

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.396.96

**Семашко  
Павел Геннадьевич**

**СКРЫТНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ МАЛОВЫСОТНЫХ ЦЕЛЕЙ  
ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ АНАЛОГОВОГО И ЦИФРОВОГО  
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ ПОДСВЕТА**

Специальность 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы  
и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Минск 2006**

Работа выполнена на кафедре радиотехнических систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Охрименко А. Е. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Алевкурп»)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Косачев И. М. (Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»)

кандидат технических наук, доцент  
Шумский П. Н. (Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБ Радар»)

Опонирующая организация: Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»

Защита состоится 26 октября 2006 г. в 14:00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.02 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П.Бровки, 6 (1 уч. корп.), ауд. 232, тел. 293-89-89.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Автореферат разослан 25 сентября 2006 г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы диссертации**

Радиолокация с посторонним подсветом, полуактивная радиолокация, пассивная когерентная локация (passive coherent location), идея которой заключается в использовании для подсвета существующих мощных излучений передатчиков, начала интенсивно развиваться в Беларуси и за рубежом в 90-х годах XX века. К 2000 г. в Беларуси, США и Франции созданы и испытаны первые образцы радиолокационных систем (РЛС), работающих по излучению передатчиков аналогового телевидения (ТВ) и радиостанций в УКВ диапазоне.

В настоящее время развитие этой области радиолокации идет в направлении улучшения технических характеристик систем, увеличения их гибкости и функциональности. Это достигается путем совершенствования методов первичной и вторичной обработки сигналов, а также расширения номенклатуры сигналов, используемых для подсвета. Последнее направление приобрело особую актуальность в связи с проходящими во всем мире процессами перехода к цифровому ТВ и радиовещанию, а также в связи с перспективой улучшения характеристик обнаружения и разрешения полуактивных (ПА) РЛС при использовании этих широкополосных сигналов.

Настоящая диссертация посвящена изучению характеристик цифрового телевизионного (ЦТВ) сигнала (стандарт DVB-T) как радиолокационного сигнала подсвета, разработке методов обработки этого сигнала в РЛС и способов совмещения (комплексирования) обработки сигналов аналогового и цифрового ТВ, исследованию ожидаемых характеристик РЛС с ТВ подсветом. Аналогичные работы ведутся в Великобритании и США. Таким образом, Беларусь остается в числе ведущих стран в области скрытной радиолокации.

Результаты настоящей диссертации позволят в Беларуси создать ПА РЛС, работающую с ЦТВ сигналом. Ввод в эксплуатацию таких РЛС является наиболее экономичным решением проблемы контроля воздушного пространства на малых высотах, что позволит предотвратить или предупредить контрабанду наркотиков и оружия с использованием сверхлегкой авиации и другие преступления. Кроме того, нельзя не учитывать гипотетическую угрозу локальных конфликтов, которые регулярно случаются в современном мире и характеризуются близостью зоны военных действий к мирным населенным территориям. Непревзойденным достоинством ПА РЛС является абсолютная скрытность

(отсутствие собственного излучения) и возможность работать от близко расположенных передатчиков сопредельных государств.

### **Связь работы с крупными научными программами, темами**

Исследования по скрытной радиолокации с использованием сигнала аналогового ТВ выполнялись в 1996–2000 гг. в рамках проекта «Поле» (Распоряжение Президента Республики Беларусь от 17.07.1996 г. №212). Логическим продолжением этих работ явились исследования по скрытной радиолокации с использованием ЦТВ сигнала.

### **Цели и задачи исследования**

Целью данной работы является дальнейшее развитие теории и техники скрытных РЛС, направленное на повышение их тактико-технических характеристик, в связи с началом ЦТВ вещания.

Для достижения указанной цели решаются следующие задачи.

1) Анализ ЦТВ сигнала как радиолокационного сигнала подсвета, определение потенциальных характеристик обзора и разрешения, определение места ЦТВ сигнала среди других широковещательных сигналов, пригодных для скрытной радиолокации.

2) Разработка методов обработки ЦТВ сигнала в РЛС и способов комплексирования с обработкой сигналов аналогового ТВ, позволяющих достичь наилучших тактико-технических характеристик.

3) Анализ характеристик обнаружения скрытных РЛС и определение эффекта от использования ЦТВ сигнала.

### **Объект и предмет исследования**

Объект исследования – бистатическая РЛС с подсветом от широковещательных сигналов.

Предметом исследования является структура и характеристики ЦТВ сигнала в сравнении с характеристиками других широковещательных сигналов, алгоритмы обработки сигналов, их вычислительная сложность, характеристики разрешения и обнаружения сигналов на фоне помех, зоны обнаружения РЛС.

