

## Многофункциональная малогабаритная РЛС Ку-диапазона для лёгкого БЛА

В.Ю. Савостьянов<sup>1</sup>, О.А. Карпов<sup>2</sup>, А.В. Ефимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», 125319, г. Москва, Авиационный переулок, д.5, e-mail: [v-savostyanov@yandex.ru](mailto:v-savostyanov@yandex.ru)

<sup>2</sup>ЗАО «Аэрокон», 140187, г. Жуковский, Московская обл., ул. Гагарина, 1, e-mail: [karp@smtp.ru](mailto:karp@smtp.ru)

*Создана многофункциональная малогабаритная бортовая радиолокационная станция (РЛС) Ку-диапазона, предназначенная для применения в составе разведывательно-ударных комплексов с беспилотными летательными аппаратами оперативно-тактического звена. В режиме картографирования РЛС обеспечивает разрешающую способность до 0,25 м с формированием радиолокационных изображений на борту в реальном времени без участия оператора.*

*It is created multifunctional small-dimensioned on-board Ku-range radar, intended for using in composition reconnaissance-striking complex with unmanned aerial vehicle of operative-tactical aviation unit. In mapping mode radar provides the space resolution before 0,25 m with real-time radar images synthesis on board without participation of the operator.*

В результате исследований, проведённых МГТУ имени Н.Э. Баумана совместно с соисполнителями, разработана многофункциональная малогабаритная бортовая РЛС Ку-диапазона, предназначенная для применения в составе разведывательно-ударных комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) оперативно-тактического звена [1–3]. Прототип этой МБРЛС, о котором докладывалось на VIII Всероссийских Армандовских чтениях, демонстрировался на III-й Научно-практической конференции «Роботизация Вооружённых Сил Российской Федерации» и Международном военнотехническом форуме «Армия-2018» [4].

Внешний вид МБРЛС представлен на рис. 1.

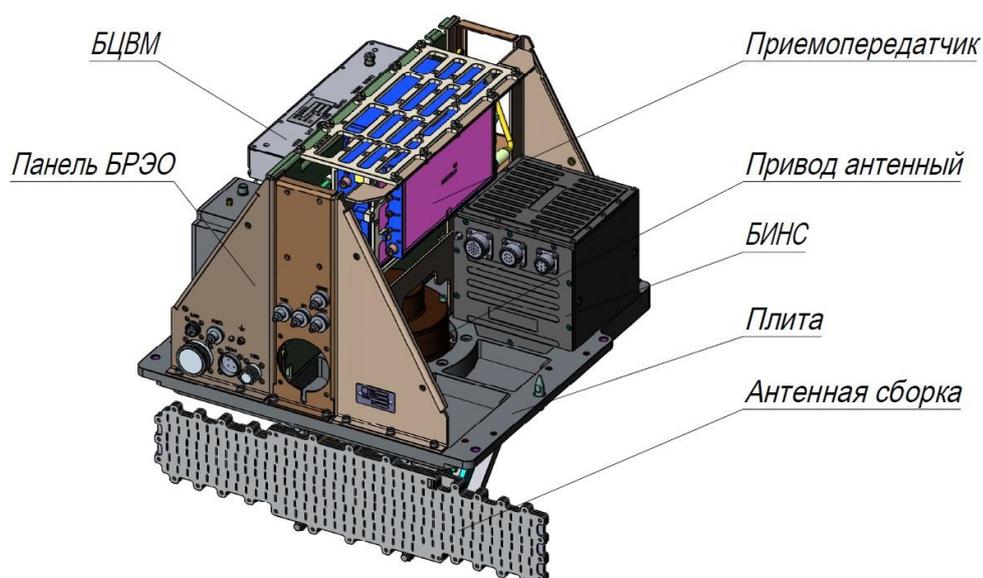


Рис. 1. Внешний вид РЛС Ку-диапазона.

