

## **К вопросу о расширении возможностей использования бортовых радиолокационных систем**

**Расторгуев В.В.\***, **Нуждин В.М.\*\***, **Коновальцев А.В.\*\***,  
**Ананенков А.Е.\*\***, **Марин Д.В.\*\*\***

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*\*e-mail: rast@mai.ru*

*\*\*e-mail: kaf407@mai.ru*

*\*\*\*e-mail: marindv@gmail.com*

### **Аннотация**

Рассмотрен вопрос внедрения в многофункциональную бортовую РЛС нового режима работы с земной поверхностью по малоразмерным низкоскоростным целям. Проведена оценка потенциальных характеристик в сравнении с известными специализированными РЛС.

**Ключевые слова:** многофункциональная РЛС, режим охраны территории, обнаружение малоразмерных целей, селекция движущихся целей.

### **1. Введение**

Малогабаритная многофункциональная бортовая РЛС (ММБРЛС) предназначена для проведения картографирования и радиолокационного мониторинга земной поверхности с борта вертолётов и беспилотных

летательных аппаратов (БПЛА). Проведение работ по мониторингу с воздуха особенно актуально при разработке природных ресурсов и проведении поисково-спасательных операций в труднодоступных районах с тяжёлыми климатическими условиями, затрудняющими наблюдения в оптическом диапазоне. Базирование летательных аппаратов (ЛА) в таких районах на стационарных аэродромах с хорошо развитой инженерной инфраструктурой не всегда возможно по причине ограниченной рабочей дальности (плеча) ЛА-носителя. Данное обстоятельство вынуждает использовать в том числе временные аэродромы. Обеспечение безопасности временного аэродрома размещения требует времени и значительных расходов на инженерное оборудование.

Опасность для оборудования и персонала временного аэродрома могут представлять как крупные хищники (например белый медведь), так и криминальные элементы. В ходе проведения ОКТР «Разработка и организация высокотехнологичного производства малогабаритной многорежимной бортовой радиолокационной системы Ku – диапазона волн для оснащения перспективных беспилотных и вертолетных систем» была поставлена задача наряду с традиционными режимами ММБРЛС наблюдения земной поверхности с борта ЛА-носителя, разработать режим охраны с земной поверхности в стационарном варианте размещения. В данном режиме ставится задача обнаружения средствами бортового локатора, находящегося неподвижно на земной поверхности широкого класса наземных и надводных целей с малыми

ЭПР и относительно низкими скоростями движения в ограниченной зоне охраны.

Данная работа базируется на многолетних исследованиях [1-5], проведённых коллективом факультета радиоэлектроники летательных аппаратов МАИ (НИУ) по разработке РЛС с высокими селективными свойствами, обеспечивающими работу в условиях интенсивных отражений от подстилающей поверхности. В ходе этих исследований был накоплен определённый опыт наблюдения малоразмерных объектов [6] и оценки удельных ЭПР (УЭПР) некоторых типов подстилающих поверхностей [7], который лёг в основу настоящей работы.

## **2. Недостатки существующих решений**

Задача охраны территорий и обнаружения малоразмерных объектов (например человека) на фоне отражений от земной поверхности не нова. Традиционные электронные системы охраны (радиолучевые, радиоволновые, оптические и акустические) весьма разнообразны и в целом достаточно эффективны. Такие системы, как правило, ориентированы на обнаружение нарушителя, который уже проник на охраняемую территорию или в здание. Это касается, в частности, систем видеонаблюдения; они зачастую с помощью устройства видеозаписи могут лишь подтвердить факт вторжения после того, как он уже произошёл.

