

6. *Moraveji F.* Output stage and method of enhancing output gain. Patent for invention, No. US 6586998 of 2003.
7. *Dow R.N.* Ultra high gain amplifier. Patent for invention, No. US 5614866 of 1997, fig. 2.
8. *Bowers D.F.* Rapid slewing unity gain buffer amplifier with boosted parasitic capacitance charging. Patent for invention, No. US 5323122 of 1994, fig. 2.
9. *Damitio P., Alenin S.* High output current wideband output stage/buffer amplifier. Patent application, No. US 2005/0264358 of 2005, fig. 1.
10. *Zhuk A.A., Prokopenko N.N., Titov A.E.* Dvukhtaktnyy bufernyy usilitel' na komplementarnykh bipolyarnykh tranzistorakh, № RU 2786191 ot 2022 [Two-cycle buffer amplifier on complementary bipolar transistors, No. RU 2786191 of 2022 (in Russian)].
11. *Akopov V.P., Osipov V.E.* Vykhodnoy kaskad operatsionnogo usilitelya, № SU 1480094 ot 1989 [Output stage of operational amplifier, No. SU 1480094 of 1989 (in Russian)].
12. *Basiy V.T., Kostyrka V.S. i dr.* Emiternyy povtoritel', № SU 1300632 ot 1987 [Emitter repeater, No. SU 1300632 of 1987 (in Russian)].
13. *Isakov A.B., Popov A.E. i dr.* Emiternyy povtoritel', № RU 2003217 ot 1993 [Emitter repeater, No. RU 2003217 of 1993 (in Russian)].
14. *Akopov V.P., Osipov V.E.* Vykhodnoy kaskad operatsionnogo usilitelya, № SU 1569944 ot 1990 [Output stage of operational amplifier, No. SU 1569944 of 1990 (in Russian)].
15. *Shipov V.K., Vushkarnik V.N. i dr.* Povtoritel' napryazheniya, № SU 1012420 ot 1983 [Voltage Repeater, No. SU 1012420 of 1983 (in Russian)].
16. *Mel'nik V.I., Stashkiv Yu.V. i dr.* Emiternyy povtoritel', № SU 1298853 ot 1987 [Emitter repeater, No. SU 1298853 of 1987 (in Russian)].
17. *Kapitonov M.V., Prokopenko N.N., Ul'yanova V.I.* Emiternyy povtoritel', № SU 1401566 ot 1988 [Emitter repeater, No. SU 1401566 of 1988 (in Russian)].
18. *Basiy V.T., Borodyuk O.A. i dr.* Emiternyy povtoritel', № SU 1248028 ot 1986 [Emitter repeater, No. SU 1248028 of 1986 (in Russian)].
19. *Luchinskiy L.I., Makeev E.P.* Povtoritel' napryazheniya, A.sv. SSSR № 425308 ot 1974 [Voltage Repeater, A.sv. USSR № 425308 of 1974 (in Russian)].
20. *Zhuk A.A., Prokopenko N.N., Sergeenko M.A.* Bystrodeystvuyushchiy vykhodnoy kaskad operatsionnogo usilitelya, № RU 2802051 ot 2023 [Fast output stage of operational amplifier, No. RU 2802051 of 2023 (in Russian)].

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.Е. Румянцев.

Жук Алексей Андреевич – Донской государственный технический университет; e-mail: alexey.zhuk96@mail.ru; г. Ростов-на-Дону, Россия; тел: +79185880301; младший научный сотрудник отдела «Управление научных исследований»; ассистент кафедры «Информационные системы и радиотехника».

Zhuk Alexey Andreevich – Don State Technical University; e-mail: alexey.zhuk96@mail.ru; Rostov-on-Don, Russia; phone: +79185880301; junior research fellow of the “Office of scientific research”; assistant of the department of information systems and radio engineering.

УДК 621.396.029

DOI 10.18522/2311-3103-2023-5-192-204

Б.М. Антипин, Е.М. Виноградов, О.А. Симонина, С.Л. Фёдоров

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ПАРАМЕТРАМ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

На основе анализа отечественных и зарубежных нормативных документов рассматриваются особенности использования радиочастотного спектра в РФ для беспилотных авиационных систем (БАС). Рассмотрены типы радиоканалов для связи БАС и наземного пункта управления и определены частотные диапазоны, разрешённые для использования в целях связи с БАС согласно нормативно-правовой базе Российской Федерации. К лицензиро-

ваным относятся диапазоны 117,975–137 МГц; 5030–5091 МГц; 5850 – 6425 МГц, но есть возможность использования нелицензируемых диапазонов 137–174 МГц; 395–400 МГц; 430–460 МГц; 433,05–434,79 МГц; 860–880 МГц; 902–928 МГц; 1100–1400 МГц; 2400–2483,5 МГц. Показано, что существует проблема использования нелицензируемых диапазонов частот в связи с ограничениями на параметры радиоизлучения и диапазонов систем мобильной связи из-за отсутствия нормативной базы. В нормативно-правовой базе определены требования к уровням излучений радиоэлектронных средств (РЭС) БАС в лицензированных диапазонах, которые не должны превышать 100 мВт. В текущий момент в Российской Федерации нет нормативных требований к техническим параметрам РЭС БАС для их радиоканалов в нелицензируемых диапазонах, но при этом есть ограничения на устройства малого радиуса действия, использующие эти диапазоны. При этом существует ряд нормативных документов других стран, определяющих уровни сигналов в каналах управления полетов. Рассмотрены возможности применения БАС для целей радиоконтроля на примере опытной эксплуатации беспилотного летательного аппарата (БПЛА) «Орлан-10» с учётом существующих ограничений в области нормативно-правовой базы. Показано, что существует ряд ограничений для их эффективного использования в целях радиоконтроля: в области нормативно-правовой базы, технических характеристик антенн и зависимость результатов от высоты полёта. Также важным фактором являются ограничения по климатическим факторам. При этом именно для труднодоступных районов со сложными климатическими условиями такой метод мониторинга является наиболее перспективным.

