

СПОСОБЫ РАДИОКОНТРОЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Б.М. Антипин, к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, *antip@irga.sut.ru*;

Е.М. Виноградов, к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, *vinog1936@mail.ru*;

Е.В. Шаброва, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, *shabrova1@mail.ru*.

УДК 621.396

Аннотация. На основе анализа отечественных и зарубежных публикаций в открытых источниках рассматриваются способы радиоконтроля беспилотных авиационных систем, включая радиомониторинг, оценку параметров радиоизлучений передатчиков пункта управления и беспилотного воздушного судна, а также определение их местоположения.

Ключевые слова: авиационные системы; беспилотные воздушные суда; определение местоположения; средства измерения параметров излучения.

METHODS OF RADIO MONITORING OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Boris Antipin, Ph.D., Associate Professor, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;

Evgenii Vinogradov, Ph.D., Associate Professor, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;

Elena Shabrova, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich.

Annotation. Based on the analysis of domestic and international publications in open sources, methods of radio monitoring of unmanned aircraft systems are considered, including radio monitoring, evaluation of radio emission parameters of control point transmitters and unmanned aircraft, as well as determining their location.

Keywords: unmanned aircraft systems; unmanned aerial vehicles; location determination; means of measuring radiation parameters.

Введение

Реалии сегодняшнего дня обозначили новые объекты для радиоконтроля – радиоэлектронные средства (РЭС) беспилотных авиационных систем (БАС) гражданского назначения. С учетом интенсивного развития отрасли по производству БАС в Российской Федерации, а также импорта БАС из зарубежных стран, количество таких систем и интенсивность их применения в гражданской сфере увеличивается [1-5]. Соответственно увеличивается и количество РЭС, обеспечивающих функционирование линий управления беспилотными воздушными судами (БВС) и контроля БАС.

Производство БАС в РФ организовано на разных предприятиях, в частности, на базе индустриального парка в Руднево (г. Москва), где до конца года планируется произвести 5000 БАС. С 1 марта 2024 г. вступает в силу упрощенный (уведомительный) порядок применения БАС в сельском хозяйстве, включая

возможность свободной эксплуатации в отдельных зонах на высоте до 150 м, что также скажется на увеличении интенсивности их использования.

В связи с этим особую значимость приобретает незавершенность процесса разработки нормативной базы, регламентирующей вопросы использования радиочастотного спектра РЭС БАС, а перед радиочастотной службой остро встает задача организации радиоконтроля РЭС беспилотных авиационных систем гражданского назначения.

При этом необходимо отметить, что цели осуществления мероприятий радиоконтроля, определенные в статье 25 Закона о Связи 126-ФЗ от 07.07.2003 (в редакции от 01.05.2022) «Контроль за излучениями радиоэлектронных средств и (или) высокочастотных устройств»¹ целиком и полностью относятся и к РЭС БАС гражданского назначения:

- проверка соблюдения пользователем радиочастотным спектром правил его использования;
- выявление не разрешенных для использования РЭС и прекращения их работы;
- выявление источников радиопомех;
- выявление нарушения порядка и правил использования радиочастотного спектра, национальных стандартов Российской Федерации, требований к параметрам излучения (приема) РЭС и (или) ВЧУ;
- обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС);
- обеспечение эксплуатационной готовности радиочастотного спектра.

Особенность радиоконтроля в данном случае состоит в том, что РЭС БАС выполняют функцию обеспечения управления беспилотными авиационными системами на основе контроля телеметрической информации полета БВС. РЭС БАС, как объект радиоконтроля, включают в свой состав два элемента: РЭС на БВС и РЭС на наземном пульте управления (ПУ).

РЭС, размещенные на БВС, являются подвижными объектами радиоконтроля, меняющими свое местоположение в пространстве в течение полета.

РЭС, входящие в состав ПУ, относятся к квазистационарным объектам радиоконтроля (стационарным объектам на время полета БВС).