В то же время система охраны должна обеспечивать по возможности низкую вероятность ложных срабатываний. Причины ложных тревог могут

быть различными. Система может, например, среагировать при появлении в зоне охраны птиц или мелких животных. Сигнал тревоги может появиться при сильном ветре, граде или дожде. Кроме того, ложная тревога может возникнуть из-за “технологических” причин: неграмотный монтаж датчиков, неправильная настройка электронных блоков или просто неудовлетворительное инженерное состояние самой ограды, которая может, например, вибрировать при сильном ветре. Известны случаи срабатывания радиолучевых систем охраны при образовании снежного покрова, при интенсивном листопаде и т.п. Несмотря на широкую номенклатуру выпускаемых периметровых систем охраны, как отечественных, так и импортных, выбрать наиболее эффективную систему, отвечающую специфическим требованиям объекта, довольно сложно. При выборе и проектировании системы приходится учитывать множество факторов — тип ограды, топографию и рельеф местности, возможность выделения полосы отчуждения, наличие растительности, соседство железных дорог, эстакад и автомагистралей, наличие линий электропередач. Таким образом, основные недостатки традиционных систем охраны территории и специальных объектов сводятся к следующим:

- позднее обнаружение попытки вторжения;
- трудность или невозможность идентификации нарушителя;
- сильная зависимость от метеоусловий;
- необходимость регулярного обслуживания контрольной полосы;

- сложность развертывания и монтажа;
- невозможность зачастую использования на передвижных объектах (необходимость наличия оборудованной полосы отчуждения);
- невозможность обнаружения попыток вторжения с воздуха (при помощи беспилотных или дистанционно пилотируемых летательных аппаратов, сверхлёгких летательных аппаратов – парашютов, планирующих парашютов и т.п.).

Перспективная система охраны территории должна включать определенный набор возможностей, некоторые из которых перечислены ниже:

- возможность раннего обнаружения нарушителя — еще до его проникновения на охраняемую территорию,
- независимость параметров системы от метеорологических условий (дождь, снег, туман, дымка) и времени суток,
- невосприимчивость к внешним факторам “нетревожного” характера: индустриальным помехам, шуму проходящего рядом транспорта, перемещению мелких животных и птиц, образованию сугробов снега, изменению характеристик подстилающей поверхности и т.п.
- возможность слежения за нарушителем после его доступа на охраняемый объект для его скорейшей нейтрализации,
- возможность охраны мобильных объектов, малое (нулевое) время развёртывания,

- возможность обнаружения попыток вторжения с воздуха.

С учётом изложенного выше очевидно преимущество радиолокационных средств обнаружения для решения поставленных задач. Рассмотрим основные ТТХ известных обзорных РЛС (см. табл. 1).

Основные ТТХ некоторых обзорных РЛС

Таблица 1.

Параметр:	Наименование РЛС					
	Фара	Кредо	Гамма-ПВ	Атлантика-Т	Окапи	ММБРЛС
Ширина ДНА в азимутальной плоскости, град	4	3 (1.6)	1	0.22	0,6	<b>2.2°</b>
Скорость обзора в азимутальной плоскости, град/с	6	5-10	8	120-240	10	<b>60</b>
Сектор обзора в азимутальной плоскости, град	180	180	180-360	360	360	<b>120</b>
Разрешение по дальности, м	50-100	75	200	8-10	25-100	<b>7.5</b>
Максимальная дальность, м	6 000	15 000	15 000	15 000	15 000	<b>8 000</b>

Как видно из таблицы 1, ММБРЛС в режиме охраны находится в целом на уровне существующих современных обзорных РЛС. При этом главный и принципиально не устранимый недостаток использования специализированных решений – необходимость их приобретения, установки и введения в строй, обучения персонала, несение эксплуатационных издержек.

### 3. Использование ММБРЛС в режиме охраны

Применение уже имеющегося радиолокационного оборудования при

расширении его функциональности позволяет решить поставленные задачи без дополнительных издержек со стороны пользователя.

Основной задачей режима ОХРАНА в ММБРЛС является обнаружение несанкционированного приближения к зоне охраны и нарушение её границ малоразмерными объектами. Формальное требование обнаружения цели с известным ЭПР на определённой дистанции не является строгим, без определения УЭПР фоновой поверхности, по которой приближается нарушитель. Тем не менее, практически все существующие фоновые поверхности формируют эхо-сигнал соизмеримый с отражением от малоразмерных целей. Таким образом, необходимое условие функционирования режима ОХРАНА – это обеспечение подавления мешающих отражений от подстилающей поверхности.

