

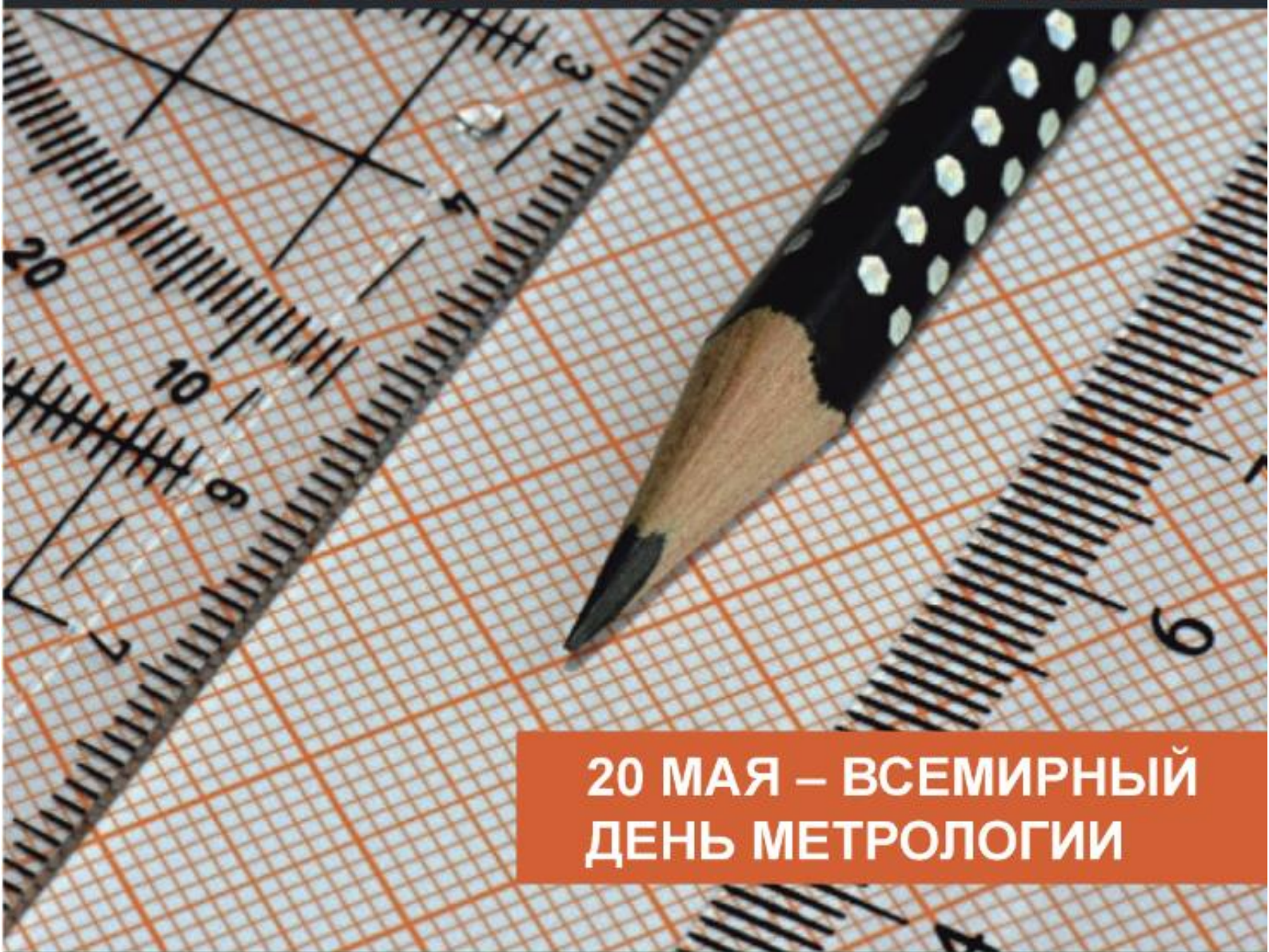
ВЕСТНИК МЕТРОЛОГА

ISSN 2413-1806

№2

2020

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



20 МАЯ – ВСЕМИРНЫЙ
ДЕНЬ МЕТРОЛОГИИ

ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ

ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ МАТЕРИАЛОВ
КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ

ВЫСТАВКИ, КОНФЕРЕНЦИИ В III КВАРТАЛЕ 2020 ГОДА
ИНФОРМАЦИЯ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ БПЛА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ В МЕСТАХ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПО ЦЕЛЕВОМУ НАЗНАЧЕНИЮ**

