

МАЛОГАБАРИТНАЯ РЛС S/C-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ

И.Н.Жукова, Н.А.Кунец, Н.В.Вахлячев, А.М.Трофимов, С.М.Кустов

COMPACT S/C-BAND RADAR FOR SITE PROTECTION

I.N.Zhukova, N.A.Kunets, N.V.Vakhachev, A.M.Trofimov, S.M.Koustov

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, irina.zhukova@novsu.ru

Описана реализация малогабаритной радиолокационной системы (РЛС) S/C-диапазона для охраны объектов. Актуальность разработки обусловлена наличием проблемы несанкционированного доступа на закрытые объекты, а также объекты энергетического сектора, такие как газо/нефтепроводы. Наибольшую опасность в плане незаметного проникновения на охраняемую территорию в последнее время представляют собой беспилотные летательные аппараты, позволяющие не только проводить качественную фото- и видеосъемку, но и осуществлять перенос грузов, представляющих потенциальную угрозу безопасности объекта. Разработанная РЛС осуществляет всепогодное и круглосуточное обнаружение малоразмерных подвижных целей. Использование технологии фазового метода измерения угловых координат позволило отказаться от движущихся частей конструкции, значительно повысив её надёжность, а также увеличить интервалы обслуживания. Применение широкополосных сложных сигналов с большой базой (квазинепрерывный режим работы) обеспечивает повышенную помехоустойчивость, скрытность и дальность обнаружения.

Ключевые слова: радиолокация, сложные сигналы, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), квазинепрерывные сигналы (КНС)

Для цитирования: Жукова И.Н., Кунец Н.А., Вахлячев Н.В., Трофимов А.М., Кустов С.М. Малогабаритная РЛС S/C-диапазона для охраны объектов // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2022. №3(128). С.52–57. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3\(128\).52-57](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3(128).52-57)

The article describes technical realization of a compact S/C-band radar for the site protection. Nowadays, closed facilities, factories, and energy sector facilities, such as gas / oil pipelines are facing the problem of unauthorized access. The greatest danger in terms of untracked trespassing the border of the protected area in recent years are unmanned aerial vehicles (UAVs). Such UAVs allow not only to carry out high-quality photo / video, but also to carry cargo that pose a potential threat to the security of the object. The developed radar system provides all-weather and round-the-clock detection of small mobile targets. The use of the technology of the phase method of measuring the angular coordinates allowed us to remove the moving parts of the radar, significantly increasing its reliability, as well as to increase the service intervals. The use of wideband signals with a large base (quasi-continuous mode) provides increased noise immunity, secrecy and detection range.

Keywords: radar, SAR, wideband signals, unmanned aerial vehicle (UAV), quasicontinuous signals (QCS)

For citation: Zhukova I.N., Kunets N.A., Vakhachev N.V., Trofimov A.M., Koustov S.M. Compact S/C-Band RADAR for site protection // Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences. 2022. №3(128). P.52–57. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3\(128\).52-57](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2022.3(128).52-57)

Введение

Актуальность разработки малогабаритных охранных радиолокационных систем (РЛС) обусловлена наличием проблемы несанкционированного доступа на закрытые объекты, заводы, а также объекты энергетического сектора, такие как газо/нефтепроводы. При этом решений данной проблемы на рынке представлено крайне мало [1–4].

Наибольшую опасность в плане незаметного проникновения на охраняемую территорию в последнее время представляют собой беспилотные летательные аппараты (БПЛА), позволяющие не только проводить качественную фото- и видеосъемку, но и осуществлять перенос грузов, представляющих потенциальную угрозу безопасности объекта. Число БПЛА растет с каждым годом все стремительнее. Законодательные и организационные меры эффективны только для сертифицированных и зарегистрированных пользователей БПЛА.

Таким образом, задача слежения за трафиком БПЛА крайне актуальна и требует решения. Обнару-

жение БПЛА над земной поверхностью представляет собой сложную комплексную задачу в связи со спецификой целей: малые размеры, скорости и высоты полёта. Помимо этого, использование таких РЛС для охраны объектов, в том числе и гражданских, накладывает жесткие ограничения на излучаемую мощность, диапазон частот, а также стоимость.