### **Методология и методы проведенного исследования**

Ведущую роль в получении новых результатов диссертации играет метод математического моделирования, с помощью которого получались реализации сигналов аналогового и цифрового ТВ, вычислялись их спектры, автокорреляционные функции (АКФ), функции неопределенности (ФН), гистограммы, моделировались алгоритмы обработки сигналов в РЛС и анализировались их результаты, рассчитывались характеристики

обнаружения и различения, зоны обнаружения. При моделировании применялись также методы спектрального анализа сигналов, метод статистического моделирования и статистической обработки результатов вычислений, численные методы интегрирования. Для изучения вклада различных составляющих ЦТВ сигнала в форму его АКФ применялся метод исключения (составляющие поочередно исключались из математической модели). При разработке алгоритмов обработки сигналов для уменьшения их вычислительной сложности применялся общепризнанный метод «разделяй и властвуй». Анализ характеристик обнаружения и различения производился с использованием методов статистической радиотехники. Для представления характеристик обнаружения с учетом множества факторов в диссертации разработан и используется «метод зон обнаружения».

### **Научная новизна и значимость полученных результатов**

1. Впервые подробно исследованы характеристики и свойства ЦТВ сигнала как радиолокационного сигнала подсвета – его АКФ, ФН, статистические свойства для всех возможных режимов вещания («2К», «8К») и возможных параметров формирования этого сигнала. В отличие от работ других исследователей, не только установлена связь между составляющими ЦТВ сигнала (пилот-сигналами) и стационарными боковыми пиками АКФ и ФН, но и дана количественная оценка уровня и положения этих пиков, что необходимо для правильной оценки характеристик обнаружения. Установлено, что суммарные энергетические потери при режекции этих нежелательных составляющих не превысят 2 дБ. Однако в режиме «8К» режекция не обязательна, поскольку, боковые пики АКФ и ФН в диапазоне задержек 0...895 мкс не превышают –26 дБ. Кроме того, впервые установлено, что поскольку ЦТВ сигнал имеет не только угловую, но и амплитудную модуляцию, то при корреляционной обработке происходит неполная (частичная) его демодуляция, а, следовательно, прямой ЦТВ сигнал в РЛС не может быть подавлен путем его демодуляции и последующей спектральной режекции.

2. Впервые исследована арифметическая сложность (АС) корреляционной обработки ЦТВ сигнала и получена аналитическая зависимость, которая показывает, что АС приблизительно пропорциональна ширине спектра сигнала и квадрату времени когерентного накопления. Данная зависимость указывает на возможные способы снижения сложности обработки, а также на то, что платой за это снижение является ухудшение характеристик разрешения и обнаружения. Анализ зависимости АС, характеристик обнаружения и разрешения от ширины спектра сигнала и времени наблюдения позволил предложить два пути снижения сложности

обработки. Первый путь заключается в сокращении используемой ширины спектра ЦТВ сигнала до величины, обеспечивающей необходимую и достаточную разрешающую способность по дальности цели, что позволяет, например, снизить АС в 20 раз при требуемом разрешении по дальности 315 м. Второй путь основан на известном принципе «разделяй и властвуй», который реализован в новом двухэтапном алгоритме обработки ЦТВ сигнала. На первом этапе производится разрешение сигнала по задержке, а на втором – по частоте Доплера. При этом проблема неизвестного доплеровского сдвига на первом этапе решается путем преднамеренного закругления разрешающей способности по этому параметру (путем уменьшения времени наблюдения). АС нового двухэтапного алгоритма в 66 раз меньше по сравнению с традиционным многоканальным коррелятором матричного типа с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) при сохранении потенциальной разрешающей способности по времени запаздывания и доплеровской частоте.

3. Получила дальнейшее развитие идея комплексирования каналов обработки с целью уменьшения количества просматриваемых элементов по задержке и частоте Доплера за счет разделения задачи разрешения отраженного сигнала в двумерном пространстве «время запаздывания – частота Доплера» на две задачи разрешения отдельно по времени запаздывания и по частоте Доплера (метод «разделяй и властвуй»). В отличие от РЛС, использующей только сигнал аналогового ТВ и имеющей три канала обработки (несущей сигнала изображения, сигнала яркости (СЯ), сигнала звукового сопровождения (ЗС)), при комплексировании сигналов аналогового и ЦТВ достаточно двух каналов (несущей сигнала изображения аналогового ТВ, сигнала ЦТВ). При этом количество просматриваемых элементов разрешения уменьшается на 2 порядка.