Учитывая свойства мобильности и квазистационарности элементов БАС можно предполагать, что РЭС ПУ и РЭС БВС будут оказывать различное влияние на локальную электромагнитную и радиоэлектронную обстановку.

Общие требования к оборудованию для радиоконтроля РЭС беспилотных авиационных систем

Процедура организации и осуществления мероприятий радиоконтроля РЭС мобильного (БВС) и квазистационарного (ПУ) элементов БАС имеет свои особенности (различия), что в свою очередь определяет требования к радиоконтрольному оборудованию (РКО). При этом можно определить общие требования к РКО для контроля излучений РЭС БАС и частные требования к РКО для контроля РЭС каждого из элементов БАС [6].

К общим требованиям для радиоконтрольного оборудования системы радиомониторинга РЭС квазистационарного и подвижного элементов БАС в процессе радиомониторинга РКО следует отнести:

¹ Федеральный закон от 7 июля 2003 года N 126-ФЗ «О связи» (с изм. и доп.).

- охват мониторингом всего радиочастотного диапазона, используемого элементами БАС;
- высокая чувствительность РКО в сочетании с широким динамическим диапазоном, позволяющая обнаруживать низкоуровневые излучения РЭС элементов БАС на максимально возможном удалении;
- идентификация элементов БАС (ПУ или БВС) по результатам анализа параметров излучений РЭС, а также декодирования служебной информации (MAC адреса), транслируемой в канале телеуправления (передачи данных телеметрии на ПУ);
- определение местоположения (методом радиопеленгования или координатометрии) или направления на источник радиоизлучения элементов БАС.

Частные требования к РКО для мониторинга элементов БАС определяются спецификой излучений их РЭС.

Для РЭС ПУ, использующих режим ППРЧ:

- наличие полосы одновременного анализа до 200 МГц. Очевидно, что чем шире полоса одновременного анализа, тем выше вероятность обнаружения сигнала ППРЧ. 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 (при минимальной однократной длительности излучения на частоте одного скачка 500 мкс для его уверенного отображения в режиме «водопада», желательно, чтобы анализатор спектра обладал режимом реального времени с *ROI*, не превышающим 10 мкс);
- отображение спектрограммы в режиме растровой развертки или т.н. «водопада» (в осях частота-время);
- наличие «дифференциального» режима, аналогичного используемому в компактном мониторинговом приемнике реального времени *R&S®PR100*.

При активации дифференциального режима отображаются только отличающиеся от сохраненного спектра сигналы, что позволяет легко отсеleccionировать сигналы постоянных источников излучения, не занимая экран анализатора посторонними излучениями.

Для обнаружения излучения РЭС БВС, передающих сигнал в режиме потокового видео, РКО должно обеспечивать радиоконтроль полос радиочастот 2400-2483,5 МГц, 5725-5825 МГц или 5850-6425 МГц с полосой одновременного анализа не менее 20 МГц.

Таким образом, сопоставляя требования к РКО для обнаружения передатчиков ПУ и БВС, можно сделать вывод, что к оборудованию для обнаружения наземных ПУ предъявляются более жесткие требования по охвату частотного диапазона, полосе анализа, быстродействию, и чувствительности, а к РКО для обнаружения БВС предъявляются более жесткие требования по динамическому диапазону.

Необходимость осуществления радиоконтроля РЭС элементов БАС

Использование БАС гражданского назначения осуществляется после получения необходимых разрешений. С марта 2024 г. вступает в силу уведомительный порядок применения БАС в сельском хозяйстве. При применении

как разрешительного, так и уведомительного порядков у государственных служб, контролирующих полеты авиации, будет иметься предварительная информация о планируемых полетах гражданских БВС, содержащая данные о районе, высоте, принадлежности БВС к той или иной организации и о содержании выполняемых задач.