БПЛА; БАС; выделенные частотные диапазоны; характеристики излучений; радиоконтроль.

B.M. Antipin, E.M. Vinogradov, O.A. Simonina, S.L. Fedorov

THE ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR RADIATION PARAMETERS OF RADIO EQUIPMENT IN UNMANNED AERIAL SYSTEMS

Based on the analysis of domestic and foreign regulatory documents, the features of the use of the radio frequency spectrum in the Russian Federation for unmanned aircraft systems (UAS) are considered. The types of radio channels for communication between the UAS and the ground control station are considered and the frequency ranges allowed for use for communication with the UAS according to the regulatory framework of the Russian Federation are determined. Licensed ranges include 117.975–137 MHz; 5030–5091 MHz; 5850–6425 MHz, but it is possible to use unlicensed bands 137–174 MHz; 395–400 MHz; 430–460 MHz; 433.05–434.79 MHz; 860–880 MHz; 902–928 MHz; 1100–1400 MHz; 2400–2483.5 MHz. It is shown that there is a problem of using unlicensed frequency ranges due to restrictions on the parameters of radio emission and ranges of mobile communication systems due to the lack of a regulatory framework. The regulatory framework defines the requirements for the radiation levels of radio-electronic means (RES) BASS in licensed ranges that should not exceed 100 MW. Currently, in the Russian Federation there are no regulatory requirements for the technical parameters of RES BAS for their radio channels in unlicensed ranges, but there are restrictions on short-range devices using these ranges. At the same time, there are a number of regulatory documents of other countries that determine the signal levels in flight control channels. The possibilities of using UAS for radio monitoring purposes are considered using the example of the trial operation of the Orlan-10 unmanned aerial vehicle (UAV), taking into account existing restrictions in the field of the regulatory framework. It is shown that there are a number of restrictions for their effective use for radio monitoring purposes: in the field of the regulatory framework, technical characteristics of antennas and the dependence of the results on the flight altitude. Limitations due to climatic factors are also an important factor. Moreover, it is precisely for hard-to-reach areas with difficult climatic conditions that this monitoring method is the most promising.

UAV; UAS; allocated frequency ranges; radiation characteristics; radio monitoring.

Введение. Высокая интенсивность использования БПЛА и востребованность результатов их применения в практической деятельности привели к росту числа компаний, занимающихся проектированием и изготовлением БПЛА по всему миру. 15 августа 2023 г. подписан Проект стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 г. [1]. В документе указывается, что цифровизация различных секторов экономики приводит к росту потребностей абонентов в области качества связи, в частности, минимизации задержки. В сетях мобильной связи для каналов со скоростью передачи данных 1–10 Гбит/с время подключения должно быть не более 1 мс. Одним из активно развивающихся направлений, для которых важны такие параметры соединения, является управление беспилотными летательными аппаратами в режиме реального времени.

Также в этом документе отмечается, что необходимо создание и внедрение гибридных сетей связи, в том числе с использованием БАС. Предполагается, что такие сети связи будут представлять совокупность наземного и спутникового сегментов связи, что позволит эффективно использовать их для управления БАС. Особенностью России является наличие обширных труднодоступных территорий, а том числе Арктической зоны, что ставит задачи по развитию высокоскоростной связи с низкими задержками, а также развитие средств контроля таких территорий. В этой роли могут выступить БПЛА с возможностью управления в режиме реального времени. Легитимность и безопасность полётов БПЛА должны обеспечиваться выполнением требований нормативных документов, регламентирующих условия их применения и определяющих значения параметров излучений радиоэлектронных средств (РЭС) беспилотных авиационных систем, размещаемых на беспилотных воздушных судах (БВС – другое название БПЛА) и на пульте управления (ПУ). В связи с этим анализ требований к частотным диапазонам использования БПЛА, а также к значениям параметров их излучения является актуальной задачей.

1. Радиоканалы БАС. Состав радиоканалов для обеспечения использования БПЛА гражданского назначения должен предусматривать наличие нескольких специализированных радиоканалов, предназначенных для:

- ♦ передачи команд телеуправления полётом БПЛА (ПУ–БПЛА), при этом радиопередатчик входит в состав пульта управления. В каналах управления ПУ–БПЛА применяется псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ);
- ♦ приёма сигналов телеметрии от БПЛА (БПЛА–ПУ), когда передатчик находится на БПЛА. В канале телеметрии в режиме ППРЧ передаётся информация об уровне принимаемого БВС сигнала, напряжения аккумулятора, потребляемого тока, данные о координатах, высоте, направлении и скорости движения и др.;
- ♦ приёма сигналов систем глобального позиционирования GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou: на борту БПЛА находится приёмник сигналов систем геопозиционирования, а информация о географических координатах БПЛА передаётся на ПУ в канале телеметрии;
- ♦ передачи команд управления полезной нагрузкой: включение и выключение видеокамеры, управление фокусным расстоянием оптической системы, сброс нагрузки и др. В этом случае радиопередатчик также входит в состав пульта управления;
- ♦ передачи фотографий и потокового видео для систем с видеоаппаратурой. В этом случае передатчик находится на БПЛА.