В данной статье описана реализация РЛС обнаружения БПЛА, соответствующей данным требованиям.

Краткое техническое описание

Радиолокатор предназначен для обнаружения малоразмерных подвижных объектов. Отличительными особенностями являются:

- большая дальность обнаружения, достигаемая за счёт большого времени накопления (порядка 1 с);
- высокая надёжность из-за отсутствия подвижных частей;
- повышенная скрытность за счёт малой мощности излучения;
- использование частотного диапазона, не требующего получения лицензии;

- высокий темп обновления информации;
- малые габариты, масса и энергопотребление устройства.

Основные технические характеристики:

- сверхбольшая база сигнала до 10^7 ;
- импульсная мощность излучения — 0,5 Вт, средняя — 100 мВт;
- центральная частота — 5,85 ГГц;
- разрешение по дальности — не менее 3 м;
- разрешение по доплеровской скорости — не менее 0,03 м/с;

- ширина ДН антенн (односекционная реализация по азимуту): в азимутальной плоскости — до 90° , в угломестной плоскости — до 12° .

Технические характеристики могут варьироваться в зависимости от поставленной задачи. Например, для охвата зоны обзора в 360° необходима модификация антенной системы путём увеличения числа приёмно-передающих элементов без изменения основной конструкции блока.

Конструкция радиолокатора

Опытный образец радиолокатора состоит из трех составных частей:

- антенной системы;
- блока цифрового формирования и обработки сигнала;
- индикаторного устройства на базе персонального компьютера со специализированным программным обеспечением.

Внешний вид опытного образца радиолокатора представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид радиолокатора

Антенная система состоит из трех антенн: одной передающей и двух приемных. Расстояние между приемными антеннами менее половины длины волны излучаемого сигнала. Это условие позволяет одно-

значно вычислять направление на цель при использовании фазового метода пеленгования (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид приемной антенны

Блок формирования и обработки реализован на вычислительном модуле FPU1500 стандарта VPX VITA 46.0 с установленным мезонином трансивера MIC1831 стандарта FMC VITA 57.1 (рис. 3, 4).



Рис. 3. Внешний вид вычислительного модуля FPU1500 (без мезонина)



Рис. 4. Внешний вид мезонинного модуля MIC1831

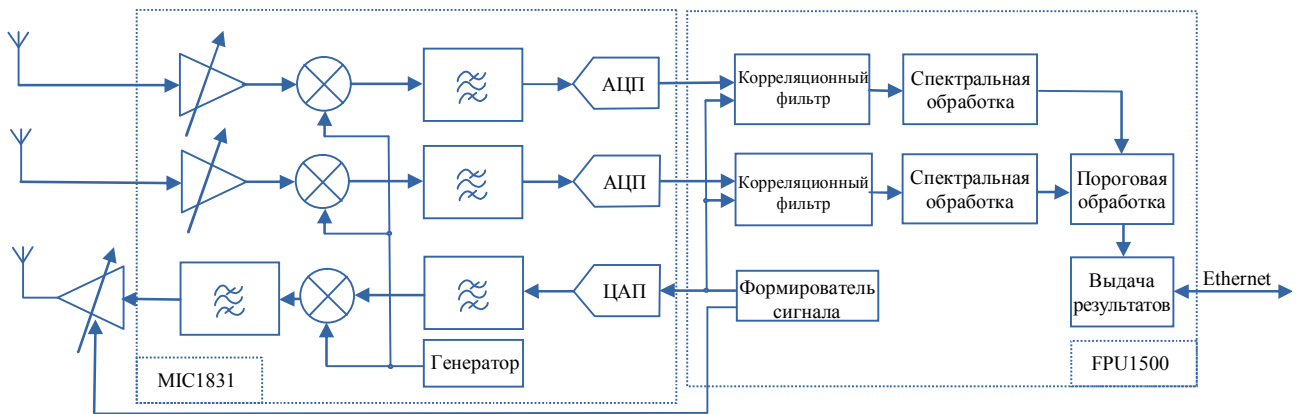


Рис.5. Функциональная схема радиолокатора

Данная конфигурация позволяет формировать, принимать и обрабатывать широкополосный сигнал на частотах от 70 до 6000 МГц. В качестве выходного усилителя используется SKY66288-11, позволяющий поднять излучаемую мощность до 0,5 Вт.