**ABOUT USE OF SMALL-SIZED UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE SOLUTION OF TASKS
OF RADIO ENGINEERING MEASUREMENTS AND RADIO MONITORING OF PARAMETERS
OF RADIO-ELECTRONIC MEANS IN PLACES OF THEIR APPLICATION ON PURPOSE**

Руденкова Е. Г., к.т.н., доцент, ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России,

Буслов Д.С., к.т.н., НПФ «Радиян-М»

Rudenkova E.G., c.t.s., FSBI «MSMC» Ministry of Defense of Russia,

Buslov D.S., c.t.s., LLC NPF «Radian-M»

Rudenkova E.G., e-mail: 1654007@yandex.ru, tel. 8(985)923-70-72;

Buslov D.S., e-mail: dmitry.aist@gmail.com, tel. 8(903)858-29-62

В статье рассматриваются вопросы конструирования и практического использования малогабаритных БПЛА для решения задач радиотехнических измерений и радиоконтроля. Представлены варианты построения рациональных полетных планов, проведения измерений и представления конечных результатов для случая практических задач использования БПЛА для измерений диаграмм направленности антенн в местах их применения по целевому назначению. Рассмотрены вопросы безопасности использования измерительных комплексов на базе БПЛА.

The article is devoted to the design and practical use of small-sized unmanned aerial vehicles for radio measurements and radio monitoring tasks. Special attention is paid to the safety of the use of measuring systems based on small-sized unmanned aerial vehicles. Examples of construction of rational flight plans, measurements and presentation of the final results for the case of practical problems of using UAVs for measurements of antenna directional pattern in places of their application for the intended purpose are presented.

Ключевые слова: Беспилотный летательный аппарат, полезная нагрузка, план полета, радиоизмерительный комплекс, диаграмма направленности антенны.

Keyword: Unmanned aerial vehicle, payload, flight plan, radio measuring complex, antenna directional pattern.

К современным тенденциям технологического развития относится использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных областях и видах деятельности, включая конструирование и использование специализированных средств и комплексов радиотехнических измерений и радиоконтроля [1].

В этой связи следует выделить применение малоразмерных БПЛА, эффективность которых во многом определяется относительной простотой разработки и невысокой стоимостью эксплуатации. При этом определенные преимущества имеют БПЛА вертолетного (мультикоптерного) типа с электрической силовой установкой. Характеристики малоразмерных

БПЛА вертолетного типа с электрической силовой установкой по грузоподъемности, времени автономного полета, надёжности и условиям эксплуатации являются достаточными для построения на их базе недорогих радиоизмерительных комплексов.

Радиоизмерительные комплексы на основе малогабаритных БПЛА позволяют решать задачи контроля параметров состояния и режимов использования радиопередатчиков, контроля состояния занятости и загруженности радиочастотного спектра, контроля электромагнитной и помеховой обстановки в заданных полосах частот. Использование малогабаритных БПЛА в отношении систем теле- и радиовещания, систем связи и передачи данных обеспечивает определение зон и оценку качества покрытия территории соответствующими сигналами, особенно вблизи заявленных границ зон покрытия радиопередающих устройств. В отношении спутниковых навигационных систем возможно решение задач оценки электромагнитной и помеховой обстановки в полосах частот Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), что позволяет оценивать и прогнозировать доступность радионавигационного поля в районе применения навигационной аппаратуры потребителей услуг ГНСС. В отношении экологических проблем возможно решение задач исследования состояния электромагнитной экологии в зонах проживания людей вблизи передающих радиосистем.

Указанные выше в т.ч. социально важные задачи могут эффективно решаться при помощи относительно недорогих малогабаритных радиоизмерительных систем на базе БПЛА. Опыт разработки и практического использования радиоизмерительных комплексов на базе малогабаритных БПЛА вертолетного типа показал высокие показатели эффективности их применения по целевому назначению.

При построении радиоизмерительного комплекса на базе БПЛА первоначально необходимо осуществление выбора типа БПЛА для размещения требуемого измерительного оборудования. Основные технические характеристики БПЛА, определяющие его выбор включают грузоподъемность, время автономного полёта, скорость полёта, максимальную высоту и дальность полёта, возможность автономного исполнения полётной программы, параметры точности исполнения полётной программы.

Составляющий полезную нагрузку и размещаемый на борту БПЛА комплект радиоизмерительного и вспомогательного оборудования определяется с учетом состава и частотного диапазона решаемых задач радиотехнических измерений и радиоконтроля.