Разработанная РЛС отличается от прототипа:

- более эффективным функциональным программным обеспечением (ФПО) за счёт введения новых функций в режимах работы;
- безредукторным приводом антенной системы, обеспечивающим углы прокачки антенны до  $\pm 140^\circ$  по азимуту и до  $-45...+5^\circ$  по наклону, а также погрешность позиционирования луча антенны не более 2 угл. мин.;
- увеличенными значениями частоты дискретизации аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (со 160 до 320 МГц) и полосы пропускания частот (с 20 до 40 МГц) цифрового приёмника;
- повышенными значениями производительности центрального процессора (с 16 до 38.4 Гфлопс), объёма оперативной памяти (с 4 до 16 Гбайт) и объёма накопителя SSD БЦВМ (с 32 до 128 Гбайт);
- сниженной массой РЛС (с 38.5 до 30.5 кг);
- аппаратно-программной интеграцией подсистемы микронавигации (ПМН) в состав РЛС.

Основные режимы работы МБРЛС:

- картографирование с реальным лучом или с синтезированием апертуры антенны при полосовом, секторном или телескопическом обзоре с формированием радиолокационных изображений (РЛИ) подстилающей поверхности размером  $1024 \times 1024$  пикселей, с возможностью оперативного изменения разрешения, дальности и угла наблюдения по азимуту;
- селекция наземных (надводных) движущихся целей, в том числе с одновременным формированием РЛИ подстилающей поверхности;
- оценка метеообстановки с формированием РЛИ сечений метеообразований (вертикальных, горизонтальных) размером  $512 \times 512$  пикселей, с обнаружением и индикацией зон опасной турбулентности и опасного низковысотного «сдвига ветра»;
- измерение наклонной дальности до поверхности по заданному угловому целеуказанию;
- информационное обеспечение полёта на малых высотах с формированием РЛИ сечений рельефа впереди лежащей местности (вертикальных, горизонтальных, плановых) размером  $512 \times 512$  пикселей;
- радиомониторинг в пределах полосы рабочих частот МБРЛС с формированием РЛИ азимутально-спектральных карт внешних излучений размером  $512 \times 512$  пикселей, с возможностью оперативного изменения оператором угла наблюдения по наклону;
- встроенная система контроля с возможностью выполнения текущих, расширенных или диагностических проверок.

В соответствии с требованиями по оперативному обнаружению и сопровождению объектов разработанные аппаратная и программная платформы РЛС позволяют формировать целевую информацию (радиолокационные изображения подстилающей поверхности, сечений метеообразований и рельефа местности, координаты и параметры движения объектов) непосредственно в РЛС в реальном масштабе времени без вмешательства оператора наземного пункта управления (НПУ). При этом в процессе формирования сообщения в его заголовок записывается информация (геодезические координаты центра РЛИ, азимут, межпиксельное расстояние), позволяющая автоматизировать «привязку» целевой информации к топографической карте. Сформированная целевая информация с борта БЛА по радиоканалу передаётся на НПУ, где осуществляется её визуализация, дешифрирование и «сколка» объектов.

В РЛС используются частотно-манипулированные сигналы с быстрой перестройкой несущей и псевдослучайным изменением закона следования частот, а также внутримпульсная линейно-частотная модуляция с изменяемыми значениями

девиации частоты, длительности импульсов и количества частот. Применение таких сигналов позволило не только снизить требования к аппаратуре, но и повысить скрытность и помехозащищённость радиолокатора. Получение требуемого высокого разрешения по дальности (до 0.25 м) достигается путём межпериодного расширения спектра сигнала.