При наличии такой предварительной информации радиомониторинг сигналов РЭС БАС гражданского назначения, используемых легитимно, осуществляется с целью подтверждения факта использования БАС и контроля параметров излучений РЭС, указанных в разрешительных документах [7].

Обнаружение в процессе радиомониторинга излучения РЭС ПУ при отсутствии сигналов РЭС БВС будет являться признаком подготовки к началу использования БВС, т.к. ПУ включается еще до того, как будет осуществлен запуск БВС (взлет, набор высоты и выполнение полетного задания БВС).

С учетом возможности использования для управления БВС различных полос радиочастот, средства радиомониторинга должны обеспечивать охват всего частотного диапазона, который используется для радиоканалов телеуправления полетом БВС и полезной нагрузкой (от 20 МГц до 6,5 ГГц). Однако, для сокращения времени обнаружения сигналов РЭС ПУ, целесообразно осуществлять радиомониторинг в разрешенных для использования РЭС БАС полосах радиочастот.

На текущий момент для РЭС БАС гражданского назначения в РФ возможно получение РИЧ в следующих полос радиочастот²:

- 117,975-137 МГц;
- 5030-5091 МГц;
- 5850-6425 МГц.

Кроме того, помимо этих полос радиочастот, ранее в рамках рабочей группы, утвержденной Решением ГКРЧ от 23.12.2022 г. № 22-65-03³ для подготовки предложений по выделению полос радиочастот РЭС для организации радиосвязи БВС и условиям их использования, рассматривалась возможность вынесения на заседание ГКРЧ вопроса о выделении 15 полос радиочастот для БАС в РФ, рассматривались также полосы:

- для организации каналов управления и телеметрии 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;
- использование БАС полос радиочастот 1710-1785 МГц и 1805-1880 МГц РЭС, установленными на БАС в рамках действующих решений ГКРЧ об использовании полос радиочастот для применения РЭС стандарта *LTE* и действующих РИЧ для РЭС стандарта *LTE*;
- для проведения исследований о возможности использования полосы радиочастот 960-1200 МГц для организации командной линии БАС и

²Решение ГКРЧ от 24 апреля 2023 г. № 23-66-01 «Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами для организации связи в беспилотных авиационных системах гражданского назначения». Источник: digital.gov.ru/ru/documents/8969/.

³Решение ГКРЧ от 23 декабря 2022 г. № 22-65-03 «Об использовании полос радиочастот радиоэлектронными средствами для организации связи в беспилотных авиационных системах». Источник: digital.gov.ru/ru/documents/8628/.

полосы радиочастот 5-5,2 ГГц для организации канала полезной нагрузки в БАС.

В связи с этим следует ожидать выделение и других полос радиочастот, которые в настоящее время не предназначены для использования БАС на территории РФ. На текущий момент эти полосы для использования гражданским БАС не распределены, однако вопрос о выделении дополнительных полос радиочастот находится в проработке.

Помимо этих полос, радиомониторинг БАС целесообразно осуществлять и в полосах радиочастот, распределенных устройствам малого радиуса действия в соответствии с Решением ГКРЧ от 07.05.2007 № 07-20-03-001⁴, и неспециализированным (любого назначения) устройствам в соответствии с Решением ГКРЧ от 11.09.2018 года №18-46-03-1⁵ в том числе:

- 26,957-27,283 МГц (на фиксированных частотах 26,995 МГц; 27,045 МГц; 27,095 МГц; 27,145 МГц; 27,195 МГц);
- 28,0-28,2 МГц;
- 40,66-40,7 МГц;
- 433,075-434,79 МГц;
- 864,0-865,0 МГц;
- 866,0-868,0 МГц;
- 868,7-869,2;
- 2400,0-2483,5 МГц;
- 5150-5250 МГц.

Обзор этих полос повышает вероятность обнаружения РЭС БАС, действующих без оформления необходимых разрешительных документов.

