

УДК 621.391, 621.396

## **ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ**

**В. Н. Скосырев**

**Научно-исследовательский институт радиоэлектронной техники  
МГТУ им. Н.Э. Баумана**

Получена 26 июля 2012 г.

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы повышения информативности радиолокационных систем за счёт применения различных ветвей технологии сверхширокополосных зондирующих сигналов.

**Ключевые слова:** Сверхширокополосные сигналы, сверхкороткоимпульсная радиолокация, твердотельные АФАР.

**Abstract:** The increase of informativity of radar systems with the help of application of various branches of technology of super-broadband radar signals is considered.

**Keywords:** Super-broadband signals, radar with ultra short impulse, a solid state active phased array antenna.

В настоящее время практически во всех современных информационных системах радиолокаторы являются основным и наиболее универсальным информационным датчиком вследствие малой зависимости от метеофакторов и возможности оценивать координаты и скорость объекта. Следовательно, повышение их информационных возможностей является постоянно актуальной задачей.

Однако на пути к созданию высокоинформативного радиолокатора до сего времени имеются трудности и ограничения технического и экономического характера. В то же время бурное развитие микроэлектроники, СВЧ и цифровой элементной базы уже сейчас позволяют реально осуществить шаги по созданию высокоинформативных радиолокаторов различного назначения. Рассмотрим некоторые пути и методы повышения

информативности радиолокаторов. Наиболее часто и успешно для повышения информативности используются методы, базирующиеся на пространственной и частотно- временной селекции.

Пространственная селекция определяется, в значительной степени, параметрами диаграммы направленности антенны (ДНА). На её параметры оказывают влияние назначение радиолокатора и габаритно-конструкторские ограничения. Действительно, для высококомобильных и переносных радиолокаторов невозможно применять крупногабаритные антенны, чтобы получить узкую ДНА, однако это успешно реализуется в стационарных системах. Ограничения на габариты антенны радиолокаторов военного назначения накладывают требования визуальной скрытности и высокой мобильности. Безусловно, внедрение в радиолокационную практику фазированных антенных решеток (ФАР) и активных ФАР позволяет применять различные методы повышения пространственного разрешения.

Особенно широкие возможности для формирования различного вида ДНА открывают цифровое формирование ДНА в приемных антенных решетках. Эти методы стали доступны к реализации вследствие существенного прогресса в цифровой элементной базе. Однако следует заметить, что повышение селекции выше, чем определено апертурой (габаритами) антенны требует высокого отношения сигнал/шум, т.е. приводит к снижению рубежей обнаружения. Кардинальное повышение пространственной избирательности достигается при применении разнесенного приема. Но это усложняет и удорожает РЛС и снижает ее мобильность. В настоящей статье рассмотрим интенсивно развивающиеся в последние годы частотно-временные методы повышения информативности РЛС и некоторые аспекты сочетания данных технологий с технологией пространственной селекции.

Известно, что расширение полосы генерируемых и обрабатываемых частот это признанный путь повышения информационных характеристик радиоэлектронных систем. Первоначально, в радиолокационных системах расширение полосы зондирующего сигнала (ЗС) реализовывалось при

применении сигналов с внутриимпульсной модуляцией. Причем, толчком к применению этих типов ЗС явилась необходимость повысить энергетический потенциал РЛС при ограниченной импульсной мощности передающих устройств. Однако для реализации потенциальных возможностей данной технологии по достижению высокой разрешающей способности по дальности, определяемой шириной спектра зондирующего сигнала, потребовались специальные устройства компрессии, а также методы снижения боковых лепестков автокорреляционной функции (АКФ) сигналов [1], неизбежно возникающих при таких методах обработки ЗС. Кроме того, при применении в РЛС данного типа ЗС предъявляются высокие требования к частотным и фазовым характеристикам трактов, а также к линейности трактов в широком динамическом диапазоне. Последний фактор оказывает особенно негативное влияние на селекцию (обнаружение) малоразмерных целей на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности и местных предметов. Расширение полосы обрабатываемых частот, обеспечивая высокую разрешающую способность по дальности, потенциально позволяет использовать дальностный портрет сложных целей обусловленный высокой разрешающей способностью по дальности для задачи распознавания классов целей.

Однако из-за значительной ракурсной изменчивости достаточно сложно создавать банк данных по дальностным портретам при применении ЗС с внутриимпульсной модуляцией. Имеются так же сложности в селекции малоразмерных целей на фоне отражений от подстилающей поверхности. Например при применении ЛЧМ ЗС удаётся реализовать подавление фоновых отражений на уровне 45-50 дБ.

