

УДК 623.62

DOI: 10.52531/1682-1696-2024-24-3-66-71

Научная статья

EDN: IOZBEJ

РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОГО КОМПЛЕКСА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ БАЗОВО-КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

И.А. Кустков, А.О. Тектинов,
Э.В. Волков, Д.Ю. Ломакина

АО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. АКАДЕМИКА А.И. БЕРГА»

В статье представлены результаты разработки воздушного комплекса радиотехнической разведки, реализующего разностно-дальномерный метод определения координат радиоизлучающих целей с базово-корреляционной обработкой. Приведено обоснование выбора метода определения координат. Описаны примененные технические решения, которые позволили уменьшить среднеквадратическую ошибку определения координат и обеспечили возможность размещения комплекса на беспилотном летательном аппарате.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: беспилотный летательный аппарат, источник радиоизлучения, передача координатной информации, разностнодальномерный способ определения координат

Original article

DEVELOPMENT OF AN AERIAL COMPLEX FOR DETERMINING THE COORDINATES OF GROUND-BASED RADIO SOURCES BY THE BASIC CORRELATION METHOD

I.A. KUSTKOV, A.O. TEKTIKOV,
E.V. VOLKOV, D.YU. LOMAKINA
CENTRAL RESEARCH RADIO ENGINEERING
INSTITUTE NAMED AFTER ACADEMICIAN
A.I. BERG

The article presents the results of the development of an airborne radio intelligence complex that implements a difference-rangefinder method for determining the coordinates of radio-emitting targets with basic correlation processing. The justification of the choice of the coordinate determination method is given. The applied technical solutions are described, which made it possible to reduce the RMS error of determining coordinates, and provided the possibility of mixing the complex on an unmanned aerial vehicle.

KEYWORDS: unmanned aerial vehicle, radio source, coordinate-data transmission, coordinate transformation, the difference-dimensional method of determining coordinates

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в условиях ведения организованного противодействия, определяющим фактором успеха проводимых операций является уменьшение времени на принятие решения. В связи с этим необходимо обеспечить высокую точность получаемой информации, а также скрытность ее получения. Системы пассивного радиотехнического мониторинга позволяют обеспечить получение информации об источниках радиоизлучения (ИРИ) без демаскировки собственной работы, кроме того, современные технологии позволяют обеспечить тактико-технические характери-

стики (ГТХ), достаточные для обеспечения точности получаемой информации, позволяющей осуществлять целеуказание исполнительным системам.

Из существующих методов определения координат [1, 4, 8–11] источников ИРИ наиболее перспективным с точки зрения обеспечения требуемой точности является разностно-дальномерный метод, основанный на измерении разности хода сигналов до приемных позиций (рис. 1).

Для нахождения координат ИРИ необходимо иметь три разнесенные в пространстве точки наблюдения (приема): A_1 , A_2 , A_3 , принадлежащие различным базам A_1A_2 и A_2A_3 . Местоположение источника определяется как точка пересечения трех гиперболоидов вращения, образованных сечениями фронта радиоволн, исходящих от ИРИ. Фокусы гипербол совпадают с точками наблюдения. Разности расстояний

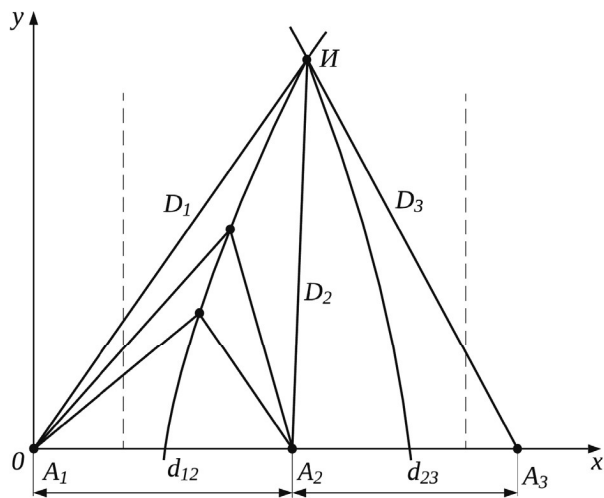


РИС. 1.

