

ВЛИЯНИЕ АППАРАТУРЫ КАНАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Лящук М. З.¹, Воробьев П. В.², Абрамова Н. И.³

DOI:10.21681/3034-4050-2025-5-67-71

Ключевые слова: канал связи, канал управления, электромагнитная совместимость, беспилотный летательный аппарат, частотная селекция.

Аннотация

Цель работы: анализ факторов, влияющих на электромагнитную совместимость (ЭМС) аппаратуры каналообразования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также разработка рекомендаций по выбору типов радиоаппаратуры и методов селекции сигналов для обеспечения помехоустойчивой связи в сложной помеховой обстановке.

Метод исследования: оценка влияния параметров аппаратуры каналообразования на ЭМС и рассмотрение различных методов селекции радиосигналов (пространственной и частотной).

Результаты исследования: определены основные факторы, влияющие на ЭМС каналов связи БПЛА, составлены предложения по повышению помехоустойчивости в сложной радиоэлектронной обстановке

Научная новизна заключается в комплексном подходе к оценке электромагнитной совместимости аппаратуры каналообразования БПЛА, учитывающем параметры передающих и приемных устройств, необходимые для согласования их на борту РТК.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) популярны во многих областях применения благодаря своей гибкости и относительно низкой цене. БПЛА представляют собой недорогое решение для наблюдения и обнаружения людей после чрезвычайных ситуаций, нуждающимся в спасении, и спасательной командой. Предложенное решение должно обеспечивать визуальное обнаружение с использованием стандартных и тепловизионных камер, позволяя обнаруживать людей в условиях низкой видимости.

Факторы, влияющие на работу каналов связи БПЛА

Помимо внешних факторов на функционирование каналов связи БПЛА будут влиять параметры аппаратуры каналообразования, расположенной на его борту [1]. Взаимодействие аппаратуры каналообразования друг

на друга определено электромагнитной совместимостью каналов навигации, управления и сброса информации.

Основными факторами, определяющими ЭМС аппаратуры каналообразования, являются разнос их антенных устройств и частотный разнос излучаемых и принимаемых каналов связи, который определяется их полосой пропускания, выбором схемных решений и параметрами радиоаппаратуры, размещаемой на БПЛА.

Сложность решаемой задачи, во-первых, определяют габариты БПЛА, в пределах которых могут быть размещены антенные устройства и, во-вторых, использование требуемых диапазонов рабочих частот, которые определяют геометрические размеры антенных устройств аппаратуры каналообразования.

Кроме того, ЭМС аппаратуры каналообразования будут определять выбранные типы используемых в них радиоприемных устройств.

1 Лящук Михаил Зиновьевич, кандидат технических наук, СИС, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: irihsa.l@mail.ru

2 Воробьев Павел Владимирович, научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: pvorobyev98@gmail.com

3 Абрамова Нина Ивановна, научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: HIAbram@yandex.ru

При этом, необходимо будет определить какими методами будет осуществляться селекция каждого типа канала БПЛА: пространственная, только за счет антенных устройств; частотная, при помощи входных фильтров радиоприемных устройств или оба вида селекции радиосигналов вместе [2].

Для первого вида селекции радиосигналов (характерного для сигналов СВЧ) предполагается использование радиоприемных устройств прямого усиления или прямого преобразования частоты, которые позволяют избежать образования каналов побочного и внеполосного приема, образующих до 70 % помех каналам БПЛА.

Частотная селекция сигналов предполагает использование супергетеродинных радиоприемников, позволяющих осуществить селекцию требуемых сигналов по частоте.

Общим фактором, определяющим помехозащиту каналов БПЛА для обоих способов селекции сигналов, является значение динамического диапазона радиоприемных устройств аппаратуры каналаообразования.

Использование одновременной пространственной и частотной селекции следует ожидать в случае нахождения БПЛА в боевых порядках войск первого эшелона, характеризующейся большей насыщенностью радиоэлектронных средств (РЭС) с многократным повторением одних и тех же частот различными абонентами сетей связи.

Пространственная селекция радиосигналов характерна для РЭС, разнесенных друг относительно друга на расстояния десятков километров на площади развертывания боевых порядков войск или при использовании средств связи (каналообразования) типа Wi-Fi или LTE [3]. В этих сетях связи автоматически изменяются: параметры кодирования сообщений (команд), скорости передачи информации или частоты работы каналов по отношению сигнал/помеха в интересах обеспечения требуемого качества связи. Аппаратура сетей связи Wi-Fi и LTE обладает большей канальной емкостью, она функционирует в СВЧ диапазонах радиоволн и требует небольших размеров антенных устройств.

Использование такой техники для работы и управления связью БПЛА возможно при размещении «базовой» станции в специальном БПЛА управления, в частности, расположенном на борту БПЛА. Следовательно,

одновременное управление группой БПЛА в сложной помеховой обстановке требует наличия специального БПЛА по управлению связью между БПЛА группы.