К важным практически значимым задачам радиоизмерительных комплексов на базе БПЛА относятся задачи измерения диаграмм направленности антенн (ДН) в том числе крупноапертурных, в местах их фактической эксплуатации, в сложных условиях городской застройки или гористой местности. Для измерения ДН приемных антенн на борту БПЛА размещается передатчик и передающая антенна на стабилизированном подвесе. При этом измерения производятся на земле (на выходе приемной антенны). Для измерения ДН

передающих антенн требуется размещение на борту БПЛА оборудования, обеспечивающего запись уровня сигнала в процессе проведения измерений. Для универсального (приемопередающего) варианта исполнения комплекса на борту размещаются приемопередатчик, ЭВМ, средства связи и управления по независимому радиоканалу (напрямую, через сотовую или спутниковую сеть связи) и приемник навигационных сигналов. Бортовое оборудование монтируется в гермоконтейнере на борту БПЛА и подключается к бортовой системе электропитания.

Вариант компоновки комплекса, использующегося для измерения ДН приемных параболических антенн в дальней зоне на базе БПЛА Matrice 210 RTK с комплектом измерительного и вспомогательного оборудования в бортовом гермоконтейнере имеет следующий вид.



Рисунок 1 - Радиоизмерительный комплекс на базе БПЛА Matrice 210 RTK

Наряду с полезной нагрузкой БПЛА в состав оборудования комплекса входит также оборудование наземного пункта управления полетом и, при необходимости, оборудование наземного измерительного пункта (например, для проведения измерений характеристик приемных антенн).

Пункт управления полетом включает ЭВМ с комплектом специального программного обеспечения (СПО), пульт управления БПЛА с использованием планшетного компьютера, источник электропитания, станцию зарядки аккумуляторов БПЛА.

В состав наземного измерительного пункта входит радиоизмерительное оборудование, включающее анализатор спектра или измерительный приемник, ЭВМ для сбора данных и (при необходимости) источник высокоточной временной привязки.

СПО комплекса устанавливается и функционирует одновременно на борту БПЛА, на пункте управления полётом и на измерительном пункте. При этом обеспечивается синхронизация работы модулей СПО с точностью до миллисекунд.

На пункте управления полетами устанавливается СПО формирования полетных планов, СПО построения 3D-моделей местности, СПО управления полетом БПЛА, СПО сервера контроля полетов.

На борту БПЛА устанавливается СПО проведения радиоизмерений и СПО сбора данных с навигационного приемника.

На наземном измерительном пункте устанавливается СПО записи сигналов на наземную ПЭВМ и СПО обработки данных результатов первичных радиоизмерений.

СПО подготовки полётных планов и СПО управления полетом БПЛА являются критическими компонентами обеспечения безопасности полётов [2]. Использование СПО подготовки полётных планов наиболее значимо при предполетной подготовке в случаях, когда измерения должны производиться в сложных условиях, в условиях городской застройки или в гористой местности.

На этапе предполетной подготовки формируются планы полетов и производится их оценка с точки зрения безопасности, для чего используется СПО сервера контроля полетов, позволяющее производить оценку безопасности полетов в различных условиях. Сервер обеспечивает хранение данных о рельефе местности, данные непосредственной трехмерной съемки отдельных её участков и позволяет оценивать безопасность предлагаемых полетных траекторий с учетом многих влияющих факторов, включая: полетные характеристики БПЛА, погодные условия, электромагнитную обстановку и качество радионавигационного поля в пределах городской застройки с учетом «затенения» траектории полета БПЛА строениями и особенностями рельефа.

При эксплуатации БПЛА в городской или гористой местности первоначально производится предварительная трехмерная съемка участка местности произведения полетов. Такая съемка может осуществляется теми же БПЛА, что используются для радиоизмерений. Для этого достаточно установки на стабилизированном подвесе фотокамеры вместо антенной системы. Построение трехмерной модели местности производится фотограмметрическими методами.

Технологичность использования радиоизмерительных комплексов на базе малогабаритных БПЛА вертолетного типа для заданного варианта исполнения для случая решения задач измерений ДН антенн характеризуют экранные формы, представляющие

планирование, промежуточные и конечные результаты его применения по целевому назначению.

Пример варианта полетного плана для съемки ДНА в горизонтальной плоскости представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 - Пример плана первичного полета

При наличии данных 3D-съемки местности траектория планируемого полета отображается совместно с 3D-моделью для проверки безопасности полёта. Дополнительно может осуществляться эмуляция полёта с оценкой его безопасности в рамках задаваемого «коридора безопасности», позволяющего учесть снос БПЛА ветром, флуктуации навигационного поля и погрешности полётного контроллера.