Разностно-дальномерный способ определения местоположения ИРИ

$d_{12} = D^1 - D^2$ и $d^{23} = D^2 - D^1$ являются параметрами гипербол, по которым осуществляется их построение. Пространственное положение ИРИ определяется по трем разностям дальностей, измеряемым в трех приемных пунктах. Точность определения местоположения ИРИ данным методом достаточно высока, ошибки составляют единицы метров.

Таким образом, целью работы является разработка предложений по проектированию комплекса обнаружения и определения координат наземных ИРИ в интересах выдачи целеуказания исполнительным системам.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Оценка ТТХ предлагаемого комплекса.
2. Выбор носителя полезной нагрузки.
3. Миниатюризация предлагаемых технических решений в интересах размещения на беспилотном летательном аппарате (БПЛА).
4. Повышение качества калибровки приемных постов в интересах уменьшения инструментальной погрешности определения координат ИРИ.
5. Обеспечение связи между приемными постами на дальностях не менее 10 км.

КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ БАЗОВО-КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Предлагаемый комплекс состоит из трех приемных постов и опорного наземного навигационного пункта, осуществляющего обработку информации и управление всем комплексом.

На основе ряда работ [2, 3, 5–9] был проведен анализ, позволивший определить требования к тактико-

техническим характеристикам предлагаемого комплекса.

Основные тактико-технические характеристики комплекса:

1. Метод определения координат: разностно-дальномерный с корреляционно-базовой обработкой.
2. Диапазон рабочих частот: от L до X.
3. Дальность обнаружения и определения координат ИРИ: не менее 50 км при условии прямой видимости.
4. Погрешность определения координат ИРИ: не более 50 м.
5. В комплексе должна быть предусмотрена возможность формирования дескрипторов сигналов (формуляры с информацией о типе, параметрах, виде внутриимпульсной модуляции, амплитуде облучающего сигнала и т.д.).
6. Чувствительность: не более минус 90 дБВт.
7. Мгновенная полоса анализа по частоте: не менее 0,5 ГГц.
8. Погрешность измерения частоты: не более 10 МГц.
9. Погрешность измерения длительности импульса: не более 50 нс.
10. Погрешность измерения периода повторения импульсов: не более 100 нс.
11. Разрешение ИРИ с разносом частот: не менее 50 МГц.

Для достижения указанных ТТХ приемные посты комплекса необходимо размещать на воздушном носителе. С точки зрения уменьшения стоимости предлагаемого комплекса, наиболее целесообразным воздушным носителем является БПЛА.

В качестве примера предложена беспилотная авиационная система автоматического транспортирования (БАС-АТ) «Горыныч», представленная на рис. 2.

Данный БПЛА обеспечивает грузоподъемность до 12 кг, имеет гибридную систему, которая способна обеспечить время полета не менее 3,5 часов.

БПЛА «Горыныч» устойчив к следующим климатическим условиям:

- способен работать при температуре от -20° до $+55^\circ$ С;
- имеет защиту от дождя и снега.



РИС. 2.

БАС-АТ «Горыныч»

Основным преимуществом БПЛА «Горыныч» является возможность зависания в воздухе над одной точкой на поверхности Земли.

Для обеспечения оптимального размещения приемных пунктов на БПЛА и увеличения времени непрерывной работы комплекса была проведена модернизация приемных постов в интересах уменьшения массы и габаритов.

Известен блок приема и обработки сигналов (БПОС), который является двухканальным устройством, предназначенным для цифровой обработки сигналов с использованием цифровой радиочастотной памяти (ЦРЧП). Блок записывает в память параметры входных сигналов, постоянно их обновляя. При получении информации об очередности обслуживания входных сигналов по степени их опасности, блок определяет координаты ИРИ всех или только выбранных сигналов.