Понятно, что применение для этой цели непрерывных ЗС обеспечивает обнаружение движущихся целей на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности. Однако при этом методе не оцениваются координаты дальности до цели. Применение непрерывных ЗС типа ЧМ, ФМ и квазинепрерывных сигналов позволяет наряду с селекцией от мешающих

отражений получить оценку дальности, но только движущихся целей (необходимо наличие частоты Доплера), при этом при непрерывных ЗС требуется длительный информационный контакт, что приводит к значительному увеличению времени обзора пространства. Однако увеличение времени обзора особенно неприемлемо для большого класса РЛС, применяемых в качестве средств обнаружения и целеуказаний (ЦУ) в охранных и диспетчерских системах аэропортов и морских портов, в многофункциональных РЛС современных ЗРК и ЗРПК малой дальности и в других классах РЛК.

Уменьшение длительности радиоконтакта повышает электромагнитную скрытность, что является важным аспектом для снижения уязвимости от противорадиолокационных ракет [2]. Другим методом повышения информационных характеристик РЛС за счет использования широкой полосы частот является технология сверхкороткоимпульсных сигналов (СКИ). Данная технология, являясь одной из ветвей рассмотренной выше технологии сверхширокополосных сигналов (СШС), в свою очередь, распадается на две ветви – технологии видеолокации и технологии сверхкороткоимпульсной радиолокации (СКИРЛ).

Общностью этих технологий является использование в качестве ЗС – одиночного импульса – в первой видеоимпульса, а во второй радиоимпульса, т.е. импульса с внутриимпульсным высокочастотным заполнением. В обеих этих технологиях применяются импульсы длительностью единицы и десятки нс.

Технология видео или «ударной» радиолокации [3], начиная с 70-х г. прошлого столетия успешно развивается в радарх сверхближней дальности и, в первую очередь, в георадарах. Однако применению этой технологии для РЛС классического назначения препятствует сложность в реализации антенных систем с достаточно высокой пространственной направленностью.

Технология СКИРЛ при своей реализации не предъявляет сложных требований к антенным системам. Для обеспечения ЗС длительностью 10 нс

достаточно мгновенной полосы пропускания 250-300 МГц. Это легко реализуемое требование для антенных систем большинства РЛС дм, см и мм диапазона. Имеются некоторые ограничения по применению технологии СКИРЛ в сканирующих ФАР с большой апертурой в обеспечении широкого сектора электронного сканирования.

Первые работы по применению технологии СКИРЛ в РЛС с антеннами зеркального типа начались в 80-х годах прошлого столетия в НПО «Алмаз» в содружестве с институтом РАН [4]. Однако развитие данной технологии длительное время сдерживалось из-за отсутствия необходимой элементной базы, в первую очередь, цифровой, способной обеспечить преобразование аналоговых сигналов наносекундной длительности в цифровой код и дальнейшую обработку в реальном масштабе времени. Поэтому промышленное освоение и изучение технологии СКИРЛ стало возможным в начале данного столетия.

Технология СКИРЛ привлекательна для повышения информационных возможностей РЛС из-за ряда присущих ей специфических особенностей. Это, в первую очередь, высокая разрешающая способность по дальности (1-2 м), а также ряд уникальных потребительских свойств. Специфические особенности СКИРЛ обусловлены малым импульсным объемом и отсутствием боковых лепестков у автокорреляционной функции (АКФ) ЗС.

Эти специфические свойства определяют ряд новых потребительских качеств технологии СКИРЛ, в том числе:

- обнаружение с однозначным измерением координат малоразмерных объектов, в том числе малоподвижных и неподвижных, на фоне интенсивных отражений от подстилающей поверхности;
- высокая (1-2 м) разрешающая способность по дальности и точность (20-30 см) измерения координат по дальности;
- обнаружение и измерение координат малоразмерных целей в непосредственной близости (на расстоянии 3-5 м) объектов с большой ЭПР (перепад в ЭПР до 40-50 дБ);

- возможность селекции целей в плотной группе за счет высокой разрешающей способности по дальности;
- высокая помехозащищенность от пассивных и активных помех;
- обнаружение целей в непосредственной близости от радиолокатора («мертвая воронка» 6-10 м);
- возможность распознавания типов и классов целей по дальностному портрету;
- высокая детализация радиолокационной карты местности и ее хорошее совпадение с топографической картой;
- возможность реализации режима радиовидения
- высокая электромагнитная скрытность от средств РТР;
- хорошая электромагнитная совместимость и экологическая безопасность.