В современных системах управления БПЛА канал телеуправления и канал передачи команд управления полезной нагрузкой объединены в одной полосе частот передатчика на ПУ.

2. Выделенные полосы частот для РЭС БАС. История выделения полос частот для РЭС БАС содержит как Решения ГКРЧ, так и Распоряжения Правительства Российской Федерации и Указы Президента.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2018 года №576-р в целях интенсивного развития российскими компаниями сферы беспилотных авиационных систем утверждён план мероприятий – дорожная карта – национальной технологической инициативы по направлению «Аэронет» [2].

Распоряжением Правительства Российской Федерации 16 сентября 2021 года №2587-р в план мероприятий национальной технологической инициативы по направлению «Аэронет» внесены изменения по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров с поэтапной реализацией в период с 2021 по 2035 год.

5 октября 2021 года Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2806-р утверждена Концепция интеграции беспилотных воздушных судов в единое воздушное пространство Российской Федерации [3] и План реализации Концепции в части развития технологий.

Основные направления развития технологий интеграции беспилотных воздушных судов включают, в том числе, разработку и сертификацию цифровых радиолиний связи, контроля и управления в полосах частот, утверждённых регламентом радиосвязи МСЭ и Таблицей распределения полос радиочастот между радиослужбами РФ. Наземное и бортовое оборудование цифровых радиолиний связи, контроля и управления подлежит обязательной сертификации, для чего необходима разработка соответствующих сертификационных требований.

В Концепции обозначено требование об оснащении всех беспилотных воздушных судов, выполняющих полёты в едином воздушном пространстве, бортовыми ответчиками, обеспечивающими передачу идентификационного номера воздушного судна, его текущих координат и информации о параметрах движения воздушного судна. Основа навигационного обеспечения полётов БВС в РФ – навигационная спутниковая система ГЛОНАСС и GPS, а в перспективе Galileo и BeiDou.

На первом этапе в 2022 г. планировалось проведение научных и экспериментальных исследований возможности применения технологий и сетей связи для низколетящих БВС, использования полос радиочастот для цифровых радиолиний связи, контроля и управления, а также каналов связи внешних пилотов и разработка требований к цифровым радиолиниям связи, контроля и управления в полосах частот, утверждённых Всемирной конференцией радиосвязи МСЭ.

На втором этапе в срок 2025 года планируется разработка и сертификация цифровых радиолиний (включая спутниковые) для контроля и управления, связи с органами обслуживания воздушного движения (управления полётами) и экипажами других воздушных судов в полосах частот, утверждённых Всемирной конференцией радиосвязи МСЭ.

На заседании от 29 ноября 2021 года Решением ГКРЧ №21-60-05 [4] впервые выделила полосе 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.

В 2022 г. Решением ГКРЧ №22-65-03 [5] утверждён состав рабочей группы по подготовке предложений по выделению полос радиочастот РЭС для организации радиосвязи БВС и условиям их использования. Рабочей группой рассматривалась возможность вынесения на заседание ГКРЧ вопроса о выделении 15 новых полос радиочастот для БАС в РФ, в том числе:

- ♦ для организации каналов управления и телеметрии 117,975–137 МГц; 390–399,9 МГц; 860–876 МГц; 902–915 МГц; 921–925 МГц;
- ♦ для организации каналов, обеспечивающих использование полезной нагрузки в БАС 1427–1535 МГц; 2214–2226 МГц; 2328–2340 МГц; 2400–2500 МГц и 2580–2592 МГц;
- ♦ для применения РЭС стандарта LTE и действующих разрешений на использование радиочастот для РЭС стандарта LTE, установленными на БАС, в рамках действующих решений ГКРЧ об использовании полос радиочастот 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц;
- ♦ для проведения исследований о возможности использования полосы радиочастот 960–1200 МГц для организации командной линии БАС;
- ♦ для проведения исследований о возможности использования полосы радиочастот 5–5,2 и 5,85–6,425 ГГц для организации канала полезной нагрузки в БАС.

Однако против такого частотного «изобилия» выступили представители Минцифры, Росавиации, Роскосмоса и операторов мобильной связи. Одной из причин разногласий стала необходимость проведения предварительных исследований в области электромагнитной совместимости между радиоэлектронными средствами БАС и другими видами РЭС, работающими в каждой из рассматриваемых полос радиочастот, в первую очередь, в полосах 960–1200 МГц, 5–5,2 ГГц и 5,85–6,425 ГГц.

На заседании ГКРЧ 24 апреля 2023 года 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 [6] 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.

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 [7].

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.