БПОС обеспечивает:

- регистрацию всех принимаемых сигналов и ответных действий изделия для последующего анализа;
- выполнение встроенного контроля при включении питания и периодически в ходе нормальной работы без нарушения функционирования системы и по инициативе оператора с регистрацией подробностей статуса системы;
- восстановление работоспособности после сбоев питания, продолжение регистрации данных, в том числе и самого факта сбоя;
- взаимодействие с системами комплекса с использованием каналов обмена MIL-STD-1553B, Arinc-429 и отдельных линий управления.

БПОС построен по модульному принципу компоновки. Каждый модуль, входящий в блок, решает отдельную функциональную задачу, которая вписывается в алгоритм функционирования всего блока и позволяет ему обеспечивать все необходимые параметры работы. Блок конструктивно представляет каркас с жестко закрепленной на нем объединительной платой, на которой расположены СВЧ- и НЧ-соединители, обеспечивающие связи с другими блоками изделия, а также связи между модулями, входящими в состав блока. Все модули блока устанавливаются на объединительной плате и жестко закрепляются специальными клиновидными зажимами к каркасу блока.

Функциональная схема БПОС приведена на рисунке 3. Недостатком БПОС является его масса – 25 кг, которая не позволяет разместить его на БПЛА. Поэтому в интересах размещения полезной нагрузки на БПЛА проведена модернизация БПОС, которая заключается в замене корпуса и замене модулей 305, 306, 307 (рис. 3) на новый разработанный модуль управления без ухудшения ТТХ предлагаемого комплекса. Модуль управления разработан в габаритах модуля 306, что позволило добиться унификации и взаимозаменяемости.

И.А. КУСТКОВ, А.О. ТЕКТИНОВ,
Э.В. ВОЛКОВ, Д.Ю. ЛОМАКИНА
РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОГО КОМПЛЕКСА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ
ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ БАЗОВО-
КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Внешний вид платы модуля управления приведен на рис. 4.

Использование корпуса меньших размеров и более мощных усилителей требует использования качественной системы охлаждения. Поэтому была разработана новая система охлаждения, которая в 3 раза эффективнее прежней.

На рис. 5 приведены результаты теплового расчета старой и новой систем охлаждения. Из рис. 5 следует, что температуры при использовании старой системы охлаждения достигали 110° С, при этом использование новой системы охлаждения уменьшило температуру до 35° С.

Проведенная модернизация БПОС позволила снизить массу приемного поста до 12 кг, что позволило разместить его на БПЛА.

Для достижения требований по точности определения координат ИРИ необходимо обеспечить качественную калибровку СВЧ-трактов приемных постов, которая заключается в излучении калибровочного сигнала с ОНПП на все приемные посты и приеме ответного сигнала на ОНПП. Время, за которое осуществляется передача и прием калибровочного сигнала, учитывается при расчете координат и, как следствие, чем точнее проведена калибровка приемных постов, тем точнее будут рассчитаны координаты ИРИ.

Высокие требования к калибровке приемных постов могут быть обеспечены за счет применения специальных калибровочных антенн, разработка которых

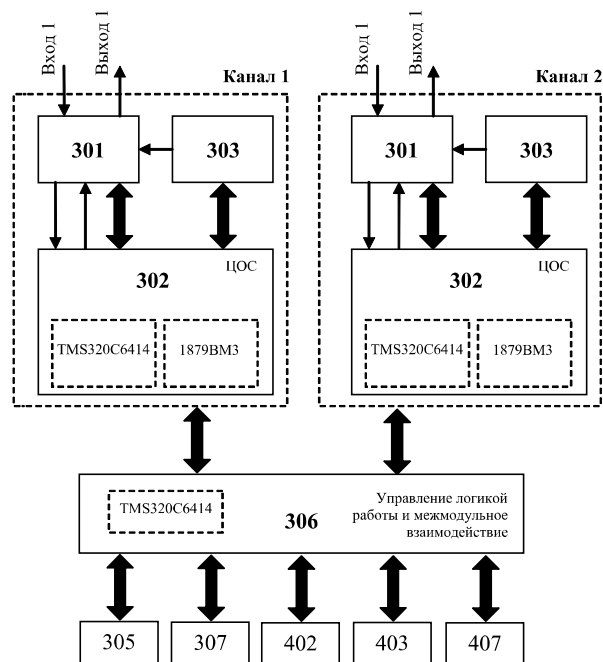


РИС. 3.
Функциональная схема БПОС

проведена в интересах проектирования предлагаемого комплекса.