4. Для представления характеристик обнаружения РЛС предложено использовать новый «метод зон обнаружения». До настоящего времени повсеместно используется параметр максимальной дальности обнаружения, который упрощенно представляет зону обнаружения активной РЛС в форме круга и бистатической РЛС – в форме овала Кассини. Отличительной особенностью нового метода является расчет вероятности правильного обнаружения (ПО) в каждой точке пространства (с заданной дискретностью), что позволяет учесть явления интерференции, рефракции, форму поверхности Земли, направление прихода прямого сигнала и другие явления в соответствии с выбранной моделью. Новый метод способствует изучению особенностей влияния на характеристики РЛС всевозможных факторов. Зоны обнаружения, полученные этим методом, подчеркнули особую важность учета интерференционных явлений и необходимость разработки

эффективных методов уменьшения интерференционных разрывов. Сравнительный анализ РЛС, использующих сигналы аналогового и цифрового ТВ, проведенный методом зон обнаружения, показал, что с помощью таких РЛС возможно обнаружение с вероятностью 0,9 малоразмерных (ЭПР  $1 \text{ м}^2$ ), маловысотных (30–300 м) и малоскоростных (10 м/с и выше) целей на дальностях, сравнимых с дальностью прямой видимости (20–100 км), однако при радиальной скорости цели менее 50 м/с ЦТВ сигнал имеет преимущество перед аналоговым.

### **Практическая значимость полученных результатов**

В диссертации решается важная научно-техническая задача радиолокации с использованием сигналов ТВ вещания. Полученные результаты являются научной основой для создания такой РЛС. В них содержатся ответы на три практически важных вопроса: 1) насколько пригоден ЦТВ сигнал для радиолокации; 2) как осуществлять обработку этого сигнала и совмещать с обработкой сигналов аналогового ТВ; 3) какие характеристики будет иметь новая РЛС и как они улучшатся по сравнению с имеющимися аналогами.

В Республике Беларусь созданием скрытных РЛС занимается научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Алевкурп». Там планируется доработка имеющегося экспериментального образца РЛС каналом обработки ЦТВ сигнала с использованием результатов, полученных в настоящей диссертации. В последующем возможен серийный выпуск таких систем для нужд РБ и на экспорт. Например, для оснащения западной границы Беларуси потребуется всего 8 РЛС общей стоимостью порядка 10 млн. USD. Это позволит предотвратить различные нарушения границ с использованием легкой авиации (контрабанда, нелегальная миграция и пр.), наносящие государству экономический и политический ущерб, масштабы которого в настоящее время трудно оценить ввиду отсутствия контроля воздушного пространства на малых высотах.

Значительный интерес к скрытным РЛС проявляется в странах Азии и Ближнего Востока. Поэтому данную РЛС следует рассматривать и как коммерческий продукт для экспорта на внешний рынок.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

1. *Результаты анализа характеристик и свойств комплексного непрерывного шумоподобного ЦТВ сигнала как радиолокационного сигнала подсвета скрытных РЛС:*

- сигнал обеспечивает однозначное определение дальности и сверхнеобходимую (избыточную) разрешающую способность по дальности порядка 20 м;

- сигнал обеспечивает однозначное определение доплеровского смещения частоты отраженного сигнала и разрешающую способность по доплеровской частоте, обратную времени наблюдения;

- сигнал содержит, кроме угловой, амплитудную модуляцию, из-за чего не обеспечивается полная демодуляция прямого сигнала при его свертке с опорным сигналом, поэтому подавление прямого сигнала путем его демодуляции и последующей спектральной режекции оказывается невозможным;

- подавление прямого ЦТВ сигнала скрытых РЛС, как и аналогового ТВ сигнала, возможно только путем его электродинамического экранирования сферической земной поверхностью и пространственной когерентной автокомпенсации.

2. *Разработанная концепция уменьшения сложности корреляционной обработки ЦТВ сигнала* путем сокращения используемой части его спектра до величины, обеспечивающей только потребную (достаточную) разрешающую способность по дальности, либо путем разделения двумерной задачи обнаружения отраженного сигнала в пространстве «время запаздывания – частота Доплера» на две одномерные задачи, с отрицанием кажущейся привлекательной идеи деления спектра ЦТВ сигнала на фрагменты и когерентного или некогерентного объединения корреляционных интегралов этих фрагментов.

3. *Разработанные в рамках этой концепции два двухэтапных алгоритма обработки.* В одном алгоритме комплексировается обработка аналогового ТВ сигнала изображения и ЦТВ сигнала, причем на первом этапе производится обнаружение отраженной от цели несущей аналогового ТВ сигнала изображения с разрешением по доплеровской частоте, а на втором этапе производится разрешение отраженного ЦТВ сигнала по времени запаздывания при нацеливании корреляторов на доплеровскую частоту отраженного сигнала, обнаруженного на первом этапе. В другом алгоритме обрабатывается только ЦТВ сигнал, причем на первом этапе производится его корреляционное обнаружение с грубым разрешением по частоте Доплера (за счет малого времени наблюдения) и с потенциальным разрешением по времени запаздывания, а на втором этапе – разрешение по доплеровской частоте сигнала, демодулированного с помощью коррелятора, нацеленного по времени запаздывания отраженного сигнала, обнаруженного на первом этапе.