Одной из особенностей радиолокатора является применение амплитудно-фазоманипулированного сигнала с псевдослучайной структурой амплитудной и фазовой манипуляции (квазинепрерывный сигнал). Большая база зондирующего сигнала позволяет обнаруживать малоразмерные цели на фоне подстилающей поверхности. За один период излучения производится однозначное измерение дальности, радиальной скорости объекта и его пеленга. Однозначность измерения дальности и доплеровской скорости объекта позволяет отличать отметки от целей, находящихся на одной дальности, но движущиеся с разной скоростью.

Принцип работы

Функциональная схема радиолокатора показана на рис.5. Устройство представляет собой двухканальный импульсно-доплеровский радиолокатор. Излучение зондирующего сигнала производится с одного передающего канала, приём отражённых сигналов осуществляется двумя приёмными каналами. Приёмные и передающие тракты построены по схеме прямого преобразования частоты.

В каждом из двух приёмных каналов производится корреляционно-фильтровая обработка отражённых сигналов. Использование квазинепрерывных сигналов позволяет однозначно определять дальность и доплеровскую скорость обнаруженных целей на одном зондировании [5-7]. Пример функции неопределённости квазинепрерывного сигнала представлен на рис.6.

После прохождения пороговой обработки полученных данных формуляры целей с двух приёмных каналов (дальность, доплеровская скорость, амплитуды и фазы) поступают на блок вычисления

азимута. Синхронная обработка обоих каналов позволяет по разности фаз отражённых сигналов, принятых на разнесённые антенны, методом фазового пеленгования определить азимут цели [8].

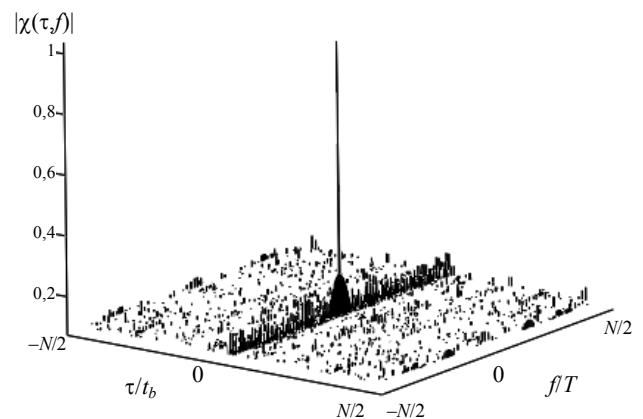


Рис.6. Пример функции неопределённости квазинепрерывного сигнала

После данных процедур радиолокатор выдаёт результаты измерения посредством интерфейса Ethernet на ПК для отображения в программе индикатора. Возможна выдача формуляров целей на автоматизированное рабочее место оператора системы безопасности.

Результаты экспериментов

Сотрудниками НИЛ ЦОС НовГУ были проведены натурные испытания радиолокатора для обнаружения различных движущихся целей (человек, БПЛА, автомобиль) при различном виде помеховой обстановки (ровный снежный покров, городская застройка).

На рис.7 приведён пример снимка экрана программного обеспечения (ПО) индикатора при наблюдении движущегося человека (лыжника) по замёрзшему озеру. Цвет отметок отражает доплеровскую скорость (красный — цель движется к РЛС, синий — цель движется от РЛС, зелёный — неподвижные цели).