Экспериментальное изучение и подтверждение специфических свойств и особенностей технологии СКИРЛ выполнено на макете РЛС по технологии СКИРЛ [5], созданном в рамках НИР «Залет». Этот радиолокатор создан предприятиями промышленности и вузов (МАИ и МГТУ им. Н.Э.Баумана). На рисунках 1, 2, 3 приведены результаты, иллюстрирующие возможности технологии СКИРЛ. Так, на рисунке 1 приведены сцена и радиолокационное изображение (РЛИ), иллюстрирующие высокую (1-2м) разрешающую способность по дальности и наблюдение объектов (люди, автомобиль) на фоне местности.

На рисунке 2 приведены сцена и радиолокационное изображение на первичном индикаторе РЛС, иллюстрирующие реализацию режима радиовидения.

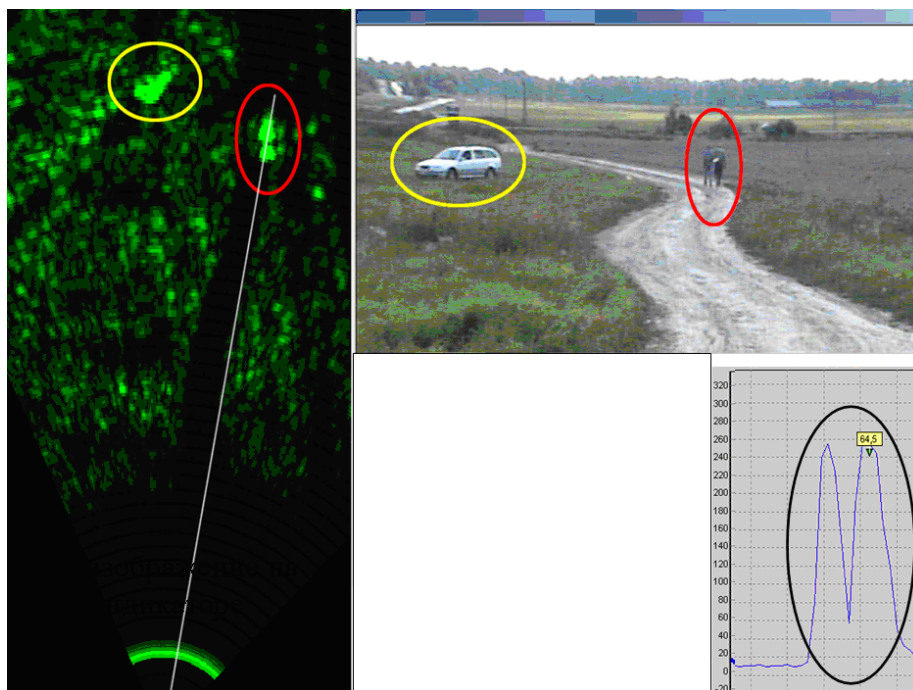


Рис.1. Сцена и радиолокационное изображение объектов (люди, автомобиль) на фоне местности.

