

Возможности мониторинга радиоэлектронного оборудования беспилотных авиационных систем

Б. М. Антипин¹, Е. М. Виноградов², А. К. Терновая³

Санкт Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

¹boris_antipin@mail.ru, ²vinog1936@mail.ru, ³ternovaya_00@bk.ru

Аннотация. На основе анализа функциональных возможностей элементов беспилотных авиационных систем, характеристик и параметров излучений их передатчиков, а также анализа действующих отечественных и международных нормативных документов применительно к регулированию использования таких систем, сформулированы требования к радиоконтрольному оборудованию для оценки параметров излучений радиотехнического оборудования беспилотных авиационных систем и определены возможности радиоконтроля беспилотных авиационных систем.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы; беспилотные воздушные суда; параметры излучений передатчиков; радиоконтроль

I. ВВЕДЕНИЕ

Радиочастотное обеспечение эксплуатации беспилотных авиационных систем (БАС) гражданского назначения рассматривалось на заседании Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) от 24.04.2023 г. в рамках гармонизации применения беспилотных воздушных судов (БВС) на межгосударственном уровне и выполнения рекомендаций Международной организации гражданской авиации ИКАО, и сектора радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-R). Обсуждалось также использование для линий управления и связи наземных систем дистанционного пилотирования воздушных судов радиочастотных каналов в соответствии с п. 3.1.4. Отчета МСЭ-R SM.2486-0 [1].

Легитимность и безопасность полётов беспилотных воздушных судов (БВС) должны обеспечиваться выполнением требований нормативных документов, регламентирующих условия их применения и определяющих значения параметров излучений радиоэлектронных средств (РЭС) беспилотных авиационных систем (БАС), размещаемых на БВС и на пульте управления (ПУ). В связи с этим мониторинг РЭС беспилотных авиационных систем является актуальной задачей. Для определения возможностей мониторинга таких систем необходимо проанализировать их функциональные возможности, определить характеристики и параметры излучений передатчиков БАС, а также определиться с требованиями к параметрам излучений, сформулированными в отечественных и нормативных документах.

II. АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БАС

Основными элементами БАС являются БВС и ПУ.

К функциям ПУ БАС относятся:

- передача команд управления полетом БВС (включение двигателя, взлет с набором высоты, снижение, зависание в одной точке – для БВС вертолетного типа, повороты и др.);
- передача сигналов управления полезной нагрузкой (включение, выключение, переключение режимов, сброс – для транспортных систем и др.);
- прием потокового видео;
- прием телеметрии от БВС.

Основные функции БВС определяются целевым предназначением БАС:

- передача изображения в режиме потокового видео при обеспечении наблюдения за объектом или районом;
- передача телеметрической информации о местонахождении БВС, техническом состоянии систем и о параметрах полета;
- передача информации о наличии (сбросе) полезной нагрузки при обеспечении ее доставки или информации о выполнении конкретных действий при выполнении сельскохозяйственных работ и др.

Из перечня приведенных выше функций следует, что на ПУ БАС необходимо наличие радиопередающих средств, обеспечивающих телеуправление полетом и полезной нагрузкой, а также приемников сигналов телеметрии, фотоизображений и видеосигнала в потоковом режиме.

В канале телеуправления БВС может использоваться как аналоговая (в основном в оборудовании более ранних лет выпуска), так и цифровая модуляция сигнала. Как правило, аналоговая модуляция сигнала используется на более низких радиочастотах 27 МГц, 72 МГц, а сигналы с цифровой модуляцией – в более высоких частотных диапазонах (433 и 868/915 МГц; 1,2 и 2,4 ГГц).

У БВС гражданского применения частота радиоканала телеуправления определяется диапазоном работы радиомодуля ПУ и приемником сигналов телеуправления на борту (обычно передатчик радиомодуля и приемник сигналов телеуправления выпускаются в виде парного комплекта). Радиомодуль может быть встроенным в ПУ, т. е. несъемным или

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9 в ЕГИСУ НИОКТР.

внешним, допускающим его замену, что позволяет производить модернизацию БАС по мере создания радиомодулей, поддерживающих новые функции. Наиболее распространенными являются ПУ с внешними радиомодулями, работающие с приемниками ELRS в диапазоне 2,4 ГГц или 868/915 МГц (например, TBS Tango 2, TBS Crossfire, Express LRS ES915TX и др.), кроме них применяются модули, использующие в канале управления частоты в диапазоне 1,3 ГГц и 433 МГц. Использование более низкой частоты в канале управления увеличивает дальность контролируемого полета БВС, что определяется меньшими потерями сигнала в канале.

III. КРАТКИЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

5 октября 2021 года Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2806-р утверждена Концепция интеграции беспилотных воздушных судов в единое воздушное пространство Российской Федерации [2] и План реализации Концепции в части развития технологий. В Концепции обозначено требование об оснащении всех беспилотных воздушных судов (БВС), выполняющих полёты в едином воздушном пространстве, бортовыми ответчиками, обеспечивающими передачу идентификационного номера воздушного судна, его текущих координат и информации о параметрах движения воздушного судна.