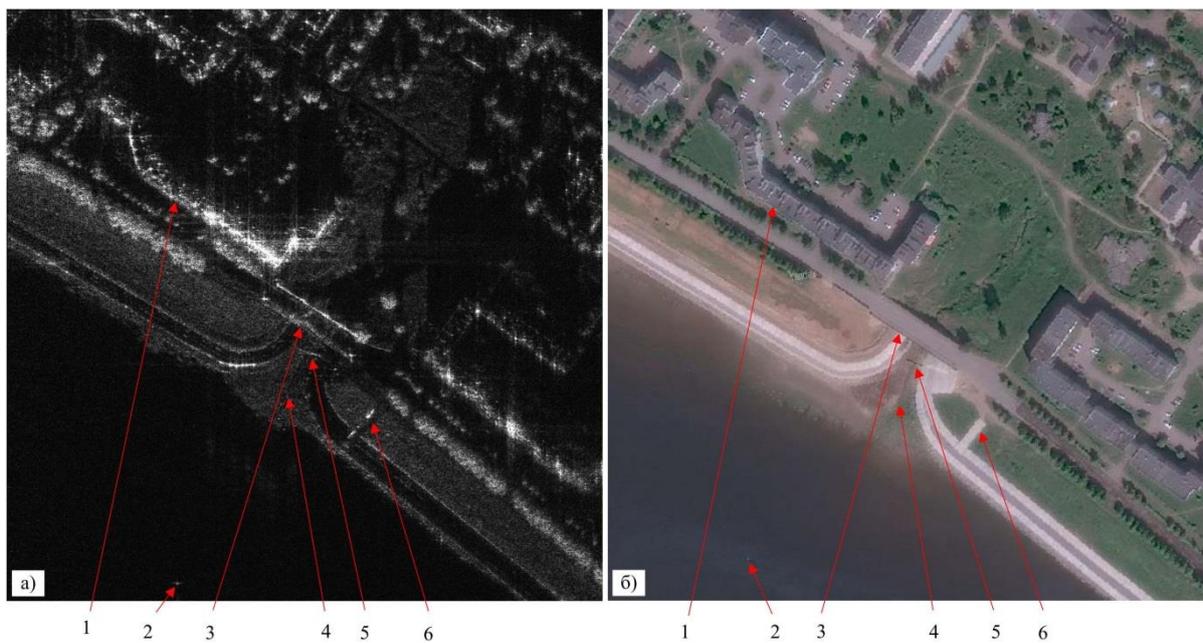
Для обеспечения работы режимов в состав РЛС введена ПМН, созданная на базе БИНС ГЛ-100, установленная на общем основании с РЛС и комплексированная с приёмником глобальной навигационной спутниковой системы, а также навигационной системой БЛА и РЛС. По данным, получаемым от ПМН, в РЛС в реальном масштабе времени ФПО обработки сигналов осуществляет управление лучом антенны, периодом повторения зондирующих импульсов, положением зоны приёма и параметрами опорных функций.

С экспериментальным образцом в 2017 – 2018 гг. было проведено более 20 натурных испытаний в составе летающей лаборатории, в результате которых на борту в реальном масштабе времени было получено более тысячи радиолокационных изображений (РЛИ) в различных режимах работы, при различных разрешениях, дальностях, углах и видах обзора. Использование высокоточной навигационной информации позволило обеспечить стыковку фрагментов РЛИ и их фокусировку, а также точное определение координат объектов.

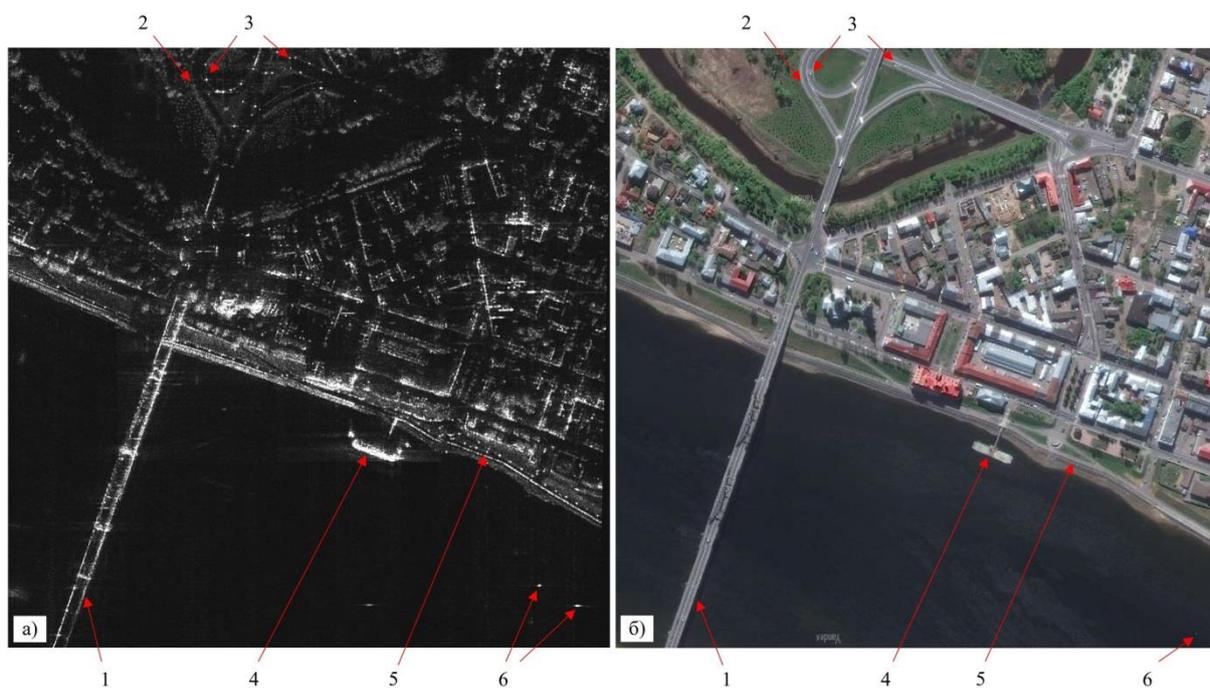
В качестве примера на рис. 2–6 приведены РЛИ, полученные на борту летающей лаборатории в реальном масштабе времени в режиме КРТ-СА при различных видах обзора с линейным разрешением от 0.25 до 3.8 м, в «привязке» к спутниковым оптическим фотоснимкам.