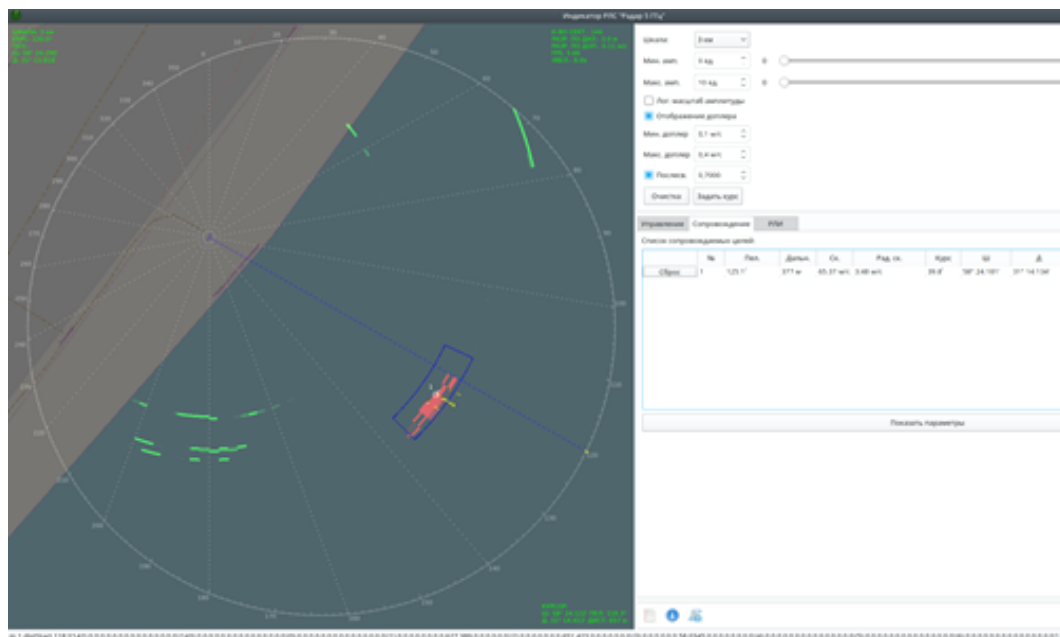


Рис.7. Вид индикатора с обнаруженной отметкой цели типа «человек»

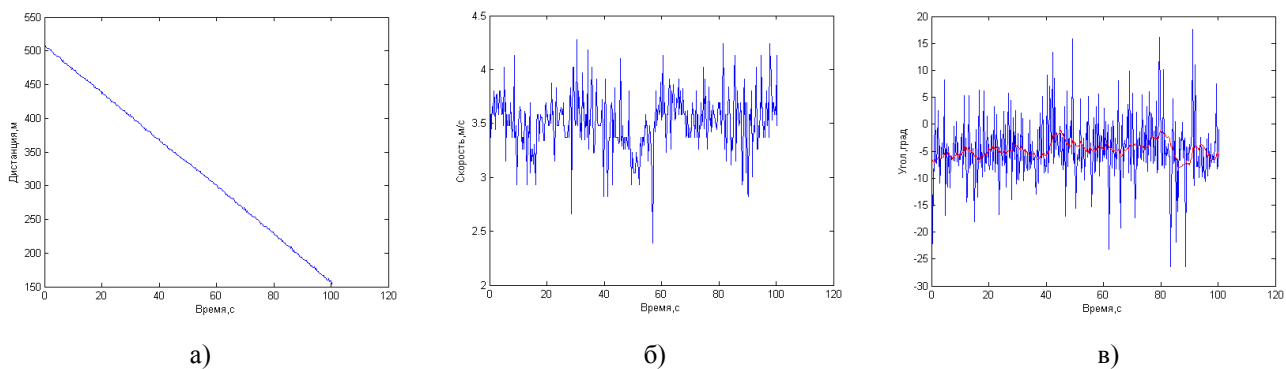


Рис.8. Графики зависимостей дальности (а), скорости (б) и азимута (в) цели «человек»

