvij-peredovyh-avianavodchikov-vs-rf.html> (дата обращения: 31.10.2016).

13. Оrlan-10, беспилотный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arms-expo.ru/armament/samples/1865/66018/> (дата обращения: 07.11.2016).

14. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Саати Томас Л. Пер. с англ. – М.: Ленанд, 2015. – 360 с.

15. Связь в вооруженных силах Российской Федерации – 2016: тематический сборник, 11 выпуск, 2016/ Упр. связи ВС РФ. – М.: Информационный мост, 2016. – 215 с.

летательных аппаратов [Текст] / S.S. Adzhemov, D.S. Chirov // Telekom-munikacii. 2016. no. 7. pp. 25–31.

2. Anan'ev A.V. Mnogokriterialnyj vybor marshruta v sistemah svjazi na baze bespilotnyh letatelnyh apparatov A.V. Anan'ev, B.F. Zmij, A.L. Afanasev, G.A. Kashhenko // Aktualnye voprosy issledovanij v avionike. Sb. nauch. st. po mat. dokl. III Vserossijskoj NPK «Aviator» (11–12 fevralja 2016 g.): v 2-h tomah. 2016. T. 2. pp. 15–20.

3. Anan'ev A.V. Primenenie setej svjazi na osnove BLA v sostave OACSS VS RF [Текст] / A.V. Anan'ev, I.H. Erzsin, S.V. Filatov, G.A. Kashhenko // Sb. st. po mat. dokl. V Vseros. NTK «Nauchnye chtenija im. Popova». Voronezh. VUNC VVS «VVA», 2016. pp. 22–28.

4. Anan'ev A.V. Modernizacija bortovyh priemo-peredajushchih sistem bespilotnyh letatelnyh apparatov na osnove jevoljucionnogo podhoda. [Текст] / A.V. Anan'ev, B.F. Zmij, G.A. Kashhenko // Radiotehnika. 2016. no. 8. pp. 46–49.

5. Leonov A.V. Seti FANET [Текст] / A.V. Leonov, V.A. Chaplyshkin // Omskij nauchnyj vestnik. 2015. no. 3 (143). pp. 297–301.

6. Letnye ispytaniya novogo bespilotnogo letatel'nogo aparata na solnechnoj bataree «LA-252 «Aist» [Электронный ресурс]. Rezhim dostupa: <http://put.rf/news/1514/> (дата обращения: 07.11.2016).

7. Mitjushin D.A. Kompleksy s bespilotnymi letatelnyimi apparatami policii. Monogra-fija LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 156 p.

8. Mihalev O.A., Galimov A.F. Analiz bespilotnyh aviacionnyh sistem v kachestve potenci-alnoj platformy dlja razmeshhenija retransljatora radiosignala v interesah sistemy svjazi MO RF // Mat. dokl. NPK Perspektivy razvitija i primenenija kompleksov s BLA: mat. dokl. NPK. Kolonna, 2016. pp. 180–187.

9. Moiseev V.S. Prikladnaja teorija upravljenija bespilotnymi letatelnyimi apparata-mi. [Текст] / V.S. Moiseev. Kazan, 2013. 768 p.

10. Nesterov V.A. Mnogokriterialnaja ocenka voennoj tehniki s ispolzovaniem gibridnoj funkicii predpochtenij na primere bespilotnyh letatelnyh apparatov [Текст] / V.A. Nesterov, V.A. Sudačov, B.V. Obnosov // Vooruzhenie i jekonomika. 2015. no. 4 (33). pp. 55–66.

11. Oktakopter NELK s vodorodno-vozdushnymi toplivnymi jelementami [Электронный ресурс]. Rezhim dostupa: <http://izvestia.ru/news/611043> (дата обращения: 07.11.2016).

12. Organizacija, vooruzhenie i sposoby dejstvij peredovyh avianavodchikov VS RF [Электронный ресурс]. Rezhim dostupa: <http://www.milkavkaz.net/2016/05/sposoby-dejstvij-peredovyh-avianavodchikov-vs-rf.html> (дата обращения: 31.10.2016).

13. Orlan-10, bespilotnyj kompleks [Электронный ресурс]. Rezhim dostupa: <http://www.arms-expo.ru/armament/samples/1865/66018/> (дата обращения: 07.11.2016).

14. Prinjatje reshenij pri zavisimostjah i obratnyh svjazjah: analiticheskie seti / Saati Tomas L. Per. s angl. M.: Lenand, 2015. 360 p.

15. Svjaz v vooruzhennyh silah Rossijskoj Federacii 2016: tematicheskij sbornik, 11 vy-pusk, 2016/ Upr.svjazi VS RF. M.: Informacionnyj most, 2016. 215 p.

References

1. Adzhemov S.S. Ocenka vozmozhnosti sozdanija samorganizujshhejsja seti takticheskoi svjazi na baze bespilotnyh