Определение местоположения элементов БАС

Определение местоположения РЭС стационарного и мобильного (БВС) элементов БАС обладает рядом особенностей, определяемых параметрами электромагнитных излучений передатчиков и подвижностью (квазистационарностью) элементов БАС в пространстве.

Определение местоположения ПУ

ПУ – квазистационарный элемент БАС – (стационарный, по крайней мере, на период времени одного полета БВС).

Для определения местоположения стационарного (квазистационарного) РЭС может быть использован как триангуляционный, так и разностно-дальномерный способ [8].

Местоположение РЭС при реализации триангуляционного способа местоопределения может быть получено при пересечении минимум двух линий положения (пеленгов). В классической системе для получения двух линий положения (пеленгов) необходимо наличие двух разнесенных в пространстве радиопеленгаторов (РП), разнесенных друг от друга на необходимое расстояние. Расстояния от одного РП до другого (гонимобаза) и координаты размещения РП должны выбираться таким образом, чтобы обеспечивать требуемый размер зоны

⁴ 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). Источник: docs.cntd.ru/ documents/902048009.

⁵ Решение ГКРЧ от 11.09.2018 года № 18-46-03-1 «О выделении полос радиочастот, внесение изменений в решения ГКРЧ и продлении срока действия решений ГКРЧ».

радиопеленгования, в пределах которой угол засечки радиопеленгов должен находиться в интервале от 30 до 150 градусов.

С учетом свойства квазистационарности ПУ БВС и времени продолжительности полета БВС, для определения местоположения РЭС ПУ может быть использован один радиопеленгатор, размещенный на МКРК. МКРК производит пеленгование источника из разных точек по маршруту объезда района предполагаемого местонахождения РЭС ПУ с учетом транспортной доступности. Местоположение РЭС ПУ определяется по совокупности обработки разновременных отсчетов радиопеленгов [9].

Оптимальный вариант состава радиопеленгаторной сети по критерию «стоимость-эффективность» для триангуляционной системы местоопределения может быть обеспечен при совместном использовании в составе радиопеленгаторной сети стационарных и мобильных (на базе МКРК) средств радиопеленгования. Такое решение может обеспечить наилучшую топологию радиопеленгаторной сети, адаптированную к конкретным условиям за счет мобильного элемента. Кроме того, применение МКРК обеспечивает получение информации об изменении уровня сигнала РЭС ПУ при объезде предполагаемого района применения БАС. Информация о направлении (секторе) на источник излучения (РЭС ПУ) может быть получена по направлению вектора возрастания уровня сигнала и использована в качестве дополнительного параметра при определении местоположения РЭС ПУ БАС.

Основной особенностью системы радиопеленгования излучений РЭС ПУ в режиме ППРЧ является применение в радиопеленгаторе алгоритма с быстродействием, позволяющем определить направление (пеленг) на ПУ либо за время излучения одного импульса, либо в режиме многократного накопления результатов записи полосы радиочастот и дальнейшей постобработки фрагмента зарегистрированной записи. Последний вариант более приемлем, т.к. будет обладать более высокой точностью, а с учетом квазистационарности ПУ и возможности перемещения мобильного радиопеленгатора позволит обеспечить определение местоположения ПУ БАС с более высокой точностью. Конкретные значения среднеквадратической погрешности полученного местоположения ПУ можно априорно рассчитать (оценить), исходя из предполагаемого взаимного размещения элементов системы пеленгования и ПУ БАС.

При определении топологии радиопеленгаторной сети (точек размещения элементов системы пеленгования или местоопределения на местности) необходимо учитывать, что максимальная дальность определения местоположения для комбинированной (стационарной и мобильной) системы в реальных условиях не будет превышать дальность радиогоризонта для наименее высоко расположенной радиопеленгаторной антенны.

Определение местоположения БВС

БВС – мобильный элемент БАС (существующие БВС гражданского назначения могут развивать скорость до 100 км/час и более).