Новые калибровочные антенны «НАТА-3», которые показаны на рис. 6, работают в широкой полосе частот с коэффициентом перекрытия не менее 1,5. Антенны имеют два исполнения изготовления: с отражателем и без. Антенна без отражателя во всем диапазоне частот имеет широкую диаграмму в азимутальной плоскости, более 90° , и узкую по углу места, что позволяет производить калибровку трех постов с большим разномом друг от друга. Коэффициент усиления (КУ) в максимуме составляет не менее 10 дБ. Антенна с отражателем имеет более узкую диаграмму направленности в азимутальной плоскости, не более 40° , что удобно при размещении на poste с доворотом в сторону ОНПП. КУ в максимуме составляет не менее 13 дБ. Использование данных антенн с высоким КУ позволяет производить калибровку постов с большим разномом друг от друга.

Результаты моделирования, приведенные на рис. 7, показали, что повышение качества калибровки за счет новых антенн уменьшило инструментальную погрешность определения координат ИРИ.

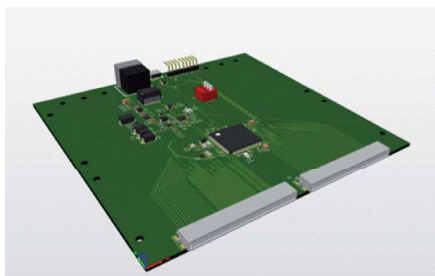


РИС. 4.
Плата модуля управления

На рис. 7А показан случай размещения постов комплекса на расстоянии друг от друга 15 км, ИРИ находится на удалении 30 км по оси Y и 5 км по оси X от приемных постов.

На рис. 7Б показана ошибка определения положения ИРИ от истинного положения. Среднеквадратическая ошибка определения цели по оси X составляет порядка 3,6 м, по оси Y – 13,6 м. Данные результаты превосходят результаты натурного эксперимента, проведенного без указанных доработок, в 5–8 раз.

В условиях выполнения боевых задач немаловажной составляющей в работе комплекса пассивного радиотехнического мониторинга является обеспечение связи между приемными постами комплекса и пунктом управления ОНПП.

Проведенные доработки позволяют обеспечить расстояния между приемным постом и ОНПП от 10 до 15 км, что, в свою очередь, диктует требования к системе связи.

Система связи должна обеспечивать не только требуемую дальность работы, но и работы в условиях естественных и искусственных помех.

В комплексах подобного класса широко применяется радиомодем спектр 9600 гм, который осуществляет связь на частоте около 400 МГц, что существенно сказывается на габаритных размерах антенной системы указанного радиомодема (рис. 8А).

На рис. 8 приведен внешний вид и габаритные размеры антенны, работающей по технологии Wi-Fi.

Таким образом, для обеспечения указанных требований предлагается использовать технологию Wi-Fi, которая позволяет создать наращиваемую сеть приемных пунктов, а также отказаться от дополнительных внешних устройств и громоздких кабелей, что, в свою очередь, положительно сказывается на миниатюризации (в 4 раза) и стабильности работы приемных постов.