При обнаружении малоразмерных целей на фоне подстилающей поверхности основное влияние на характеристики обнаружения оказывает помеховый сигнал фона в элементе разрешения. В этом случае характеристикой обнаружения является вероятность обнаружения конкретной цели на заданном фоне. Одним из основных факторов, определяющих эффективность обнаружения малоразмерной цели на фоне отражений от земной поверхности, является разрешающая способность РЛС. Чем меньше площадь элемента разрешения, тем меньше помеховый сигнал фона в этом элементе и тем выше вероятность обнаружения цели. При этом под целью мы понимаем такой объект, размеры которого меньше размеров элемента разрешения РЛС, т.е.

объект полностью размещается внутри одного элемента разрешения. Для целей с величиной ЭПР  $1 \text{ м}^2$  и менее такое условие, как правило, справедливо [8].

Селекция движущихся целей (СДЦ) и измерение радиальной скорости движения цели могут быть основаны на использовании эффекта Доплера [9].

Среди известных методов СДЦ наиболее эффективным является частотный метод [8], основанный на использовании различий спектрально-корреляционных характеристик полезных сигналов, отраженных от движущихся целей и неподвижных помех. Этот метод обычно используется в когерентных РЛС при импульсном режиме излучения сигналов.

Наряду с частотными методами СДЦ используются также методы пространственной и временной селекции, которые могут применяться как в когерентных, так и в некогерентных РЛС. Следует отметить, что в ряде тактических ситуаций целесообразно применять комбинированные системы СДЦ, основанные как на частотном, так и на пространственно-временных методах селекции.

Межобзорная селекция, как метод пространственно-временной селекции, возможна, если отметка движущейся цели переместится по элементам дальности и азимута в соответствии со скоростью и направлением движения от обзора к обзору. При этом отметки пассивных помех, которые практически не меняют своего положения, могут быть скомпенсированы [6].

Поскольку в режиме ОХРАНА, ММБРЛС закрепляется неподвижно над поверхностью, то естественный выбор – обзор зоны ответственности реальным

лучом антенны. В режиме используется излучение, прием и соответствующая когерентная обработка частотно-манипулированных сигналов (ЧМС) с внутриимпульсной линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ). Использование ЧМС позволяет ограничить уровень помехи неоднозначности по дальности и повысить частоту повторения импульсов. В режиме предусмотрено разрешение по дальности 7.5 м.

На рисунке 1 приведены зависимости отношения сигнал/шум для цели с ЭПР  $0.3 \text{ м}^2$  от дальности ( $R$ ) при УЭПР фоновой поверхности  $\sigma_0 = -30 \text{ дБ}$ . Из данных графиков следует, что требуемое отношение сигнал/шум не менее 20 дБ для решения задачи обнаружения цели может быть обеспечено на дальностях до 1.5 км. Соответственно цель с ЭПР порядка  $1 \text{ м}^2$  (например, человек) будет обнаруживаться на ещё большей дальности, а катер или автомобиль – во всей зоне работы РЛС.

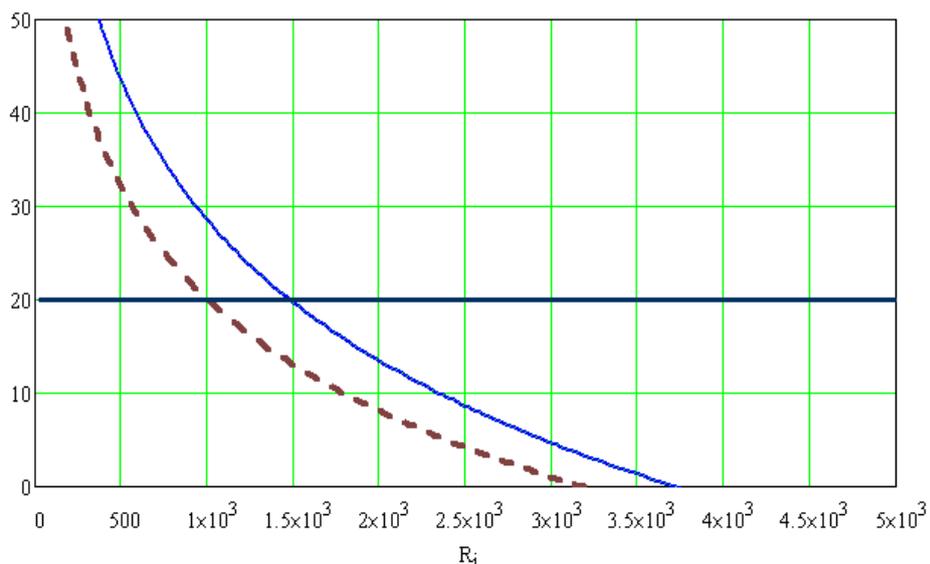


Рисунок 1. Зависимость отношения сигнал/шум (в дБ) от дальности (в метрах) показан синим и уровень фоновых отражений (показан коричневым)