Для определения местоположения БВС может быть применен как способ радиопеленгования, так и гиперболический (разностно-дальномерный) способ координатометрии [10-13]. В зарубежной технической литературе этот способ носит название – *TDoA (Time Difference of Arrival)*. Определение местоположения РЭС способом *TDoA* осуществляется на основе измерения времени прихода сигнала в несколько (в реальных системах – не менее 5) приемных пунктов, в которых размещены приемные сенсоры системы обнаружения, и времени прихода сигнала в опорный (основной) пункт сети. Линией положения на плоскости, т.е.

геометрическим местом точек, соответствующих определенной разности времени прихода сигнала в точку размещения одного из приемных сенсоров и приемного сенсора, размещенного в базовой (опорной) точке для этого способа, является гипербола. Охват территории осуществляется размещением приемных сенсоров в стационарных точках в пределах контролируемого географического района. Точность определения местоположения зависит от точности измерения разности времени прихода радиоволны к сенсору опорного пункта и к сенсорам других приемных пунктов.

Основные требования к системе, использующей способ *TDоА*:

- все сенсоры должны работать синхронно (в сети должен использоваться один высокостабильный источник сигналов синхронизации, стабильность источника синхронизации определяет точность местоположения источника излучения);
- система осуществляет одновременный для всех приемных сенсоров (синхронный) обзор (свиппирование) выбранных для контроля полос радиочастот;
- все *I/Q*-данные, полученные в результате обзора полос частот, хранятся в памяти сенсора;
- обнаружение и идентификация сигналов РЭС БАС осуществляется автоматически по признакам, хранящимся в БД;
- *I/Q*-отсчеты, содержащие информацию по обнаруженному и идентифицированному сигналу РЭС БАС, по запросу направляются от всех приемных сенсоров в центральный процессор для расчета местоположения источника радиоизлучения.

Определение местоположения источников радиоизлучений может быть также выполнено и с помощью алгоритмов [14-15].

Варианты комплектов оборудования для реализации разностно-дальномерного способа местоопределения предлагают как отечественные, так и зарубежные фирмы-производители радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Фирма *KEYSIGHT technologies* для реализации разностно-дальномерного способа в области радиомониторинга радиочастотного спектра в диапазоне 20,0 МГц-6,0 ГГц и анализа результатов предлагает сенсоры *N6841A* (с полосой анализа 20 МГц и временем записи (захвата) *I/Q* сигнала в память сенсора – 4,8 сек), широкополосные антенны с круговой диаграммой направленности и программное обеспечение собственной разработки.

Это решение тестировалось в Малайзии в 2016 г. Система местоопределения источника излучения (РЭС БВС) была развернута на территории университета и включала в свой состав четыре приемных сенсора, разнесенных на 900 метров друг от друга в направлении Восток-Запад и на 700 метров в направлении Север-Юг. В ходе эксперимента была достигнута минимальная среднеквадратическая погрешность местоположения БВС 13 метров, а максимальная – 54-57 метров. Синхронизация приемных сенсоров по времени осуществлялась по сигналам от встроенных *GPS* приемников.

Измерение параметров излучений РЭС элементов БАС

В процессе осуществления мероприятий радиоконтроля РЭС БАС возникают вопросы:

- какие параметры РЭС элементов БАС необходимо измерять?
- каким оборудованием измерять?
- какими методиками измерений пользоваться?

- что делать с полученными результатами измерений параметров РЭС?

К классическим параметрам излучения любого РЭС, подлежащим измерениям в процессе осуществления мероприятий радиоконтроля, относятся допустимое отклонение частоты и контрольная ширина полосы частот. Измерение энергетических параметров (мощность передатчика) в процессе радиоконтроля производится только по тракту с подключением измерительного оборудования к соответствующим разъемам РЭС.

Следует также отметить специфику измерений параметров излучений РЭС «по полю» при радиоконтроле [16-17].