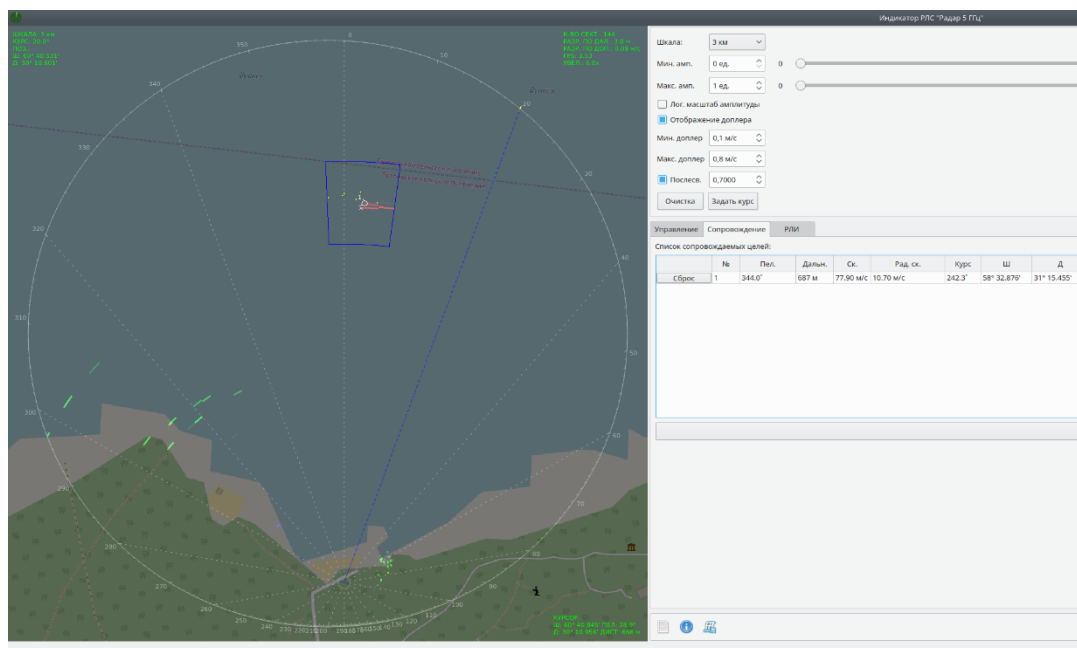


Рис.9. Вид индикатора с обнаруженной отметкой цели типа «БПЛА»

Дальность обнаружения составила не менее 1,5 км. Анализ записанных от объекта отметок позволяет проанализировать характер изменения дальности, радиальной скорости и направления (рис.8).

Следующим объектом обнаружения был БПЛА типа DJI Phantom 3. На рис.9 приведён пример снимка экрана ПО индикатора при наблюдении БПЛА над замёрзшим озером.

На рис.10 представлены зависимости дальности, доплеровской скорости и азимута наблюдаемого БПЛА. Из них следует, что дальность обнаружения составляет порядка 1 км. В наблюдениях присутствуют пропуски, обусловленные интерференционными провалами.

Сравнивая графики скорости объектов «человек» и «БПЛА», можно прийти к выводу о разном ха-

рактере данных зависимостей. У цели типа «человек» хорошо заметны флуктуации доплеровской скорости, в то же время график скорости «БПЛА» обладает гладкой формой. Данные особенности могут быть использованы для идентификации обнаруженной цели.

Слежение за целью «автомобиль» производилось в плотной городской застройке, на улице с интенсивным трафиком. На рис.11 приведён пример снимка экрана ПО индикатора при наблюдении за автомобилем.

Дальность обнаружения автомобиля в условиях города составила более 4 км. На представленном изображении с индикатора — отметка на дальности 4,6 км.

На рис.12 представлены зависимости дальности, доплеровской скорости и азимута одного из наблюдаемых автомобилей.

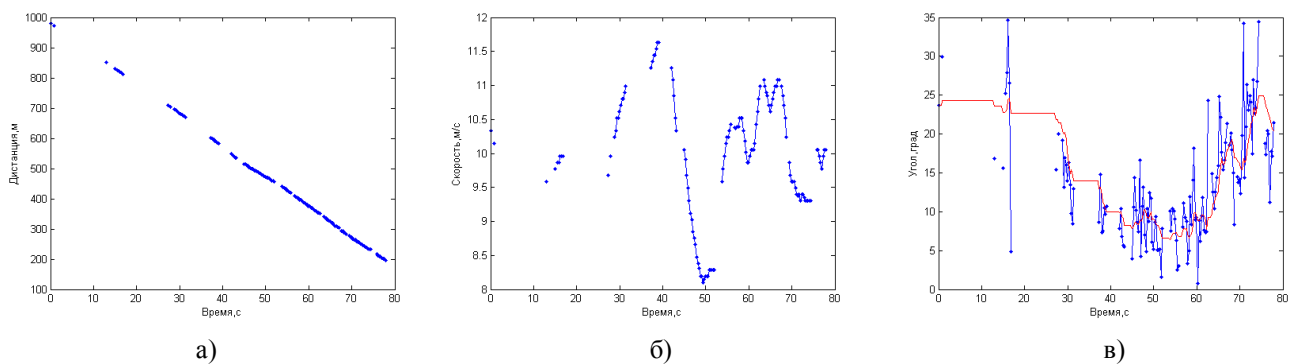


Рис.10. Графики зависимостей дальности (а), скорости (б) и азимута (в) цели «БПЛА»