После формирования полётной траектории она сохраняется в файл для дальнейшего использования в СПО управления полётом.

Пример результатов расчета трехмерной модели местности и валидации подготовленного полетного плана для случая съемки диаграммы направленности приемо-передающей антенны в горизонтальной плоскости приведен на рисунке 3.

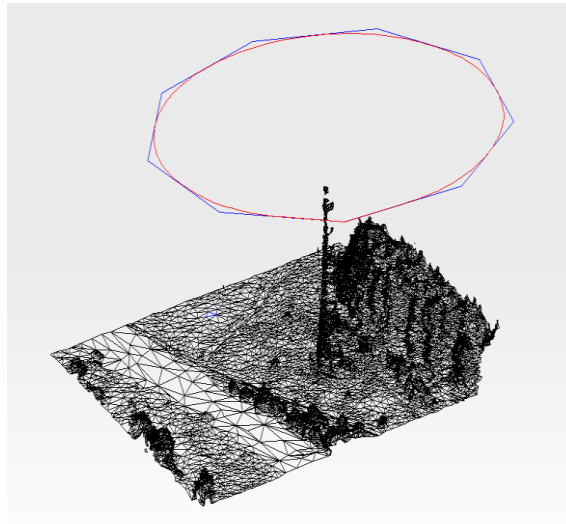


Рисунок 3 – Проверка безопасности полетной траектории с использованием рассчитанной 3D-модели местности

Визуализация сформированного полетного задания представлена на рисунке 4.

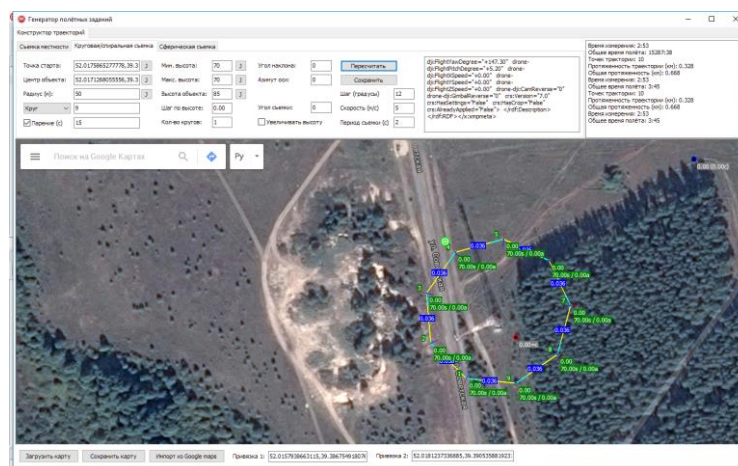


Рисунок 4 – Расширенная информация полетного плана

Полная траектория для измерений диаграммы направленности, оптимальная с точки зрения минимизации погрешности измерений в рамках однократного исполнения полетной программы представлена на рисунке 5.

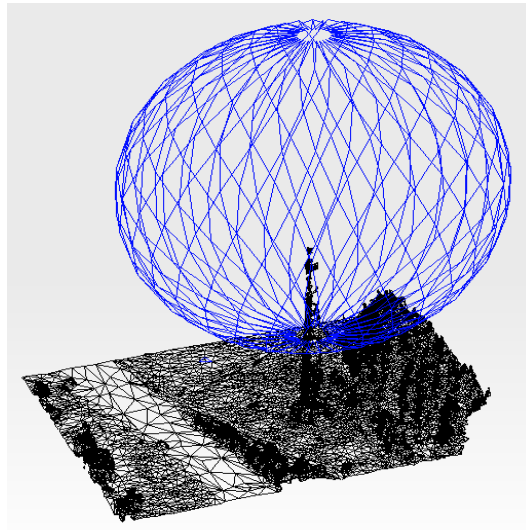


Рисунок 5 - Полная траектория для измерений ДН обеспечивающая наибольшую разрешающую способность и исключающая пересечение с объектом съемки

Визуализация реализации полетного плана и результатов измерений ДН антенны GSM-передатчика в горизонтальной плоскости (энергетика мгновенная, измерения в процессе эксплуатации) представлены на рисунке 6.