При использовании на ПУ в канале управления РЭС режима ППРЧ целесообразно использовать понятие центральной частоты полосы излучения РЭС ПУ, определяемой как $(f_{\max}-f_{\min})/2$, где f_{\max} – максимальная частота, а f_{\min} – минимальная частота настройки импульса сигнала ППРЧ.

При измерении частотных параметров РЭС БВС также целесообразно использование понятия центральной частоты полосы излучения РЭС с учетом того, что ширина полосы частот канала трансляции потокового видео составляет порядка 20 МГц. При этом необходимо учитывать скорость и направление перемещения носителя (эффект Доплера).

Оборудование для измерения параметров излучений должно обеспечивать:

- полосу обзора частотного диапазона, от 20 МГц до 6,5 ГГц.
- полосы одновременного анализа в режиме реального времени, до 100 МГц.
- быстродействие, позволяющее отображать импульсы ППРЧ длительностью до 500 мкс (для полосы анализа 80 МГц *ROI* не хуже 125 мкс, а для полосы анализа 200 МГц – не хуже 10 мкс);
- отображение спектрограммы в режиме растровой развертки, т.н. «водопада».

Наибольшую сложность при радиоконтроле вызывает оценка параметров излучений РЭС в режиме ППРЧ. В настоящее время методики измерений частотных параметров РЭС в режиме ППРЧ для радиочастотной службы не разработаны.

По информации, предоставленной разработчиками РКО, этим требованиям могут удовлетворять анализаторы спектра реального времени и панорамные приемники.

На сегодняшний день отечественные анализаторы спектра реального времени предлагаются несколькими компаниями, в том числе *INWAVE* и Компанией АнТЭМС Групп, специализирующимися на изготовлении и поставке комплексов для испытаний технических средств различного назначения на электромагнитную совместимость (ЭМС) и контрольно-измерительного оборудования.

На данный момент из открытых источников известно, что Компания АнТЭМС Групп выпускает анализаторы спектра реального времени двух типов – *USB* Серии *АСРВ-XX* с диапазоном частот от 9 кГц (фактически работают от 1 Гц с ненормированными характеристиками) до 4/6/8/9/20/22/40 ГГц и сетевые анализаторы серии *АСРВ-XXc* с диапазоном частот от 9 кГц (фактически – от 1 Гц с ненормированными характеристиками) до 4/6/8/9/20/22/40 ГГц.

Размещение оборудования радиомониторинга

Вопрос о размещении оборудования (средств) радиомониторинга и радиопеленгования РЭС элементов БАС играет существенную роль с точки зрения

обеспечения требуемой вероятности обнаружения их излучений. В связи с тем, что использование БАС гражданского назначения может осуществляться как над территориями населенных пунктов, так и вне населенных пунктов, для размещения средств радиомониторинга РЭС БАС целесообразно использовать как стационарные средства, т.е. средства, размещенные на радиоконтрольных пунктах (РКП), включая необслуживаемые, так и средства радиоконтроля на мобильных комплексах радиоконтроля. Размещение средств радиомониторинга на РКП обеспечивает установку мониторинговых антенн на крыше зданий, т.е. на максимально возможной высоте, что определяется выбором наиболее высоких зданий (строений) для этих целей.

Для мобильного РКО максимальная высота размещения мониторинговых антенн может быть обеспечена установкой их на выдвинутой 10-ти метровой мачте, входящей в состав штатного оборудования МКРК.

Размещение мониторинговых антенн на максимально возможной высоте способствует обеспечению максимальной дальности обнаружения излучений РЭС элементов БАС.

Заключение

Рост числа БАС гражданского назначения и их применения в гражданской сфере придает особую значимость вопросам радиоконтроля излучений РЭС элементов беспилотных авиационных систем гражданского назначения.

Отечественная и зарубежная радиопромышленность выпускает различные системы радиомониторинга БАС, отличающиеся способами контроля, составом сенсоров, метрологическими характеристиками. Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и недостатки, определяемые количеством и стоимостью радиоконтрольного оборудования.