На текущий момент вопрос о необходимом частотном обеспечении благоприятных условий для развития рынка БАС во исполнение требований п.1 д)-3 поручения Президента России от 30.12.2022 № Пр-2548 [8] полностью не решён. Работа комиссии по подготовке предложений по использованию дополнительных полос радиочастот для линий управления и телеметрии, а также для линий полезной нагрузки в БАС продолжается. Таким образом, официальный частотный ресурс для РЭС БАС в РФ сегодня: 117,975 – 137 МГц; 5030 – 5091 МГц; 5850 – 6425 МГц. Кроме того, решением ГКРЧ от 07.05.2007 года № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» (в ред. от 10.03.2017) [9] для РЭС БПЛА, попадающих под категорию устройств малого радиуса действия, определены уровни излучений, полосы радиочастот и условия их использования.

На практике для каналов управления, телеметрии и полезной нагрузки применяются до 12 полос радиочастот в различных диапазонах, в том числе и в нелегализованных в РФ полосах радиочастот [10]. В РФ используются следующие нелегализованные полосы радиочастот для РЭС беспроводных авиационных систем:

- ◆ 137–174 МГц;
- ◆ 395–400 МГц для канала управления;
- ◆ 430–460 МГц: 433,05–434,79 МГц для канала управления, в полосе 438–448 МГц – для канала телеметрии;
- ◆ 860–880 и 902–928 МГц используются для канала управления БПЛА производства Autel и для канала управления FPV БПЛА других производителей, а также для передачи видеоизображения в потоковом режиме;
- ◆ 1100–1400 МГц для каналов управления FPV БПЛА, а также для каналов передачи видеоизображения;
- ◆ 2400–2483,5 МГц — используется в звене БПЛА-ПУ в том числе для потокового видео, и ПУ-БПЛА для канала управления С2.

Полосы радиочастот цифровых каналов систем подвижной радиосвязи, таких как GSM, DCS, UMTS и LTE, для управления БАС в РФ также не легализованы.

3. Требования к параметрам излучений РЭС БАС. На текущий момент в РФ нет нормативных требований к техническим параметрам РЭС БАС (кроме устройств малого радиуса действия [9]) для радиоканалов управления, телеметрии, управления полезной нагрузкой, излучаемых мощностей РЭС в каждом канале, вида модуляции и т.д.

В зарубежных странах уровни сигналов в каналах управления полётом БВС, телеметрии и его нагрузкой определяются на основе требований на соответствие национальным сертификатам, к основным из которых следует отнести:

- ◆ сертификат федеральной комиссии связи (FCC – Federal Communication Commission) [11];
- ◆ сертификат Евросоюза (CE) [12];
- ◆ сертификат КНР (SRRC или SRMC – State Radio Regulation Committee) [13] для сертификации всех беспроводных продуктов, продаваемых в Китае.

Уровни эффективной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) сигналов в радиоканалах БАС гражданского назначения, соответствующие принятым в разных странах национальных системах сертификации, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни ЭИИМ в радиоканалах БАС гражданского назначения

		CE dBm (мВт)	FCC dBm (мВт)	SRRC dBm (мВт)	SRMC dBm (мВт)	Для РФ dBm (мВт)
ПУ	2,4 ГГц	20 (100)	26 (400)	20 (100)	20 (100)	20 (100)
	5,8 ГГц	14 (25)	26 (400)	23 (200)	23 (200)	20 (100)
БВС	2,4 ГГц	20 (100)	33 (2000)	20 (100)	20 (100)	20 (100)
	5,8 ГГц	д/н	33 (2000)	д/н	д/н	20 (100)

В каналах управления применяется псевдослучайная перестройка рабочей частоты со скоростью перестройки – 350...1000 ск/с; видами модуляции FSK2, PSK2 (A/B) и OFDM; длительностями импульсов 500...2500 мкс и шириной спектра импульса – 0,3–2,0 МГц. Скорость передачи данных в таких каналах до 2-х Мбод. По данным отчёта МСЭ-Р М.2171 [21] возможная ширина полосы ППРЧ от 34 до 200 МГц, при этом стандартное значение составляет 80 МГц.

Число каналов ППРЧ составляет от 32-х до 100, при этом 100 каналов возможно получить только для полосы 200 МГц. Одной из особенностей БПЛА гражданского назначения производства DJI является автоматическая установка мощности сигналов передатчиков в зависимости от территории, на которой он используется. Эта информация содержится в памяти БПЛА, а местоположение определяется по принятым координатам от системы геопозиционирования. Запас мощности передатчиков, заложенный разработчиками, позволяет повысить мощность передатчиков до 400 мВт, а с установкой дополнительного усилителя (так называемого бустера) – до 2,0 Вт. Такие технические возможности являются фактором, который может провоцировать нарушение законодательства РФ в условиях необходимости достижения целей проводимых мероприятий.

4. Использование БАС для осуществления мероприятий радиоконтроля.

13 декабря 2011 года состоялось заседание Правительственной комиссии по федеральной связи и технологическим вопросам информатизации, на котором обсуждался вопрос использования беспилотных летательных аппаратов для радиоконтроля (РК) в труднодоступных районах, зонах чрезвычайных ситуаций и на местности с плотной застройкой. На заседании Правительственной комиссии принято решение рекомендовать Роскомнадзору организовать опытную эксплуатацию комплексов радиоконтроля на базе беспилотных летательных аппаратов [14].