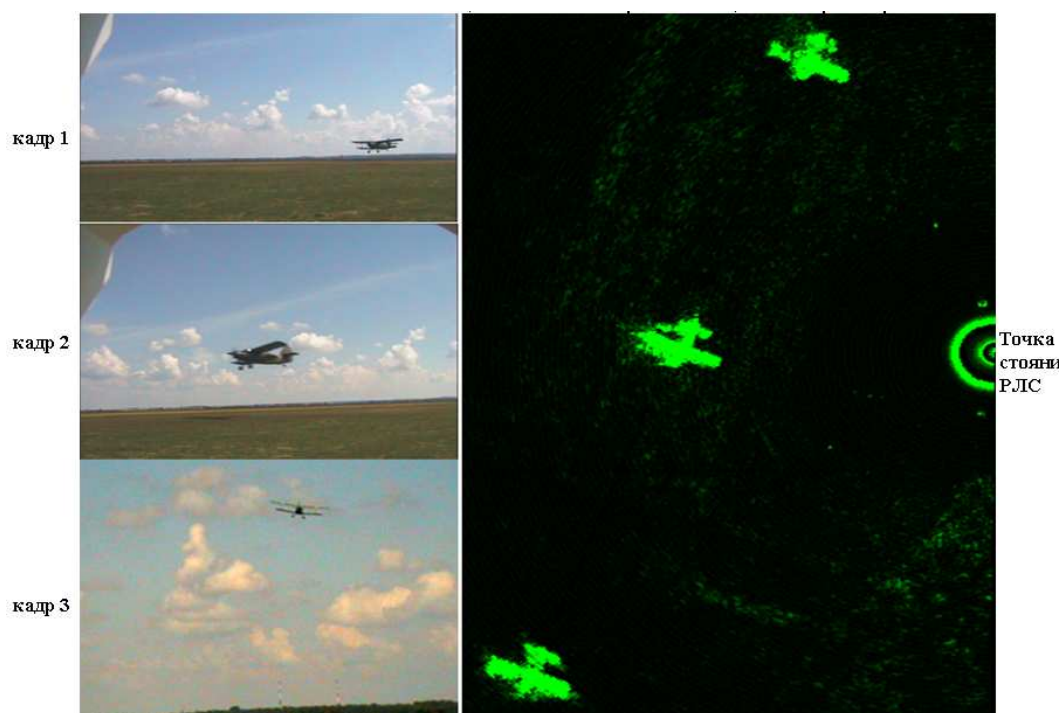


Рис.2. Сцена и радиолокационное изображение на первичном индикаторе РЛС, иллюстрирующие реализацию режима радиовидения.

На рисунке 3 проиллюстрировано обнаружение малоразмерного объекта (человека) на фоне отражений от подстилающей поверхности и искусственных объектов со значительной ЭПР при применении селекции «по положению», т.е. без использования эффекта Доплера.

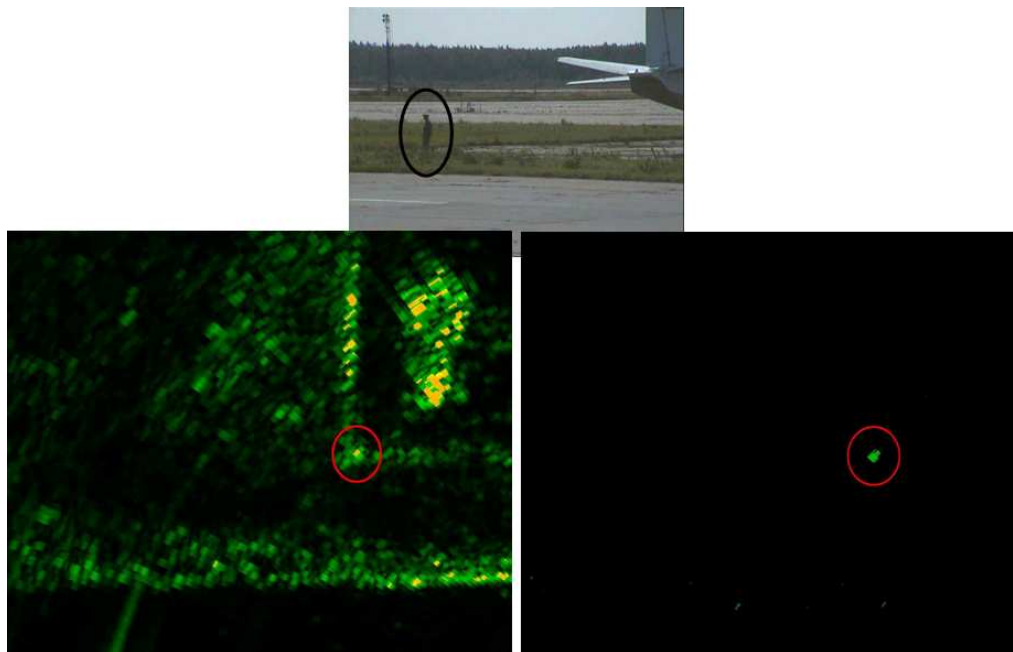


Рис.3. Обнаружение малоразмерного объекта (человека) на фоне отражений от подстилающей поверхности и искусственных объектов со значительной ЭПР при применении селекции без использования эффекта Доплера.