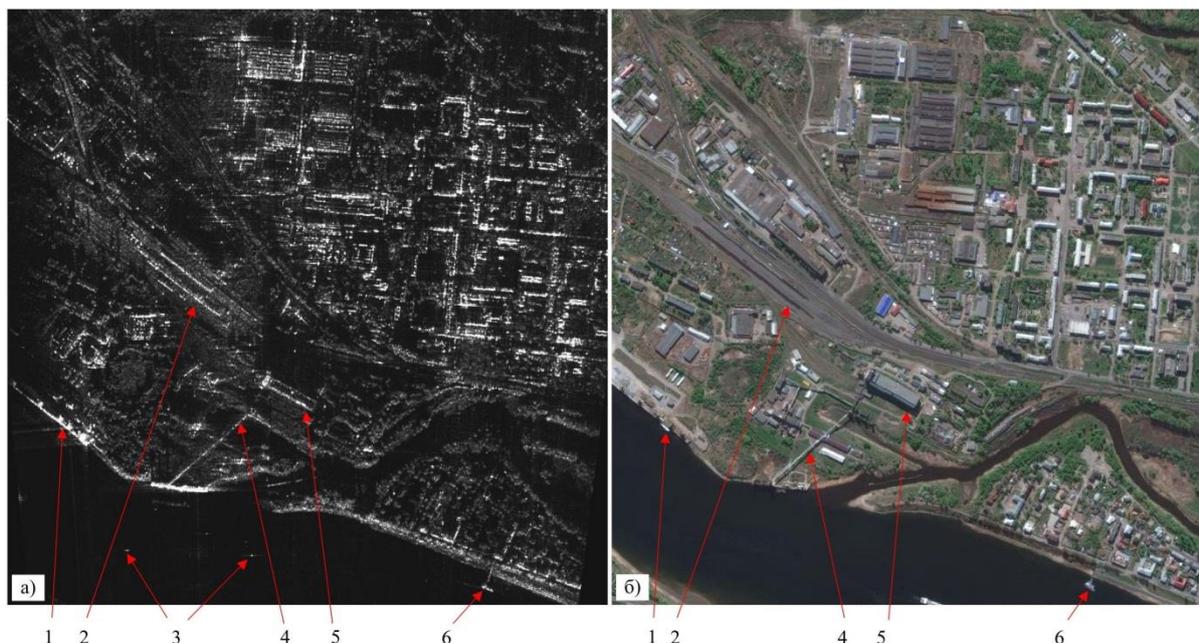
**Рис. 2. РЛИ с разрешением 0.25 м (а) и спутниковый фотоснимок (б) производственной площадки: 1 – ограждение, 2 – столбы ограждения, 3 – следы автомобиля на грунте, 4 – тропа, 5 – опора ЛЭП, 6 – здание.**