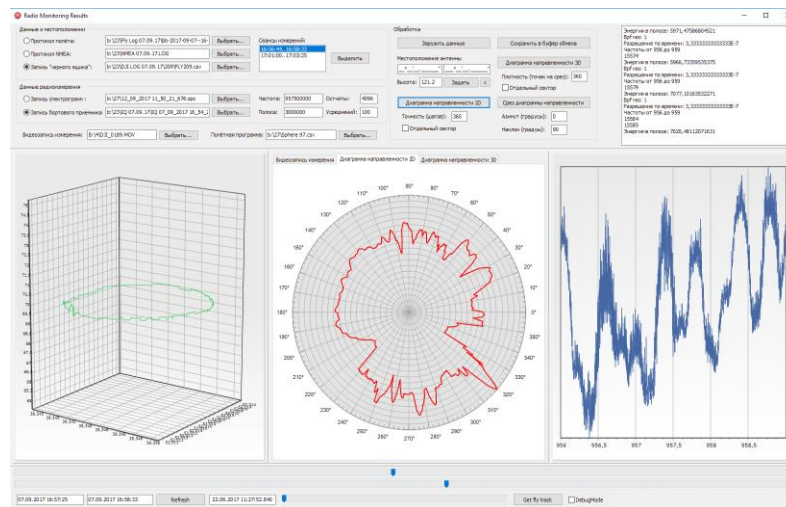


Рисунок 6 - Результаты измерений ДН антенны GSM-передатчика в горизонтальной плоскости

Параметры реализации полетного плана и условия получения результатов измерений ДН антенны GSM-передатчика рис.6 следующие.

Время проведения измерения (час, мин., сек.):

- полётное время: 16:56:44 – 17:01:12;
- время исполнения полётной программы: 16:56:44 – 16:58:33;
- время измерений: 16:57:24 – 16:58:33.

Параметры измерительной траектории:

- Маршрут: круговой;
- высота 70 метров;
- количество кругов: 1.

Диапазон частот записи спектрограммы сигнала: 956–959 МГц.

Диапазон частот построения ДН: 957,2–957,6 МГц.

Угловое разрешение построения ДН: 1 градус.

Временные затраты на обработку данных первичных измерений и построение ДН с использованием СПО не превышают одной минуты.

Важной эффективной сферой применения радиоизмерительных комплексов на базе БПЛА является поиск источников помех распространению и приему радиосигналов.

При наличии помех работе радиотрактов космических аппаратов (КА) поиск источника помех осуществляется методами геопеленгации. В первую очередь это относится к КА-ретрансляторам на геостационарной орбите (ГСО). Однако существующие методы геопеленгации не позволяют произвести точное определение местоположения источника помехи или незаконно действующего передатчика, но они позволяют сократить область поиска до нескольких десятков квадратных километров. Далее данная область может быть эффективно «просканирована» при помощи БПЛА [2].

Так как результатом действующих технологий геопеленгации является вытянутый эллипс на поверхности Земли, то наиболее удобной является траектория сканирования вытянутая вдоль его большей оси. Соответственно, для сканирования/измерений в зависимости от размеров эллипса локализации местоположения источника помехи могут применяться как единичные комплексы, так и комплексы на базе БПЛА, включающие несколько аппаратов, работающие как одна распределенная измерительная система.

Радиоизмерительные комплексы на базе БПЛА в ряде случаев позволяют решать задачи радиотехнических измерений и радиоконтроля в сложных условиях применения, оперативно и с минимальными затратами. Возможно эффективное решение задач мониторинга состояния электромагнитного поля, оценки фактического покрытия территории сигналами эфирных и сотовых передатчиков, исследования электромагнитной совместимости больших комплексов приемо-передающего оборудования, исследования состояния электромагнитной экологии в зонах проживания людей вблизи передающих систем и множество других практических задач.

В зависимости от поставленных задач могут использоваться различные виды взлетно-подъемных платформ, различное бортовое и наземное оборудование, обеспечивающие оптимизацию как эксплуатационных, так и экономических характеристик. Опыт разработки

радиоизмерительных комплексов на базе БПЛА и опыт разработки необходимого соответствующего специального программного обеспечения позволяет оперативно адаптировать радиоизмерительные комплексы под различные радиоконтрольные и радиоизмерительные задачи.

Литература

1. Сборник статей и докладов научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами», г. Коломна, 2016, 274с.
2. Разиньков С.Н., Богословский А.В. Оптимизация маршрутов полета беспилотных летательных аппаратов при местоопределении источника радиоизлучения по оценкам угловых координат с их бортов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2015. – Т. 18. – № 4. – С. 61-66.