Опытная эксплуатация комплекса радиоконтроля (КРК) на основе БПЛА «Орлан-10» самолётного типа производства ООО «СТЦ» [15] в подразделениях радиоконтроля предприятий радиочастотной службы РФ проводилась в 2012-2013 годах на производственной базе отдела мобильного радиоконтроля ФГУП «РЧЦ СЗФО». Ранее данные аппараты уже использовались для дистанционного зондирования Земли и аэрофотосъемки [16]. Основное предназначение КРК на БПЛА – осуществление мероприятий радиоконтроля в районах ограниченной доступности для мобильных комплексов радиоконтроля и не входящих в зону электромагнитной доступности стационарных средств радиоконтроля. Технические возможности КРК на базе БПЛА обеспечивают:

- ♦ выявление реально работающих РЭС в конкретном районе с целью определения местоположения и идентификации источников радиоизлучений, эксплуатирующихся без разрешительных документов, в том числе базовых станций сотовой связи различных стандартов, размещённых в удаленных и труднодоступных для наземных мобильных комплексов радиоконтроля районах;
- ♦ определение параметров излучений стационарных РЭС по полю, в том числе РЭС теле- и радиовещания, радиорелейных станций, базовых станций;
- ♦ определение местоположения источников радиоизлучений по данным радиопеленгования в контролируемом диапазоне частот.

Сектором радиосвязи международного союза электросвязи (МСЭ-R) в 2021 году подготовлен отчёт SM.2486-0 (06/21) «Применение коммерческих БПЛА для выполнения задач МСЭ-R по контролю за использованием спектра» [22]. В отчёте рассмотрен состав функциональных элементов системы радиоконтроля на основе коммерческого БПЛА, аспекты, касающиеся вопросов измерений и требования при работе с БПЛА, а также варианты их использования для измерения напряжённости поля радиосигналов и определения местоположения РЭС. Также оценена возможность применения БПЛА для решения задач, связанных с измерениями параметров сигналов, в том числе: измерение напряжённости электромагнитного поля, измерение зоны радиопокрытия, радиопеленгации источников радиоизлучений и др.

Однако опыт использования КРК на БПЛА показал как определенные достоинства данной технологии радиоконтроля, так и выявил ее существенные ограничения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опытной эксплуатации БПЛА в интересах радиоконтроля

Возможности	Ограничения
Возможность проведения мероприятий РК в районах, где не обеспечивается транспортная доступность мобильных комплексов РК	Ограничения на полеты в районах, где расположены объекты Министерства обороны и атомные электростанции, в приграничных районах, над городами и пр. Ограничения по климатическим факторам внешней среды (дождь, снегопад, обледенение корпуса БПЛА)
Выявление работающих РЭС в контролируемом частотном диапазоне на большой территории в сжатые сроки	Антенны для пеленгования имеют ограничения по полосе радиочастот.
Повышение надежности КРК за счет резервирования комплекса двумя БПЛА, увеличение дальности при использовании одного БПЛА в качестве ретранслятора	Применение второго БПЛА удорожает КРК. В режиме ретранслятора передача результатов радиоконтроля на наземный ПУ в реальном масштабе времени не осуществляется, передаются только команды управления полетом. Вся информация о результатах РК записывается в бортовую память носителя
Выявление работающих РЭС в конкретном районе с целью определения местоположения и идентификации источников радиоизлучений, эксплуатирующихся без разрешительных документов, размещённых в удаленных, и труднодоступных для наземных мобильных комплексов радиоконтроля районах	Определение точного местоположения РЭС, действующих без разрешительных документов и не внесенных в БД ЧП требует применения мобильных и носимых средств пеленгования
Оценка уровней излучений РЭС	Оценка напряженности поля от РЭС на высоте полета не позволяет использовать эти данные для определения зон покрытия, где требуется проведение измерений на высотах 1,5 и 10 м [17, 18]
Наличие в комплекте поставки транспортного средства позволяет разместить в аппаратном отсеке автомобиля рабочие места операторов управления БПЛА и КРК на базе соответствующих АРМ	Высокая стоимость комплекта из 2-х КРК, транспортного средства и средств обеспечения. Большие эксплуатационные расходы на содержание

По результатам опытной эксплуатации КРК на базе БПЛА самолётного типа помимо приведённых в табл. 2 ограничений его применения также отмечена сложная процедура получения разрешения на полёты БПЛА и высокая себестоимость мероприятий РК с использованием КРК на БПЛА самолётного типа.

Отметим, что разработки в области совершенствования комплексов радиоконтроля для узких задач мониторинга, например, мониторинга сетей мобильной связи при условии разработки оптимального маршрута пролёта БПЛА с учетом размещения базовых станций оператора [19], или с использованием БПЛА вертолётного типа [20], имеющих чаще всего относительно невысокую стоимость, по-прежнему ведутся. При этом возникает необходимость решения ряда оптимизационных задач, связанных с уменьшением стоимости мероприятий РК и выбора параметров КРК.

Заключение. Необходимость использования БАС различного назначения не вызывает сомнений. Однако проведённый анализ частотного обеспечения радиотехнического оборудования БАС показывает, что существуют проблемы с использованием такими системами радиочастного спектра в РФ. Так, официально выделены для БАС частотные диапазоны 117,975–137 МГц, 5030–5091 МГц, 5850–6425 МГц, но можно использовать и нелегитимные полосы частот, на которые есть существенные ограничения на уровень излучения РЭС, что может сделать эксплуатацию некоторых БПЛА нелегитимным. При этом частотные диапазоны систем мобильной сотовой связи для управления БАС в РФ также не лицензированы, и есть необходимость проведения исследований в области электромагнитной совместимости радиосистем БАС и систем мобильной связи.