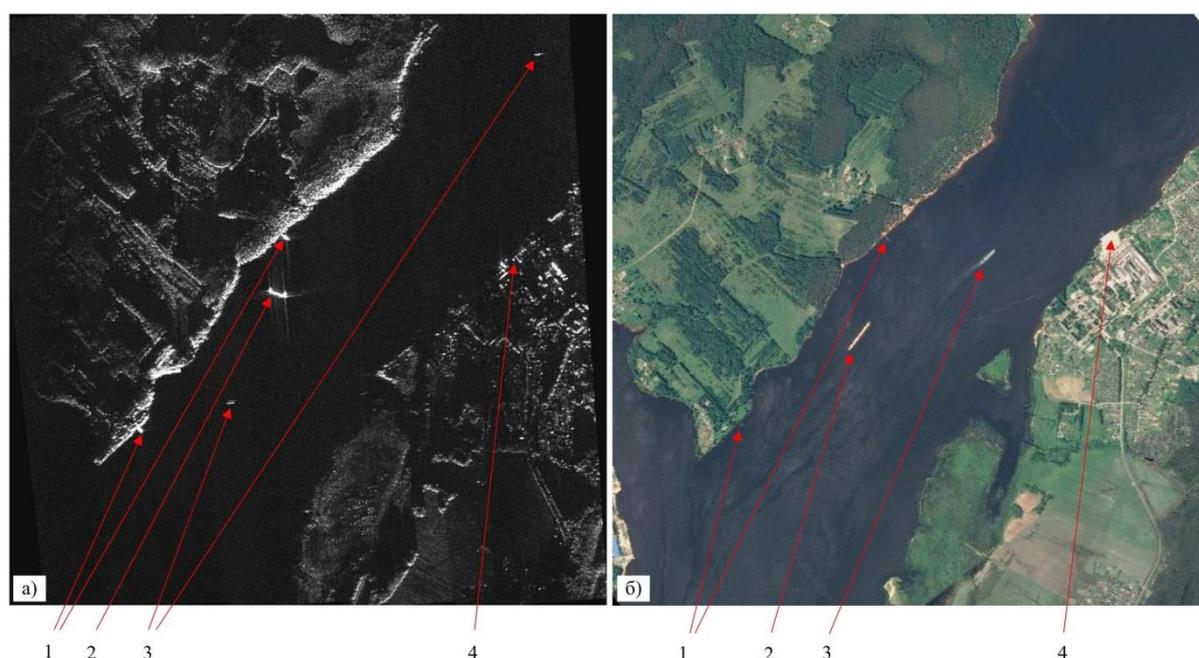
**Рис. 3.** РЛИ с разрешением 0.5 м (а) и спутниковый фотоснимок (б) района набережной: 1 – крыша здания, 2 – бакен, 3 – автомобильный мост, 4 – ручей, 5 – пешеходный переход, 6 – спуск к реке.



**Рис. 4.** РЛИ с разрешением 1 м (а) и спутниковый фотоснимок (б) автомобильного моста: 1 – мост, 2 – автомобильная развязка, 3 – автомобили, 4 – причал, 5 – столбы освещения, 6 – бакен.