На заседании от 29 ноября 2021 года Решением ГКРЧ №21-60-05 [3] впервые выделила полосу радиочастот 5,850 – 6,425 ГГц с целью использования РЭС для организации связи с БВС, осуществляющих воздушное наблюдение и патрулирование с целью контроля состояния удалённых промышленных объектов.

На заседании ГКРЧ 24 апреля 2023 года [4] один из вопросов был посвящён рассмотрению рекомендаций Международной организации гражданской авиации (ИКАО) и сектора радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-Р) об использовании для линий управления и связи наземных систем дистанционного пилотирования воздушных судов ИКАО полос радиочастот 117,975 – 137 МГц, 960 – 1164 МГц и 5030 – 5091 МГц. В Решении №23-66-01 [4] отмечено, что в РФ для воздушной подвижной службы (ВПС) распределена только полоса 117,975 – 137 МГц, а полосы 960 – 1164 МГц и 5030 – 5091 МГц не распределены.

Кроме того, решением ГКРЧ от 07.05.2007 года № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» (в ред. от 23.12.2022) [5] для РЭС БВС, попадающих под категорию устройств малого радиуса действия, определены уровни излучений, полосы радиочастот и условия их использования.

Относительно полосы 5030 – 5091 МГц принято решение, что её использование воздушной подвижной и воздушной подвижной спутниковой службой в РФ ограничивается системами воздушной связи, стандартизированными на международном уровне с внесением соответствующего изменения в Таблицу распределения полос радиочастот между радиослужбами РФ [6].

Стандартизация на международном уровне в этой полосе радиочастот подразумевает, в том числе, возможность использования бортовыми и стационарными станциями воздушной подвижной

службы РЭС для радиоканалов управления и телеметрии БАС, при условии исключения создания помех воздушной подвижной спутниковой службе и системам обеспечения посадки воздушных судов.

IV. ТРЕБОВАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ БАС

Для обеспечения безопасности полетов БВС и предотвращения инцидентов с ними актуальным является своевременное обнаружение и прекращение применения БАС, не имеющих разрешительных документов на использование радиочастотного спектра и на осуществление полетов. Кроме того, в соответствии с положениями ст. 25 Федерального закона «О связи» от 07.07.2003 г. N 126-ФЗ [7] радиочастотная служба должна осуществлять радиоконтроль за излучениями радиотехнического оборудования БАС с целью обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и эксплуатационной готовности радиочастотного ресурса. В статье Закона определены цели радиоконтроля радиоэлектронных средств (РЭС) гражданского назначения. Очевидно, что эти цели однозначно должны относиться и к контролю за излучениями радиотехнического оборудования гражданских БАС.

При этом отметим, что есть некоторая специфика радиоконтроля РЭС БАС, которая состоит в том, что РЭС БАС, как объект радиоконтроля, включают в свой состав два элемента: РЭС на БВС и РЭС на наземном пульте управления. РЭС, размещённые на БВС, являются подвижными объектами радиоконтроля, меняющими свое местоположение в пространстве в течение полёта. РЭС, входящие в состав ПУ, относятся к квазистационарным объектам радиоконтроля (стационарным объектам на время полёта БВС).

Согласно требованиям отечественных нормативных документов [8, 9] для обеспечения электромагнитной совместимости РЭС в процессе радиоконтроля необходимо измерять следующие параметры излучений передатчиков:

- допустимое отклонение частоты;
- контрольную ширину полосы частот излучения;
- ширину полосы внеполосных излучений;
- уровни побочных излучений.

С учетом значений параметров излучений БАС оборудование радиоконтроля должно иметь следующие характеристики:

- наличие полосы одновременного анализа до 200 МГц. Минимально достаточное значение, обеспечивающее обнаружение каналов телеуправления, функционирующих в режиме ППРЧ большинства ПУ БАС гражданского назначения, составляет 80 МГц;
- быстродействие системы обработки сигнала, позволяющее гарантированно отображать импульсы ППРЧ длительностью до 500 мкс в полосе анализа;
- отображение спектрограммы в режиме растровой развёртки или т. н. «водопада» (в осях частота – время);

- наличие «дифференциального» режима, аналогичного используемому в компактном мониторинговом приемнике реального времени R&S®PR100.

А. Определение местоположения ПУ

Для определения местоположения стационарного (квазистационарного) РЭС может быть использован как триангуляционный, так и разностно-дальномерный способ [10].

Местоположение РЭС при реализации триангуляционного способа местоопределения может быть получено при пересечении минимум 2-х линий положения (пеленгов). В классической системе для получения 2-х линий положения (пеленгов) необходимо наличие 2-х разнесённых в пространстве радиопеленгаторов (РП), разнесённых друг от друга на необходимое расстояние. Расстояния от одного РП до другого (гоннобаза) и координаты размещения РП должны выбираться таким образом, чтобы обеспечивать требуемый размер зоны радиопеленгования, в пределах которой угол засечки радиопеленгов должен находиться в интервале от 30 до 150 градусов.