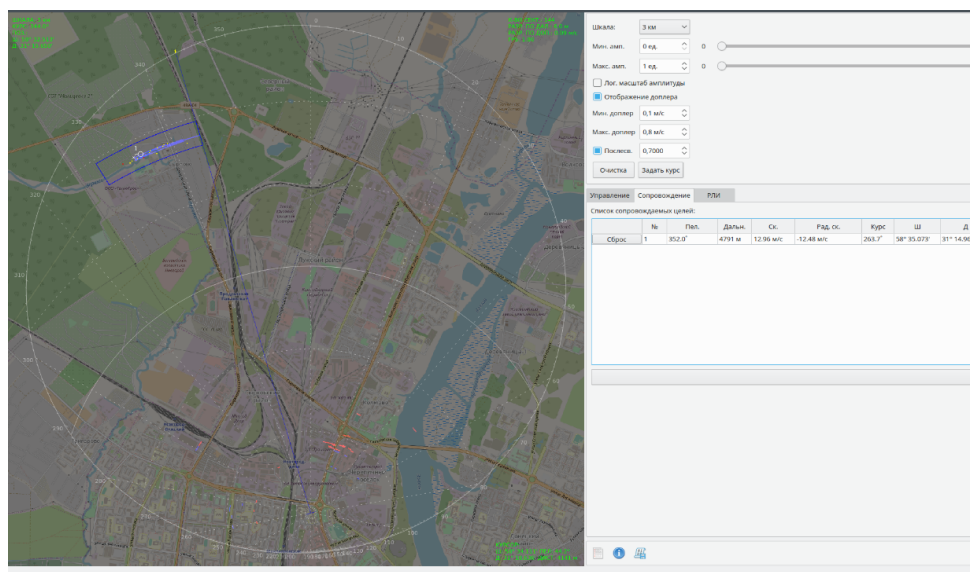


Рис.11. Вид индикатора с обнаруженной отметкой цели типа «автомобиль»

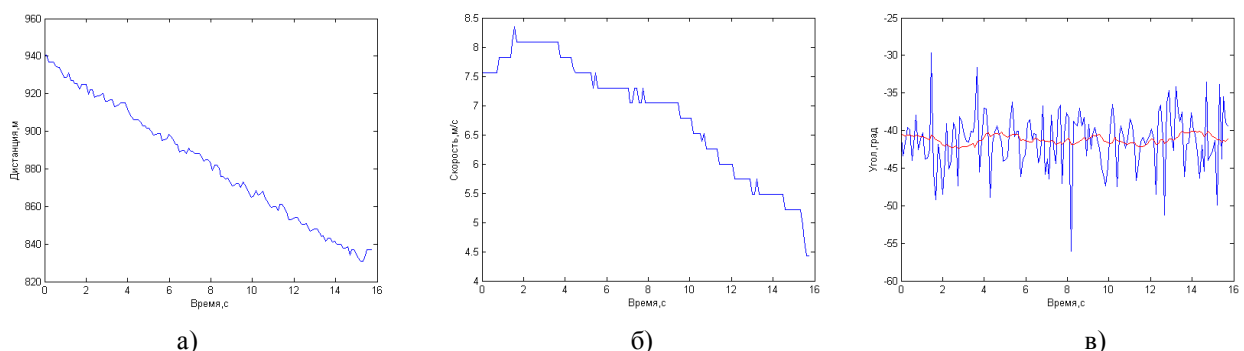


Рис.12. Графики зависимостей дальности (а), скорости (б) и азимута (в) цели «автомобиль»

Фазовый метод определения азимута цели даёт значительные флуктуации угла от измерения к измерению, в связи с чем необходима дополнительная обработка получаемых данных. На графике азимута синей линией представлены мгновенные значения азимута цели, красной — данные после усреднения угловых отметок за 20 измерений. Можно видеть, что разброс значений сократился с десятков до единиц градусов.