Таким образом, факторы, определяющие выбор типов аппаратуры для формирования радиоканалов управления и передачи данных, будут зависеть не только от предназначения БПЛА и его места в боевых порядках войск, но и принятых технических решений по обеспечению помехозащиты различных каналов связи с БПЛА.

В общем случае, как было отмечено выше, БПЛА должен иметь следующие каналы связи: радионавигации, управления, сброса информации, а при одновременном управлении группой БПЛА необходимо иметь специализированный БПЛА управления связью на базе летательного аппарата.

В частном случае, для средств каналообразования, расположенных на борту БПЛА, это будут следующие каналы: радионавигации, приема команд управления, а также передатчика сброса информации на наземный пункт управления (возможно отдельного передатчика для определения координат РТК наземной подсистемой местоопределения).

Каналы радионавигации при использовании спутниковой системы навигации типа «ГЛОНАС» или GPS не предполагают на БПЛА наличия радиопередающего устройства, а только приемное устройство, обеспечивающее прием сигналов не менее чем от трех спутников (в целом, чем больше принимаемых от спутников радиосигналов, тем выше точность местоопределения БПЛА). Прием сигналов только от одного или двух спутников не позволяет определить местоположение БПЛА. Промышленность серийно выпускает такие радиоприемные устройства, однако нет данных о том, как они будут функционировать при их размещении в группе радиоизлучающих средств БПЛА.

Радионавигация БПЛА радионавигационным комплексом предполагает непрерывное излучение БПЛА, в качестве которого должно использоваться отдельное узкополосное радиопередающее устройство или непрерывно излучающий канал сброса информации.

Сигналы управления местоположением БПЛА должны передаваться из наземного пункта управления и только приниматься

радиоприемным устройством БпЛА. Они могут передаваться узкополосными сигналами в виде коротких команд, определяющих направление и скорость движения БпЛА.

Параметры канала сброса информации определяются целевым предназначением БпЛА. Их значения определяются видом предоставляемых услуг БпЛА и предполагают наличие на последнем только передающего устройства. В этом же канале целесообразно передавать координаты текущего местоположения БпЛА, относительно которых производится сброс информации.

Таким образом, на БпЛА должны находиться минимум два радиоприемных устройств и одно-два радиопередающих устройства.

В случае использования на БпЛА приемников прямого преобразования частоты последний должен удовлетворять требованиям динамического диапазона радиосигналов на входе радиоприемного устройства, опре-

деляемого суммой излучаемых мощностей антенных устройств передатчиков, размещаемых на БпЛА.

При использовании на БпЛА радиоприемных устройств супергетеродинного типа, с целью исключения взаимовлияния друг на друга всех РЭС, подлежат определению параметры, перечисленных в таблице 1 средств связи относительно любой пары радиоприемного и радиопередающего устройств.

Значения частот, на которых будет осуществляться прием радиосигналов, в том числе и энергетически доступных РЭС, располагаемых на земной поверхности, определится выражением [2]

$$f_{\text{пк}} = \frac{a}{m} f_c + \frac{b-n}{m} f_r, \quad (1)$$

где f_c – частота настройки радиоприемного устройства, f_r – частота настройки первого гетеродина, m и $n = \pm(0, 1, 2, 3)$, $a = \pm 1$, $b = \pm 1$, а знак этих переменных определяет верхнюю

Таблица 1.

Параметры передающих и приемных устройств, необходимые для согласования их на борту РТК

№ п/п	Характеристики средства связи
1	Выходная мощность передатчика (Вт)
2	Среднее значение коэффициента усиления передающей антенны (дБ)
3	Потери в АФУ передающего устройства (дБ)
4	Реальная чувствительность приемника (дБВт)
5	Среднее значение коэффициента усиления приемной антенны (дБ)
6	Потери в антенно-фидерном тракте приемника (дБ)
7	Допустимая величина отношения $P_c / P_{\text{пом}}$ на входе РПрУ с учетом требуемой надежности связи (дБ)
8	Эффективная полоса частот занимаемых радиосигналом (кГц)
9	Значение коэффициента прямоугольности полосы пропускания РпрУ
10	Значение первой промежуточной частоты (ПЧ) РПрУ (МГц)
11	Верхняя ($f_{\text{гетеродина}} + f_{\text{сигнала}}$) или нижняя ($f_{\text{сигнала}} - f_{\text{гетеродина}}$) настройка первого гетеродина радиоприемного устройства
12	Ослабление побочных каналов приема радиоприемником (дБ)
13	Значение коэффициента прямоугольности радиотракта передатчика
14	Ослабление побочных излучений трактами высокой частоты передатчика (дБ)
15	Входное сопротивление РПрУ (Ом)
16	Полоса пропускания передатчика (кГц)
17	Минимальное значение диапазона рабочих частот передатчика (МГц)
18	Максимальное значение диапазона рабочих частот передатчика (МГц)
19	Минимальное значение диапазона рабочих частот приемника (МГц)
20	Максимальное значение диапазона рабочих частот приемника (МГц)
21	Шаг перестройки радиоприемного устройства (МГц)
22	Динамический диапазон сигналов на входе радиоприемного устройства (дБ)

или нижнюю настройку первого гетеродина радиоприемного устройства (РПРУ). При этом $f_{\text{пк}}$ определяет частоту принимаемой помехи, которой может быть любой энергодоступный источник излучения радиосигнала.