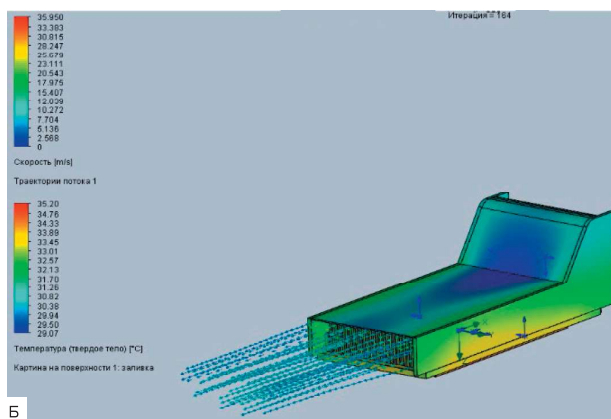
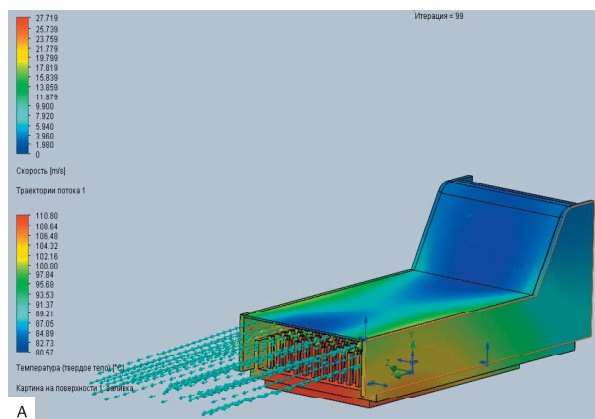


РИС. 5.
Результаты теплового расчета. А – старая система охлаждения, Б – новая система охлаждения

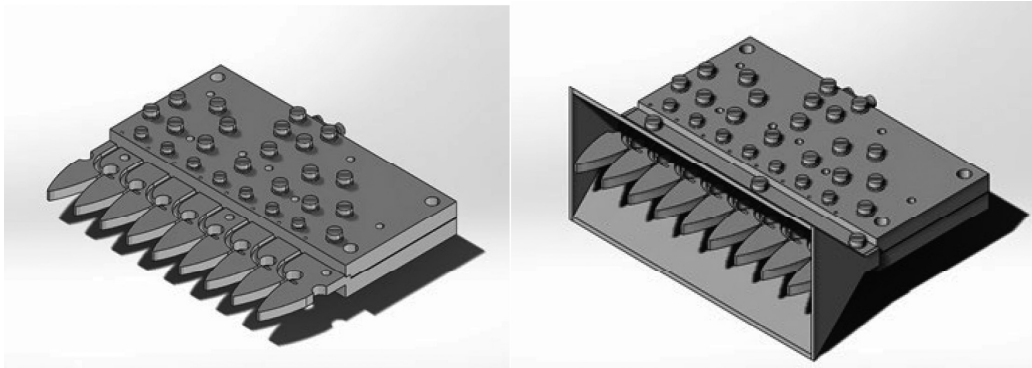


РИС. 6.
Антенна «НАТА-3»