Значение отношения сигнал/фон порядка 7-8 дБ на дальности 1500 м не достаточно для требуемого обнаружения цели на фоне отражений от поверхности, поэтому необходимо применить процедуры СДЦ с коэффициентом подавления не менее 10 дБ. Такими процедурами являются, например, череспериодная компенсация (ЧПК) и межобзорная селекция. Выбор конкретной процедуры зависит от скоростных характеристик цели и корреляционных свойств подстилающей поверхности.

#### **4. Выводы**

Расширение функциональности проектируемых радиолокационных систем - естественный путь снижения издержек для потребителей. В ходе работ эскизно-технического проекта ОКТР «Разработка и организация высокотехнологичного производства малогабаритной многорежимной бортовой радиолокационной системы Ku – диапазона волн для оснащения перспективных беспилотных и вертолетных систем» проведена оценка возможности введения специализированного режима охраны в ММБРЛС. Расчёты показали возможность достижения целевых показателей, при этом общие ТТХ, в несвойственном для проектируемой бортовой РЛС режиме охраны, находятся на уровне современных обзорных РЛС.

*Результаты достигнуты в ходе реализации комплексного проекта*

*«Разработка и организация высокотехнологичного производства*

*малогабаритной многорежимной бортовой радиолокационной системы Ки – диапазона волн для оснащения перспективных беспилотных и вертолетных систем» при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) по договору с Минобрнауки России от «01» декабря 2015 г. № 02.G36.31.007.*

### **Библиографический список**

1. Канащенков А.И., Матвеев А.М., Новиков С.В. Возможности применения малогабаритного цифрового радара в самолетной авиации // Труды МАИ, 2016. №89: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=73354>
2. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Ананенков А.Е., Коновальцев А.В. Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации – ключ к повышению информационных возможностей РЛС // Материалы Первой международной конференции «Сверхширокополосные сигналы и сверхкороткие импульсы в радиолокации, связи и акустике», Суздаль, 27-29 сентября 2005. – 360 с.
3. Ананенков А.Е., Коновальцев А.В., Нуждин В.М., Соколов П.В., Скосырев В.Н. Особенности применения короткоимпульсных зондирующих сигналов в перспективных РЛС обзора пространства // Материалы 2-й Российской научно-технической конференции «Радиовысотометрия - 2007», Каменск-Уральский, октябрь 2007. - 397 с.
4. Ананенков А.Е. Коновальцев А.В., Нуждин В.М., Расторгуев В.В., Скосырев В.Н. Многофункциональный аэродромный радиолокатор по

технологии СКИРЛ // Конгресс ICAS-2014, Санкт-Петербург, 7-12 сентября 2014. URL:

[http://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2014/data/papers/2014\\_0146\\_paper.pdf](http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2014/data/papers/2014_0146_paper.pdf).

5. Ананенков А.Е., Марин Д.В., Нуждин В.М., Расторгуев В.В., Скосырев В.Н. Экспериментальная оценка подавления отражений от подстилающей поверхности в РЛС с высоким пространственным разрешением // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции «Радиооптические технологии в приборостроении», Небуг, 20-25 августа 2015. С. 94-100.
6. Ананенков А.Е., Скосырев В.Н. Применение сверхкороткоимпульсных сигналов в РЛС малой дальности. - М: Эдитус, 2015. - 138 с.
7. Исаков М.В., Нуждин В.М., Соколов П.В., Усачев В. А., Шнайдер В.Б. Отражения от водной поверхности при использовании сверхкороткоимпульсного зондирующего сигнала // Труды МАИ, 2014, № 76: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=50117>
8. Зубкович С.Г. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. - М.: Советское радио, 1968. – 224 с.
9. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. - М.: Радио и связь, 1986. – 228 с.