С учётом свойства квазистационарности ПУ БВС и времени продолжительности полёта БВС, для определения местоположения РЭС ПУ может быть использован один радиопеленгатор, размещённый на мобильном комплексе радиоконтроля (МКРК). МКРК производит пеленгование источника из разных точек по маршруту объезда района предполагаемого местонахождения РЭС ПУ с учётом транспортной доступности. Местоположение РЭС ПУ определяются по совокупности обработки разновременных отчётов радиопеленгов.

В. Определение местоположения БВС

БВС – мобильный элемент БАС. Существующие БВС гражданского назначения могут развивать скорость до 100 км/час и более. Поэтому определение местоположения БВС (направления на него) средствами радиоконтроля возможно только тогда, когда судно либо зависло в одной точке, либо перемещается в пределах небольшого пространственного объема. В этих случаях для определения направления на БВС возможно использование фазового или корреляционного интерферометров [11].

В фазовых интерферометрах пеленг рассчитывается непосредственно на основе измеренных разностей фаз на элементах антенной решетки.

Основу работы корреляционного интерферометра составляет последовательное сравнение набора данных об измеренных разностях фаз между элементами антенной решетки с массивами данных, содержащих разности, рассчитанные теоретически при различных углах прихода волны. Сравнение выполняется вычислением коэффициента корреляции, и в качестве результата берется направление (азимут и угол места) на источник излучения, для которого коэффициент корреляции максимален.

Возможно также определение местоположения источников излучения РЭС БВС с использованием

бортового радиопеленгатора беспилотного летательного аппарата вертолетного типа [12].

Определение местоположения малоподвижных источников радиоизлучений может быть также выполнено и с помощью алгоритмов [13, 14.]

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проведен анализ функциональных возможностей беспилотных авиационных систем и анализ нормативных документов, регламентирующих использование таких систем.

Это позволило сформулировать требования к радиоконтрольному оборудованию, которое может быть использовано для мониторинга передающих устройств БАС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Применение коммерческих дронов для выполнения задач МСЭ-R по контролю за использованием спектра. Серия SM. Управление использованием спектра. Отчет МСЭ-R SM.2486-0 (06/2021). URL: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2486> (дата обращения 20.02.2024)
- [2] Об утверждении Концепции интеграции беспилотных воздушных судов в единое воздушное пространство Российской Федерации и плана реализации Концепции в части развития технологий: Распоряжение Правительства РФ от 05.10.2021 г. N2806-р (в ред. от 05.12.2022). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
- [3] Решение ГКРЧ от 29 ноября 2021 года №21-60-05 «Об использовании полосы радиочастот 5850-6425 МГц радиозлектронными средствами для организации связи с беспилотными воздушными судами (для служебного пользования)» / [Электронный ресурс] // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: [сайт]. — URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8069/> (дата обращения: 23.01.2024).
- [4] Решение ГКРЧ от 24 апреля 2023 года №23-66-01 «Об использовании полос радиочастот радиозлектронными средствами для организации связи в беспилотных авиационных системах гражданского назначения» / [Электронный ресурс] // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: [сайт]. — URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8969/> (дата обращения: 20.02.2024).
- [5] Решение ГКРЧ от 07 мая 2007 года № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» (в ред. от 23.12.2022) / [Электронный ресурс] // электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/420342446> (дата обращения: 01.02.2024).
- [6] Постановление Правительства РФ от 18.09.2019 г. N1203-47 Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации (с изменениями и дополнениями). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
- [7] Федеральный закон от 7 июля 2003 года N 126-ФЗ "О связи" (с изм. и доп.).
- [8] НОРМЫ ГКРЧ 17-21
- [9] НОРМЫ ГКРЧ 19-21
- [10] Патент РФ №2510038 С2. МПК G01S3/46 Дальномерно-разностно-дальномерный способ определения координат местоположения источников радиоизлучений, и реализующее его устройство / Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Павлов В.Н., Портного Л.Б. Оpubл. 2014-03-20
- [11] Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под редакцией А.М. Рембовского. М: Горячая линия. Телеком, 2006. 492 с: ил. ISBN 5-93517-326-3.

- [12] Ашихмин А.В. Способ однопозиционного местоопределения источников радиоизлучения с использованием бортового радиопеленгатора беспилотного летательного аппарата вертолетного типа // Системы управления, связи и безопасности. 2021. №. 4. С. 40-57.
- [13] Spirin A.D., Antipin V.M. Non-conventional algorithm of radio transmission sources position location. // В сборнике: Proceedings of the 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2017. С. 565-568.
- [14] Александров И.В., Антипин Б.М., Спирин А.Д. Определение местоположения источников радиоизлучений в условиях сложного окружения. // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2017) VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей: в 4 т. 2017. С. 31-35.