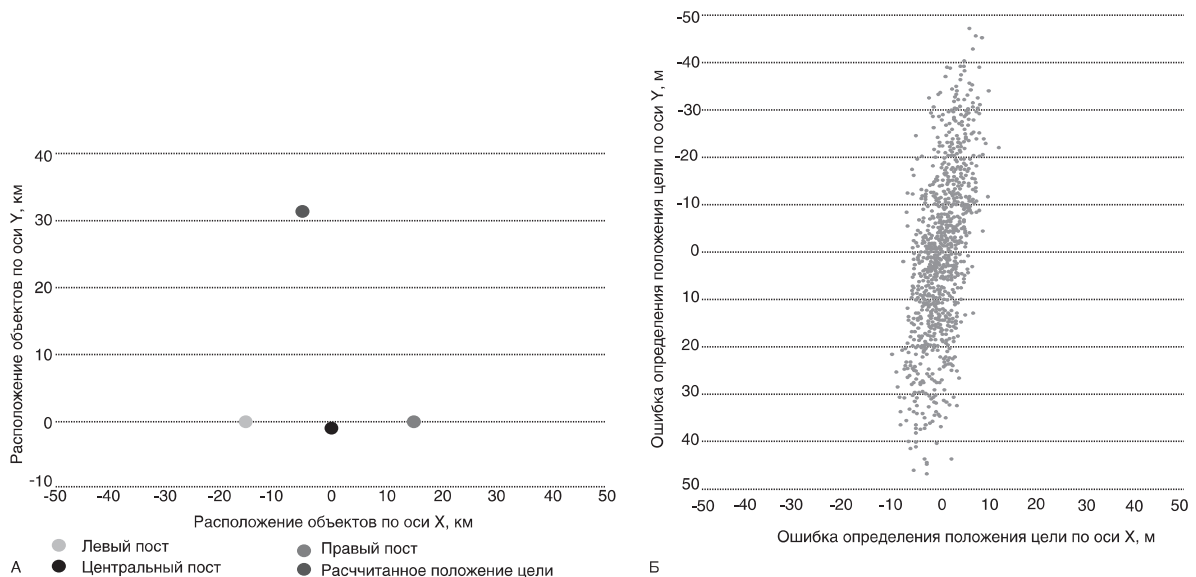


РИС. 7.
Результаты моделирования. А – схема размещения приемных постов и ИРИ, Б – ошибка определения положения ИРИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках представленных материалов предложен беспилотный авиационный комплекс, реализующий разностно-дальномерный метод определения координат ИРИ с базово-корреляционной обработкой. Структура предлагаемого комплекса отработана в издании, прошедшем испытания в 2023 г. В то же время доработки, описанные в настоящих материалах, позволили повысить ТТХ предлагаемого комплекса, а также разместить приемные посты комплекса на БПЛА, что, в свою очередь, повысило мобильность и скрытность работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радионавигационные системы: учебник. М.: Изд-во «Радиотехника», 2005. 224 с.
2. Ворошилин Е.П., Миронов М.В., Громов В.А. Определение координат источников радиоизлучения / Доклады ТУСУРа. 2005. Ч. 2. №1. С. 2–6.
3. Лощин И.В., Архипенков Д.В. Методы определения пространственных координат постановщиков активных помех в базово-корреляционных системах пассивной локации / Мат-лы 56-я Юбилейной науч. конф. аспирантов, магистров и студентов БГУИР. 2020. С. 180–181.
4. Мельников Ю.П., Попов С.В. Радиотехническая разведка. М.: «Радиотехника», 2008. 432 с.
5. Наумов А.С. Разностно-дальномерный способ определения координат источника радиоизлучения / Патент России № 2717231. Бюл. № 8.
6. Овчаренко К.Л. Разностно-дальномерный метод определения местоположения земных станций спутниковых систем связи с применением ретранслято-

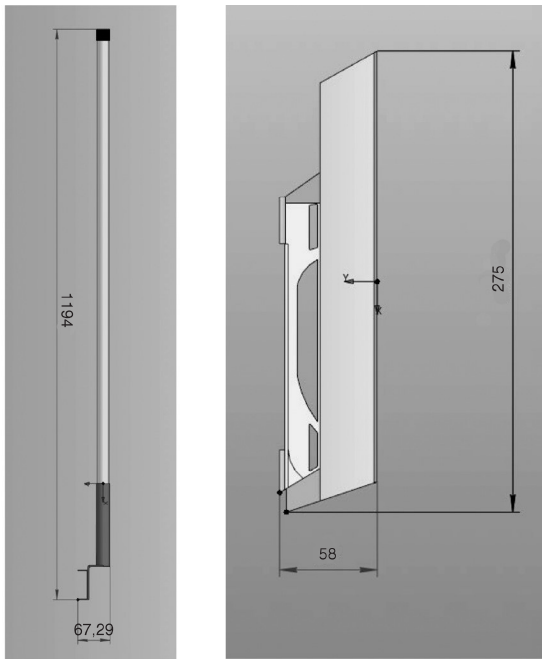


Рис. 8.