В нормативно-правовой базе РФ определены требования к уровням излучений радиотехнического оборудования БАС, которые не должны превышать 20 дБм (100 мВт), а также требования к модуляционным параметрам радиосигналов БАС.

Анализ опыта эксплуатации комплекса радиоконтроля для осуществления мероприятий радиоконтроля в районах ограниченной доступности для мобильных комплексов радиоконтроля и не входящих в зону электромагнитной доступности стационарных средств радиоконтроля показывает, что существует ряд ограничений для использования БПЛА. Так, выявлено, что кроме сложностей с получением разрешения на полеты, существует ряд ограничений по климатическим факторам внешней среды, затрудняющим эксплуатацию БПЛА в условиях Крайнего Севера. Также отмечены сложности с определением местоположения БПЛА и необходимость проведения дополнительных измерений другими методами для определения зон покрытия. Эти проблемы могут стать направлениями дальнейших исследований и новых инженерных решений в процессе совершенствования беспилотных систем в качестве средств мониторинга.

Исследование выполнено в рамках выполнения прикладных научных исследований по государственному заданию СПбГУТ на 2023 год, регистрационный номер 123060900012-6 в ЕГИСУ НИОКТР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проект стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года. – Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/9120/> (дата обращения: 01.08.2023).
2. Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации плана мероприятий («дорожной карты») Национальной технологической инициативы по направлению «Аэронет»: Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2018 г. N576-р (в ред. от 16.09.2021). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. 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».
4. Решение ГКРЧ от 29 ноября 2021 года №21-60-05 «Об использовании полосы радиочастот 5850-6425 МГц радиоэлектронными средствами для организации связи с беспилотными воздушными судами (для служебного пользования). – Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8069/> (дата обращения: 23.08.2023).
5. Решение ГКРЧ от 23 декабря 2022 года №22-65-03 «Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами для организации связи в беспилотных авиационных системах». – Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8628/> (дата обращения: 01.08.2023).
6. Решение ГКРЧ от 24 апреля 2023 года №23-66-01 «Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами для организации связи в беспилотных авиационных системах гражданского назначения». – Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8969/> (дата обращения: 01.08.2023).
7. 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».
8. Перечень поручений по вопросам развития беспилотных авиационных систем: Поручение Президента России от 30.12.2022 г. Пр-2548-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Решение ГКРЧ от 07 мая 2007 года № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» (в ред. от 10.03.2017). – Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420342446> (дата обращения: 01.08.2023).
10. Макаренко С.И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам: монография. – СПб.: Научные технологии, 2020. – 204 с.
11. FCC Certification // NexPCB Knowledge Base. – URL: knowledgebase.nexpcb.com/articles/fcc/ (дата обращения: 01.08.2023).
12. Европейский сертификат качества – CE маркировка для Евросоюза. – Серконс. – URL: <https://www.serconsrus.ru/services/ce-marking/> (дата обращения: 01.08.2023).
13. SRRC Certification for telecommunication products in China. – MPR. – URL: <https://www.china-certification.com/en/china-srrc-type-approval/> (дата обращения: 01.08.2023).
14. Для радиоконтроля на труднодоступных территориях будут применяться беспилотные летательные аппараты. – Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/events/29464/> (дата обращения: 01.08.2023).
15. Захаров А.И., Иванов Н.В., Студеникин А.В. Возможности беспилотных летательных аппаратов при решении изыскательских задач // Инженерные изыскания. – 2012. – № 7. – С. 20-23.
16. Студеникин А.В. и др. Практика применения перспективных беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и аэрофотосъемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 4. – С. 102.
17. Рекомендация МСЭ-R SM.378-7 «Измерение напряженности поля на станциях радиоконтроля». – Международный союз электросвязи. – URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.378-7-200702-I!!PDF-E.pdf (дата обращения: 01.08.2023).
18. Рекомендация МСЭ-R SM.1875-1 «Измерение покрытия DVB-T и проверка критериев планирования». – Международный союз электросвязи. – https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1875-1-201308-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 01.08.2023).

19. *Никитина А.В.* Оценка возможности применения беспилотных летательных аппаратов для задач радиоконтроля сетей мобильной связи // СПБНТОРЭС: Тр. ежегодной НТК. – 2021. – № 1. – С. 240-243.
20. *Ашихмин А.В. и др.* Способ однопозиционного местоопределения источников радиоизлучения с использованием бортового радиопеленгатора беспилотного летательного аппарата вертолетного типа // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 4. – С. 40-57.
21. Report ITU-R M.2171 «Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace». – МСЭ. – URL: <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2171-2009> (дата обращения: 01.08.2023).
22. Report SM.2486-0 «Use of commercial drones for ITU-R spectrum monitoring tasks». – МСЭ. – URL: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2486-2021> (дата обращения: 01.08.2023).