Выводы

Разработан, изготовлен и испытан опытный образец радиолокатора для обнаружения малоразмерных подвижных целей. Представленный радиолокатор отличают:

- большая дальность обнаружения;
- высокая надёжность;
- низкий уровень электромагнитного излучения;
- использование частотного диапазона, не требующего получения лицензии;
- малые габариты устройства;
- низкое электропотребление;
- низкая стоимость.

1. IAI ELTA Systems Ltd. Multi-Mission Surveillance Radar ELM-2112FP. URL: http://www.iai.co.il/2013/34481-48442-en/Groups_ELTA_EltaNumber_Products-ELM.aspx (дата обращения: 19.04.2019).
2. ART Drone Sentinel [Электронный ресурс]. URL: <https://www.advancedradartechnologies.com/products/art-drone-sentinel> (дата обращения: 19.04.2019).
3. InnoSent ISYS RADAR-SYSTEMS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.innosent.de/en/radar-systems/> (дата обращения: 19.04.2019).
4. Navtech Radar. Advance Guard [Электронный ресурс]. URL: <https://navtechradar.com/solutions/advanceguard/> (дата обращения: 19.04.2019).
5. Bystrov N.E., Zhukova I.N., Reganov V.M., Chebotarev S.D. Range and doppler ambiguity elimination in coherent radar using quasicontinuous signals // Journal of Mechanical

Engineering Research and Developments. 2017. Vol.40. №4. P.37–46. DOI: <https://doi.org/10.7508/jmerd.2017.04.005>

6. Быстров Н.Е., Жукова И.Н. Модель оценки помехоустойчивости РЛС с квазинепрерывным режимом излучения и приема сигналов с псевдослучайной структурой огибающей // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2011. №65. С.50–55.
7. Bystrov N., Zhukova I., Reganov V., Chebotarev S. Synthesis of wideband signals with irregular bi-level structure of power spectrum // IEJME-Mathematics Education. 2016. Vol.11(9). P.3187–3195.
8. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1984. 312 с.

References

1. IAI ELTA Systems Ltd. Multi-Mission Surveillance Radar ELM-2112FP. Available at: http://www.iai.co.il/2013/34481-48442-en/Groups_ELTA_EltaNumber_Products-ELM.aspx (accessed: 19.04.2019).
2. ART Drone Sentinel. Available at: <https://www.advancedradartechnologies.com/products/art-drone-sentinel> (accessed: 19.04.2019).
3. InnoSent ISYS RADAR-SYSTEMS. Available at: <https://www.innosent.de/en/radar-systems/> (accessed: 19.04.2019).
4. Navtech Radar. Advance Guard. Available at: <https://navtechradar.com/solutions/advanceguard/> (accessed: 19.04.2019).
5. Bystrov N.E., Zhukova I.N., Reganov V.M., Chebotarev S.D. Range and doppler ambiguity elimination in coherent radar using quasicontinuous signals. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, 2017, vol. 40, no. 4, pp. 37–46. doi: <https://doi.org/10.7508/jmerd.2017.04.005>
6. Bystrov N.E., Zhukova I.N. Model' otsenki pomekhoustoychivosti RLS s kvazine-preryvnyim rezhimom izlucheniya i priyema signalov s psevdosluchaynoy strukturoy ogibayushchey [A model for assessing the noise immunity of a radar station with a quasi-continuous mode of emitting and receiving signals with a pseudo-random envelope structure]. NovGU. Issue: Engineering Sciences, 2011, no. 65, pp. 50–55.
7. Bystrov N., Zhukova I., Reganov V., Chebotarev S. Synthesis of wideband signals with irregular bi-level structure of power spectrum. IEJME-Mathematics Education, 2016, vol. 11(9), pp. 3187–3195.
8. Leonov A.I., Fomichev K.I. Monoimpul'snaya radiolokatsiya [Monopulse radio location]. 2nd ed., revised and added Moscow, Radio i svyaz', 1984. 312 p.