Антенны радиомодема спектр 9600 gm и Wi-Fi. А – антенна радиомодема спектр 9600 gm, Б – антенна Wi-Fi

- ра на беспилотном летательном аппарате / Труды СПИИРАН. 2019. Т. 18, №1. С. 176–201.
7. **ОВЧАРОВ К.А., ТЮСТИН М.М.** Определение местоположения ИРИ с применением однопозиционного подвижного измерителя на основе разностно-дальномерного метода пеленгования // Журнал радиоэлектроники. 2022. №2. С. 1–9.
 8. **ПАНТЕЕВ Р.А.** Способы повышения точности определения координат интегрированными многопозиционными комплексами радиомониторинга. Дис. на соискание уч. ст. к.т.н. Киев, 2016. 147 с.
 9. **САЙБЕЛЬ А.Г.** Основы теории точности радиотехнических методов местоопределения. М.: Гос. изд-во оборонной промышленности, 1958. 54 с.
 10. **САЙБЕЛЬ А.Г., СИДОРОВ П.А.** Разностно-дальномерный способ пеленгования источника радиоизлучения / Патент России №2325666. Бюл. № 15.
 11. **СОСУЛИН Ю.Г.** Теоретические основы радиолокации и радионавигации. Учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1992. 304 с.

REFERENCES

1. **BAKULEV P.A., SOSNOVSKY A.A.** Radio navigation systems: textbook. Moscow: Izdatelstvo "Radiotekhnika", 2005:224. (In Russian).
2. **VOROSHILIN E.P., MIRONOV M.V., GROMOV V.A.** Determining the coordinates of radio emission sources. Reports of TUSUR. 2005;2;(1): 2–6. (In Russian).

3. **LOSHCHIN I.V., ARKHIPENKOV D.V.** Methods for determining the spatial coordinates of active jammers in basic correlation systems of passive location. 56th Anniversary scientific conference of postgraduates, masters and students of BSUIR. 2020:180–181. (In Russian).
4. **MELNIKOV YU.P., POPOV S.V.** Radiotechnical Intelligence. Moscow: "Radiotekhnika", 2008:432. (In Russian).
5. **NAUMOV A.S.** Difference-range measurement method for determining the coordinates of a radio emission source. Russian Patent N 2717231. Bulletin N 8. (In Russian).
6. **OVCHARENKO K.L.** Difference-range measurement method for determining the location of earth stations of satellite communication systems using a repeater on an unmanned aerial vehicle. Proceedings of SPIIRAS. 2019;18;(1):176–201. (In Russian).
7. **OVCHAROV K.L., TYUSTIN M.M.** Determining the location of the radio emission sources using a single-position mobile measuring device based on the difference-range measurement method of direction finding. *Zhurnal radioelektroniki*. 2022;2:1–9. (In Russian).
8. **PANTEYEV R.L.** Methods for increasing the accuracy of determining coordinates by integrated multi-position radio monitoring systems: diss. Cand. of Engineering Sciences. Kyiv, 2016:147. (In Russian).
9. **SAIBEL A.G.** Fundamentals of the theory of accuracy of radio engineering location methods. Moscow: Gos. izd-vo oboronnoy promyshlennosti. 1958:54. (In Russian).
10. **SAIBEL A.G., SIDOROV P.A.** Difference-range measurement method for direction finding of a radio emission source. Patent of Russia N 2325666. Bull. N 15. (In Russian).
11. **SOSULIN YU.G.** Theoretical foundations of radar and radio navigation: Textbook for universities. Moscow: Radio i svyaz'. 1992:304. (In Russian).

Кустков Иван Александрович,
техник 2 категории АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»
☎ тел.: +7(925) 411-20-62, e-mail: kustkovvana@gmail.com

Тектинов Александр Олегович
начальник сектора АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»
☎ тел.: +7(960) 517-38-58, e-mail: tektinova@yandex.ru

Волков Эдуард Викторович,
техник 2 категории АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»
☎ тел.: +7(920) 987-78-65, e-mail: vviktor51111@gmail.com

Ломакина Дарья Юрьевна,
техник 2 категории АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

☎ 107078, г. Москва, Новая Басманная, д. 20, стр. 9,
107078, Moscow, st. New Basmanaya, 20, 9,
тел.: +7(999) 844-09-80, e-mail: dashalomakina07@mail.ru