REFERENCES

1. Proekt strategii razvitiya otrasli svyazi Rossiyskoy Federatsii na period do 2035 goda [Draft strategy for the development of the communications industry of the Russian Federation for the period up to 2035]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation (2023). Available at: <https://digital.gov.ru/ru/documents/9120/> (accessed 01 August 2023).
2. Ob utverzhdenii plana meropriyatiy («dorozhnoy karty») po sovershenstvovaniyu zakonodatel'stva i ustraneniyu administrativnykh bar'erov v tselyakh obespecheniya realizatsii plana meropriyatiy («dorozhnoy karty») Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy po napravleniyu «Aeronet»: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 03.04.2018 g. N576-r (v red. ot 16.09.2021) [On the approval of the action plan («roadmap») to improve legislation and eliminate administrative barriers in order to ensure the implementation of the action plan («roadmap») The National Technological Initiative in the Aeronet direction: Order of the Government of the Russian Federation N576-p (2021)]. Available at: legal reference system «Konsul'tantPlyus».
3. Ob utverzhdenii Kontseptsii integratsii bespilotnykh vozdukhnykh sudov v edinoe vozdušnoe prostranstvo Rossiyskoy Federatsii i plana realizatsii Kontseptsii v chasti razvitiya tekhnologii: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 05.10.2021 g. N2806-r (v red. ot 05.12.2022) [On approval of the Concept of Integration of Unmanned Aircraft into the Unified Airspace of the Russian Federation and the plan for the implementation of the Concept in terms of technology development: Order of the Government of the Russian Federation N2806-p (2021)]. Available at: legal reference system «Konsul'tantPlyus».
4. Reshenie GKRCCh ot 29 noyabrya 2021 goda №21-60-05 «Ob ispol'zovanii polosy radiochastot 5850-6425 MGts radioelektronnymi sredstvami dlya organizatsii svyazi s bespilotnymi vozdukhnyimi sudami (dlya sluzhebnoy pol'zovaniya) [Decision GRFC No. 21-60-05 (2021) “About the use of the radio frequency band 5850-6425 MHz by radio-electronic means for the organization of communication with unmanned aircraft (for official use)”]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8069/> (accessed 01 August 2023).
5. Reshenie GKRCCh ot 23 dekabrya 2022 goda № 22-65-03 «Ob ispol'zovanii polos radiochastot radioelektronnymi sredstvami dlya organizatsii svyazi v bespilotnykh aviatsionnykh sistemakh» [Decision GRFC No. 22-65-03 (2022) “On the use of radio frequency bands by radio-electronic means for the organization of communication in unmanned aircraft systems”]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8628/> (accessed 01 August 2023).
6. Reshenie GKRCCh ot 24 aprelya 2023 goda №23-66-01 «Ob ispol'zovanii polos radiochastot radioelektronnymi sredstvami dlya organizatsii svyazi v bespilotnykh aviatsionnykh sistemakh grazhdanskogo naznacheniya» [Decision GRFC No. 23-66-01 (2023) “On the use of radio frequency bands by radio-electronic means for the organization of communication in unmanned civil aviation systems”]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/documents/8969/> (accessed 01 August 2023).
7. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 18.09.2019 g. N1203-47 «Ob utverzhdenii Tablitsy raspredeleniya polos radiochastot mezhdru radiosluzhbbami Rossiyskoy Federatsii i priznaniyu utrativshimi silu nekotorykh postanovleniy Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii» (s

- izmeneniyami i dopolneniyami) [Resolution of the Government of the Russian Federation N1203-47 (2019) "On the approval of the Table of Distribution of Radio Frequency Bands between the Radio Services of the Russian Federation and the invalidation of Certain resolutions of the Government of the Russian Federation (with amendments and additions)". Available at: legal reference system «Garant».
8. Perechen' porucheniya po voprosam razvitiya bespilotnykh aviatsionnykh sistem: Poruchenie Prezidenta Rossii ot 30.12.2022 g. Pr-2548-r [List of instructions on the development of unmanned aircraft systems: Order of the President of Russia № 2548-p. (2022)]. Available at: legal reference system «KonsultantPlyus».
 9. Reshenie GKRCCh ot 07 maya 2007 goda № 07-20-03-001 «O vydelenii polos radiochastot ustroystvam malogo radiusa deystviya» (v red. ot 10.03.2017) [Decision GRFC № 07-20-03-001 (2007) "On the allocation of radio frequency bands to short-range devices"]. Electronic fund of normative, technical and regulatory information of the Code Consortium. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420342446> (accessed 01 August 2023).
 10. Makarenko S.I. Protivodeystvie bespilotnym letatel'nykh apparatam: monografiya [Counteraction by unmanned aerial vehicle: monograph]. Saint Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2020, 204 p.
 11. FCC Certification, *NexPCB Knowledge Base*. Available at: knowledgebase.nexpcb.com/articles/fcc/ (accessed 01 August 2023).
 12. Evropeyskiy sertifikat kachestva – SE markirovka dlya Evrosoyuza [European Quality Certificate – CE marking for the European Union]. Serkons. Available at: <https://www.serconsrus.ru/services/ce-marking/> (accessed 01 August 2023).
 13. SRRC Certification for telecommunication products in China. MPR. Available at: <https://www.china-certification.com/en/china-srrc-type-approval/> (accessed 01 August 2023).
 14. Dlya radiokontrolya na trudnodostupnykh territoriyakh budut primenyat'sya bespilotnye letatel'nye apparaty [Unmanned aerial vehicles will be used for radio monitoring in remote areas]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/events/29464/> (accessed 01 August 2023).
 15. Zakharov A.I., Ivanov N.V., Studenikin A.V. Vozmozhnosti bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri reshenii izyskatel'skikh zadach [The capabilities of unmanned aerial vehicles in solving survey tasks], *Inzhenernye izyskaniya* [Engineering surveys], 2012, No. 7, pp. 20-23.
 16. Studenikin A.V. i dr. Praktika primeneniya perspektivnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya monitoringa i aerofotos'emki [The practice of using advanced unmanned aerial vehicles for monitoring and aerial photography], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2012, Vol. 9, No. 4, pp. 102.
 17. Rekomendatsiya MSE-R SM.378-7 «Izmerenie napryazhennosti polya na stantsiyakh radiokontrolya» [Recommendation ITU-R SM.378-7 "Field strength measurement at radio monitoring stations"]. International Telecommunication Union. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.378-7-200702-I!!PDF-E.pdf (accessed 01 August 2023).
 18. Rekomendatsiya MSE-R SM.1875-1 «Izmerenie pokrytiya DVB-T i proverka kriteriev planirovaniya» [Recommendation ITU-R SM.1875-1 "DVB-T coverage measurement and verification of planning criteria"]. International Telecommunication Union. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1875-1-201308-S!!PDF-R.pdf (accessed 01 August 2023).
 19. Nikitina A.V. Otsenka vozmozhnosti primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya zadach radiokontrolya setey mobil'noy svyazi [Assessment of the possibility of using unmanned aerial vehicles for the tasks of radio monitoring of mobile communication networks], *SPbNTORES: Tr. ezhegodnoy NTK* [SPbNTORES: Proceedings of the annual STC], 2021, No. 1, pp. 240-243.
 20. Ashikhmin A.V. i dr. Sposob odnopolozitsionnogo mestoopredeleniya istochnikov radioizlucheniya s ispol'zovaniem bortovogo radiopelengatora bespilotnogo letatel'nogo apparata vertoletnogo tipa [A method for single-position location of radio emission sources using an on-board radio direction finder of a helicopter-type unmanned aerial vehicle], *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti* [Control, communication and security systems], 2021, No. 4, pp. 40-57.