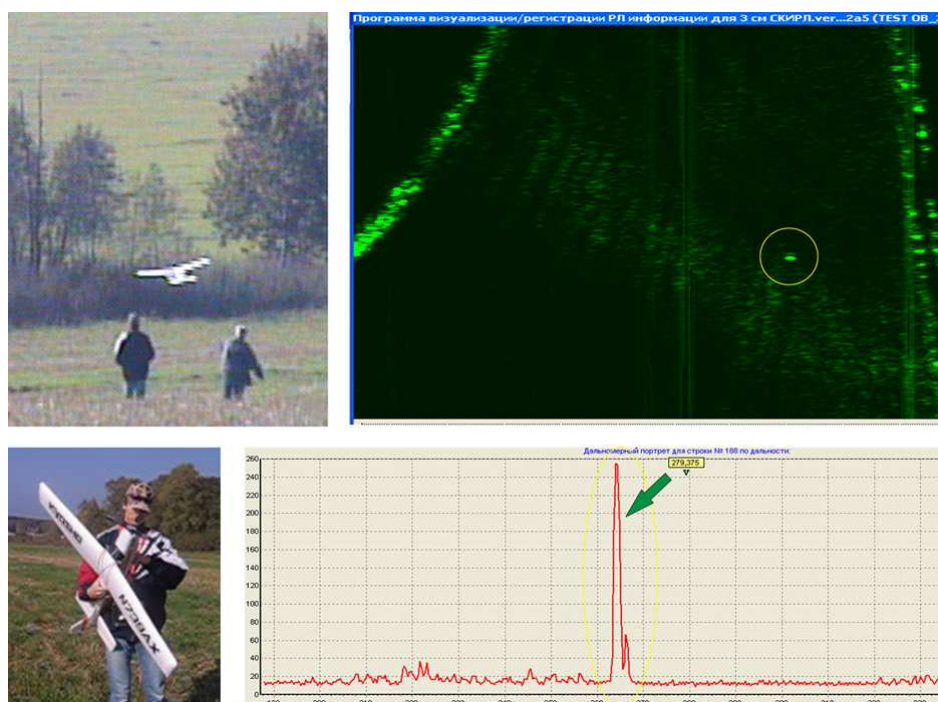


Рис.4. Фото и радиолокационное изображение наблюдения малоразмерного ДПЛА.



Современная твердотельная СВЧ элементная база, цифровая и вычислительная техника позволяют для повышения информативности РЛС гибко и динамично использовать все ветви технологии широкополосных ЗС. Поясним это тезис на примере РЛС мониторинга воздушного наземного и водного пространства охранных систем прибрежной зоны. При работе под малым или нулевым углом места в пределах радиогоризонта (20-30 км) обнаружение надводных и низколетящих воздушных целей ведется на фоне отражений от подстилающей поверхности. Здесь целесообразно применить СКИ ЗС с однозначной дальностью, что обеспечит решение задачи обнаружения-распознавания с высоким темпом обзора пространства (1-2с  $360^0$  по азимуту). Обнаружение целей в более дальней зоне можно осуществлять ЗС с большей энергетикой, например ЛЧМ или ФКМ. Такое сочетание 2-х типов сигналов с однозначной дальностью обеспечит высокий темп обзора пространства и высокую разрешающую способность по дальности и точность измерения дальности (0,2-0,5 м).

Этот режим особенно актуален для твердотельных передатчиков, в том числе и для твердотельных АФАР, поскольку у транзистора средняя и пиковая мощность одинакова и сочетание 2-х типов СШС ЗС обеспечит оптимальное распределение энергии по пространству – в ближней зоне используется менее энергетический сигнал (СКИРЛ), что облегчает селекцию целей на фоне отражений от подстилающей поверхности и более энергоемкий ЗС (типа ЛЧМ) в дальней зоне, где мешающие отражения менее интенсивны. Поскольку СКИРЛ и ЛЧМ имеют разную длительность (разница 500-1000 раз), то за счет применения зондирующих сигналов с разной скважностью в едином цикле зондирования, снижается средняя мощность и облегчается решение проблемы отвода тепла от выходного каскада твердотельного усилителя мощности ППМ АФАР.

Технология СКИРЛ сама, а также в сочетании с технологией СШС с внутриимпульсной модуляцией позволяет создать новое поколение

высокоинформативных многофункциональных наземных и бортовых радиолокаторов.

### Литература

1. В.Н. Скосырев, В.М. Нуждин, А.В. Коновальцев, А.Е. Ананенков  
Технология сверхкороткой радиолокации. Состояние и тенденции развития, сб.  
"Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике", 2006 г.,  
Муром.
2. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба. Основы  
теории. /М.: Вузовская книга, 2011.
3. Иммореев И.Я. Сверхширокополосные радары: новые возможности,  
необычные проблемы, системные особенности // Вестник МГТУ. Сер.  
Приборостроение, 1998, № 4. - С. 25-56.
4. Скосырев В.Н., Осипов М.Л. Особенности и свойства  
короткоимпульсной радиолокации //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия  
«Приборостроение». – 1999. -№4. –с.21-30.
5. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Ананенков А.Е., Коновальцев А.В. –  
«Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации – ключ к повышению  
информационных возможностей РЛС», Первая международная конференция  
«Сверхширокополосные сигналы и сверхкороткие импульсы в радиолокации,  
связи и акустике», г.Суздаль, 27-29 сентября 2005г.