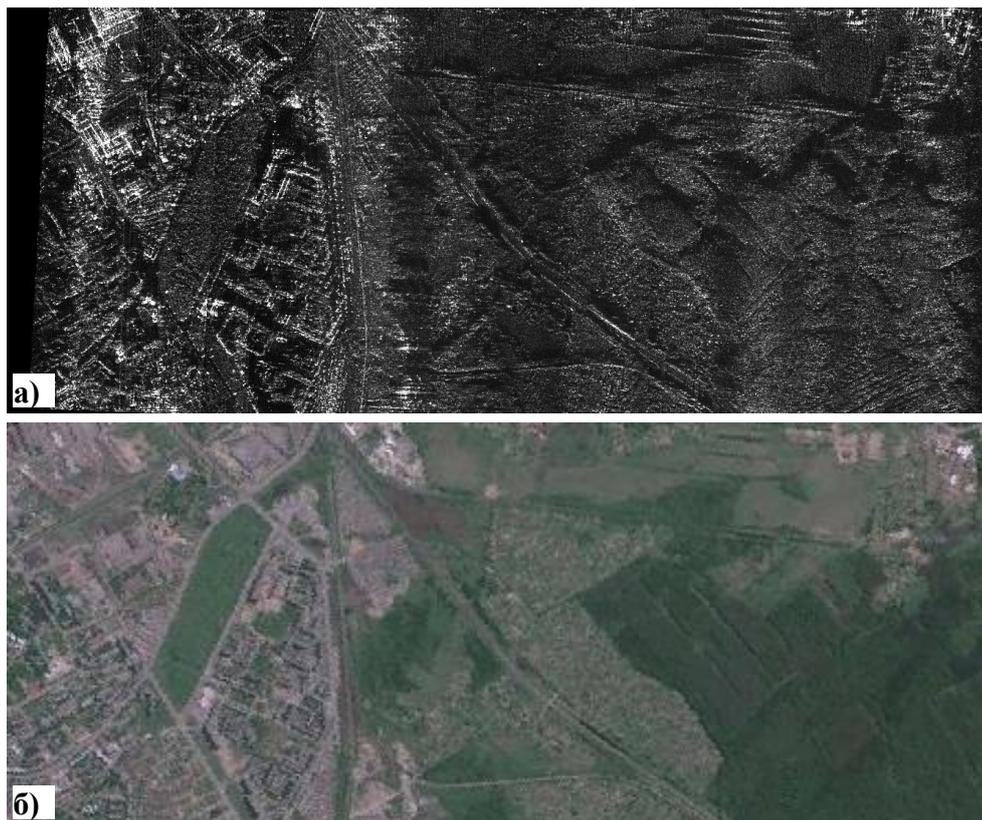
**Рис. 5. РЛИ с разрешением 1.9 м (а) и спутниковый фотоснимок (б) грузового порта: 1 – причал грузового порта, 2 – железнодорожные составы, 3 – бакен, 4 – транспортёр зерна, 5 – элеватор, 6 – причал.**



**Рис. 6. РЛИ с разрешением 3.8 м (а) и спутниковый фотоснимок (б) пролива: 1 – пристань, 2 – баржа, 3 – катер, 4 – причал грузового порта.**

На рис. 7 показано результирующее РЛИ с разрешением 1.9 м, собранное из нескольких полученных на борту изображений, также в «привязке» к спутниковому оптическому фотоснимку района.

В настоящее время проводятся предварительные испытания РЛС, разрабатывается логика применения режимов работы РЛС при решении различных тактических задач (мониторинга, поиска, распознавания, сопровождения). Ведутся работы по наращиванию функций в основных режимах работы и уменьшению времени обработки сигналов.



**Рис. 7. Результирующее РЛИ с разрешением 1.9 м (а) и спутниковый фотоснимок (б) пригородного района. Полосовой обзор. Количество РЛИ в серии – 22. Ширина полосы: по дальности – 1.9 км, по линии пути – 4.4 км.**

Созданная многофункциональная РЛС Ku-диапазона не имеет аналогов в России. Известные подобные системы зарубежного производства не обладают таким количеством реализуемых функций. Большие информационные возможности и потенциал разработанной РЛС обеспечивают решение широкого круга задач для беспилотных летательных аппаратов оперативно-тактического звена, включая малоразмерные.

### **Литература**

1. Ильин Е.М. и др. Малогабаритный многофункциональный бортовой РЛК для беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Вестник СибГУТИ. 2017. № 4(40).
2. Гуськов Ю.Н., Самарин О.Ф., Савостьянов В.Ю. Многофункциональные малогабаритные бортовые РЛС. Критические технологии // Радиоэлектронные технологии. 2018. № 1.
3. Брайткрайц С.Г. и др. Унифицированный интегрированный с подсистемой микронавигации малогабаритный многофункциональный радиолокатор для беспилотных летательных аппаратов средней и малой дальности // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 11.
4. Ильин Е.М., Полубехин А.И., Савостьянов В.Ю., Самарин О.Ф., Тростин Е.А. Многофункциональная малогабаритная РЛС Ku-диапазона для БЛА оперативно-тактического звена // Радиоэлектронные технологии. 2019. № 1.