Очевидно также, что чем шире полоса излучаемого сигнала источника непреднамеренных помех, тем выше вероятность его воздействия на частоту настройки радиоприемного устройства.

В ряде случаев возможна адаптация канала управления БПЛА к сложившейся помеховой обстановке за счет увеличения выходной мощности передающего устройства, размещаемого на наземном пункте управления.

Существенно уменьшить воздействие преднамеренных помех на навигацию БПЛА возможно при использовании наземной подсистемы координатометрии БПЛА, однако при этом необходимо определить, на сколько будет удовлетворять точность определения координат БПЛА предъявляемым оперативным требованиям его использования.

Для создания преднамеренных помех каналу сброса информации необходимо подавить радиоприемное устройство пункта управления БПЛА, что возможно только после определения его координат и обеспечения требуемой дальности подавления за счет высоты подъема источника помехи выбора его выходной мощности.

Отсюда следуют вывод, что факторы, определяющие выбор типов аппаратуры для формирования радиоканалов управления и передачи данных помимо внешних (предназначение и место в боевых порядках БПЛА) будут зависеть и от принятых технических решений по обеспечению помехозащиты различных каналов связи с БПЛА. Важнейшими факторами, определяющими функционирование БПЛА, являются каналы приема сигналов от спутниковой системы навигации и каналы приема сигналов управления БПЛА от НПУ.

Заключение

Таким образом, произведенный обобщенный анализ условий функционирования радиоканалов управления и передачи данных БПЛА без конкретного задания его предназначения и размещения в боевых порядках войск позволил сформулировать наиболее общие условия функционирования каналов связи БПЛА с учетом электромагнитной совместимости аппаратуры каналообразования. Наиболее точно такой анализ может быть произведен только после задания Заказчиком целевого предназначения БПЛА и указания его положения в боевых порядках войск, которые определяют уровень внешнего воздействия множества внешних РЭС, диапазоны частот работы, пропускную способность и другие параметры, характеризующие каналы связи БПЛА.

Литература

1. Макаренко С. И., Тимошенко А. В. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 2. Огневое поражение и физический перехват // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1.
2. Голубчиков С. В., Новиков В. К., Пономаренко А. В., Митрофанова С. В. Показатели и критерии оценки эффективности ведения радиоэлектронной борьбы в современных условиях // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2024. № 31.
3. Бондаренко В. А., Каплинский Г. Э., Павлова В. А., Тупиков В. А. Алгоритмическое обеспечение оптико-электронных систем комплекса защиты объектов от беспилотных летательных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 1(195).

INFLUENCE OF CHANNELING EQUIPMENT ON THE FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIO-ELECTRONIC MEANS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Lyashchuk M. Z.⁴, Vorobyov P. V.⁵, Abramova N. I.⁶

Keywords: *laser, atmosphere, beam angle, diaphragm, unmanned aerial vehicle.*

4 Mikhail Z. Lyashchuk, Candidate of Technical Sciences, SNS, Senior Researcher, Research Center of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: irihsa.l@mail.ru

5 Pavel V. Vorobyov, Researcher, Research Center, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: pvorobyev98@gmail.com

6 Nina I. Abramova, Researcher, Research Center, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: HIAbram@yandex.ru

Abstract

The aim of the work is to analyze the factors affecting the electromagnetic compatibility (EMC) of the unmanned aerial vehicle (UAV) channeling equipment, as well as to develop recommendations for the selection of types of radio equipment and signal selection methods to ensure noise-resistant communication in a complex interference environment.

Research method: assessment of the effect of channel formation equipment parameters on EMC and consideration of various methods of radio signal selection (spatial and frequency).

Results of the study: the main factors affecting the EMC of UAV communication channels were determined, proposals were made to improve noise immunity in a complex electronic environment.

The scientific novelty lies in the integrated approach to the assessment of the electromagnetic compatibility of the UAV channeling equipment, which takes into account the parameters of the transmitting and receiving devices necessary for their coordination on board the RTC.

References

1. Makarenko S. I., Timoshenko A. V. Analiz sredstv i sposobov protivodejstviya bespilotnym letatel'nyh apparatam. Chast' 2. Ognevoe porazhenie i fizicheskij perehvat // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2020. № 1.
2. Golubchikov S. V., Novikov V. K., Ponomarenko A. V., Mitrofanova S. V. Pokazateli i kriterii ocenki jeffektivnosti vedeniya radioelektronnoj bor'by v sovremennyh usloviyah // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teorija i praktika. 2024. № 31.
3. Bondarenko V. A., Kaplinskij G. Je., Pavlova V. A., Tupikov V. A. Algoritmicheskoe obespechenie optiko-jelektronnyh sistem kompleksa zashhity ob#ektov ot bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. 2018. № 1(195).