23. Report ITU-R M.2171 “Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace”. International Telecommunication Union. Available at: <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2171-2009> (accessed 01 August 2023).
21. Report SM.2486-0 “Use of commercial drones for ITU-R spectrum monitoring tasks”. International Telecommunication Union. Available at: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2486-2021> (accessed 01 August 2023).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.Е. Румянцев.

Антипин Борис Маврович – Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича; e-mail: boris.antipin@sut.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; к.т.н.; доцент кафедры телевидения и метрологии.

Виноградов Евгений Михайлович – e-mail: vinogradov_em@sut.ru; к.т.н.; доцент; старший научный сотрудник НИЛ «Радиоконтроля и ЭМС».

Симонина Ольга Александровна – e-mail: olga.simonina@sut.ru; к.т.н.; доцент кафедры радиосвязи и вещания.

Федоров Сергей Леонидович – e-mail: sergey.fedorov@sut.ru; к.т.н.; доцент; зав. кафедрой телевидения и метрологии.

Antipin Boris Mavrovich – Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education the Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications; e-mail: boris.antipin@sut.ru; Saint Petersburg, Russia; cand. of eng. sc.; associate professor of the department of television and metrology.

Vinogradov Evgeniy Mikhaylovich – e-mail: vinogradov_em@sut.ru; cand. of eng. sc.; associate professor senior researcher at the research laboratory «Radio control and electromagnetic compatibility».

Simonina Olga Alexandrovna – e-mail: olga.simonina@sut.ru; cand. of eng. sc.; associate professor of the department of radio communication and broadcasting.

Fedorov Sergey Leonidovich – e-mail: sergey.fedorov@sut.ru; cand. of eng. sc.; associate professor; head of the department of television and metrology.

УДК 621.341.572

DOI 10.18522/2311-3103-2023-5-204-213

В.В. Бурлака, С.В. Гулаков, А.Ю. Головин, Д.С. Мироненко

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДВУНАПРАВЛЕННЫЙ DC-AC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Представлено схемное решение и описание работы двунаправленного DC-AC преобразователя с трансформаторной изоляцией. В основе схемы лежат принципы, применяемые в резонансных LLC преобразователях и двойных активных мостах (DAB, Dual Active Bridge), но в предлагаемой конструкции используется биполярное построение инвертора со стороны переменного напряжения, а также совмещенное частотное и широтно-импульсное управление. Это дает возможность реализовать ряд функций в одном преобразователе, используя небольшое число коммутаций в силовой цепи. Так, возможна работа в режиме источника бесперебойного питания (преобразование постоянного напряжения АКБ в переменное 220 В 50 Гц); инвертора связи с сетью альтернативных источников (солнечных панелей); зарядного устройства (работающего как от сети, так и от солнечных панелей); сварочного инвертора для полуавтоматической сварки (причем сварку можно осуществлять как от сети, так и от АКБ); стабилизатора переменного напряжения; преобразователя постоянного напряжения (для «прикуривания» АКБ с разными напряжениями или степенью заряженности). Устройство с перечисленным набором функций может найти применение, например, в полевых условиях – для организации электропитания различных нагрузок, зарядки аккумуляторов, а также проведения мелких сварочных работ.