Выбор той или иной системы для радиоконтроля РЭС элементов БАС должен определяться конкретными задачами и требованиями действующих нормативных документов к результатам радиоконтроля БАС.

Одной из ближайших задач для радиочастотной службы является разработка методических документов (методик измерений при радиоконтроле) для осуществления мероприятий по контролю излучений РЭС элементов БАС гражданского назначения на предмет обеспечения их легитимного использования и соблюдения требований по электромагнитной совместимости с другими РЭС, действующими на законных основаниях на территории Российской Федерации.

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

Литература

1. Растопчин В.В. Напасть XXI века: стороны одной «медали» // Авиапанорама, 2018. – № 4. – С. 12-17.
2. Моисеев В.С. Беспилотные летательные аппараты: Отечественная история создания и современная классификация. Препринт. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2022. – 40 с. (Серия «Современная беспилотная вертолетная техника»).
3. Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруца И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния // Таганрог: Известия ЮФУ. Технические науки, 2015. – С. 147-158.

4. 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). [Электронный ресурс]. 20.09.2023. – URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2486-2021-PDF-R.pdf (дата обращения - 10.10.2023).
5. Беспилотные летающие аппараты. Справочное пособие. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2015. – 616 с.
6. Антипин Б.М., Виноградов Е.М. Анализ требований к оборудованию радиоконтроля при мониторинге радиочастотного спектра для оценки электромагнитной совместимости // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции, 2016. – С. 95-100.
7. Antipin B.M., Vinogradov E.M., Grossman A.O., Tumanova E.I. The Spectrum Monitoring Station Operation Analysis to Eliminate Interference from Radio Communications // В сборнике: Proceeding s of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2019. – С. 15-18.
8. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Павлов В.Н., Портнаго Л.Б. Дальномерно-разностно-дальномерный способ определения координат местоположения источников радиоизлучений и реализующее его устройство. Патент на изобретение № 2510038. Заявка № 2011134103. Приоритет изобретения 12 августа 2011.
9. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Портнаго Л.Б. Мультипликативный разностно-относительный способ стационарно-мобильного определения координат местоположения источника радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2558638 20.08.2013.
10. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Портнаго Л.Б. Разностно-энергетический способ определения координат местоположения источников радиоизлучений Патент на изобретение № 2505835. Заявка №2012115382. Приоритет изобретения 17 апреля 2012.
11. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Портнаго Л.Б. Мультипликативный разностно-относительный способ определения координат местоположения источника импульсного радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2558640 20.08.2013.
12. Логинов Ю.И., Екимов О.Б., Антипин Б.М., Гриценко А.А., Павлов В.Н., Стенюков Н.С. Дихотомический мультипликативный разностно-относительный способ определения координат местоположения источника импульсного радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2562613 20.08.2013.
13. Логинов Ю.И., Портнаго Л.Б., Антипин Б.М. Однопозиционный энергетический дальномерно-угломерный способ определения координат местоположения источников радиоизлучения. Патент на изобретение RUS 2653506. Заявка: 2017110446 от 28.03.2017.
14. Spirin A.D., Antipin B.M. Non-conventional algorithm of radio transmission sources position location // В сборнике: Proceeding s of the 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2017. – С. 565-568.
15. Александров И.В., Антипин Б.М., Спиринов 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.

16. Антипин Б.М., Виноградов Е.М., Грачев В.О. Оценка параметров излучений передатчиков при радиоконтроле с помощью асимптотических алгоритмов 74-я Всероссийская НТК, посвященная дню радио, 22-26 апреля 2019. Сборник докладов, СПб, 2019. – С. 220-221.

17. Антипин Б.М., Грачев В.О., Мартиросова Н.Р. Планирование мероприятий радиоконтроля на основе риск-ориентированного подхода // В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018) VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4 т. Под. ред. С.В. Бачевского; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2018. – Т. 3. – С. 24-27.