4. *Развитый «метод зон обнаружения»,* заключающийся в расчете вероятности ПО цели в каждой точке пространства (с заданной дискретностью), позволяющий учесть явления интерференции, рефракции, форму поверхности Земли, положение фазового центра (фазовых центров)



антенны РЛС по высоте и другие явления в соответствии с выбранной моделью, а также результаты сравнительного анализа характеристик обнаружения скрытных РЛС, использующих для подсвета сигналы аналогового и цифрового ТВ, методом «зон обнаружения»:

- с помощью ЦТВ сигнала подсвета возможно обнаружение с вероятностью 0,9 маловысотных (30–300 м), малоразмерных ( $1 \text{ м}^2$ ) и малоскоростных (10 м/с и выше) целей на дальностях, сравнимых с дальностью прямой видимости (20–100 км);

- аналогичные результаты имеют место при использовании аналогового ТВ сигнала подсвета для обнаружения целей с радиальной скоростью более 50 м/с, при меньших скоростях дальность обнаружения целей существенно сокращается (при 10 м/с примерно в 2 раза), что свидетельствует о преимуществе ЦТВ сигнала подсвета при обнаружении малоскоростных целей.

### **Личный вклад соискателя**

Представленные результаты получены соискателем при научном руководстве, при этом анализ характеристик ЦТВ сигнала, анализ эффективности подавления прямого сигнала РЛС методом демодуляции, разработка концепции снижения сложности обработки, разработка двухэтапного алгоритма обработки сигнала ЦТВ, сравнительный анализ алгоритмов обработки, разработка метода «зон обнаружения», анализ эффективности устранения интерференционных разрывов зон обнаружения при приеме на две антенны выполнены соискателем лично.

В то же время выражения для расчета характеристик обнаружения и результаты сравнительного анализа зон обнаружения скрытных РЛС получены совместно автором диссертации и Охрименко А. Е. Идея использования сигналов аналогового и цифрового ТВ для радиолокационного подсвета целей, а также идея использования двух разнесенных по высоте антенн для уменьшения интерференционных разрывов зон обнаружения предложена Охрименко А. Е. Принципы и устройства временной обработки сигналов аналогового ТВ с заложенной в них идеей комплексирования каналов, которая была развита автором диссертации, разработаны преимущественно Гейстером С. Р., Шаляпиным С. В. и Охрименко А. Е. Идея учета формы диаграммы направленности основной антенны РЛС и методика ее расчета, примененная при расчете зон обнаружения, принадлежит Шаляпину С. В.

### **Апробация результатов диссертации**

Результаты исследований, включенные в диссертацию, докладывались на: II Международной научно-технической конференции «Современные

средства связи» (Беларусь, Нарочь, 22–26 сентября 1997 г.); II Международной научно-технической конференции «Современные методы цифровой обработки сигналов» (Беларусь, Минск, 24–27 июня 1998 г.); III Международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Украина, Харьков, 20–23 апреля 1999 г.); II Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (Беларусь, Новополоцк, 15–17 мая 2002 г.); IX Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» (Россия, Воронеж, 22–24 апреля 2003 г.); школе-семинаре аспирантов и соискателей кафедр радиотехнических систем и радиотехнических устройств Бел. гос. университета информатики и радиоэлектроники «Актуальные вопросы современных радиоэлектронных систем» (Минск, 31 января 2005 г. и 27 марта 2006 г.).

### **Опубликованность результатов**

По материалам диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 7 статей в научных журналах и сборниках, 6 статей в сборниках трудов конференций, 2 депонированные рукописи, 1 описание к патенту РБ. Общий объем опубликованного материала – 114 страниц.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех основных глав, заключения, библиографического списка, а также семи приложений. Полный объем диссертации составляет 193 страницы, включая 37 рисунков на 20,5 страницах, 8 таблиц на 4 страницах, библиографический список из 55 источников на 5 страницах, 7 приложений на 91 странице.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показана актуальность темы диссертации, кратко охарактеризовано современное состояние техники скрытных ПА РЛС в Республике Беларусь и за рубежом, определено направление дальнейшего развития этих систем, на основании чего обоснованы задачи исследования.

**В первой главе** обобщен опыт построения ПА РЛС с посторонним подсветом, рассмотрены сигналы подсвета, их возможности, проблемы и перспективы.

При рассмотрении принципов скрытной радиолокации кратко изложены известные методы обнаружения и определения координат (азимута, дальности, радиальной скорости) цели в бистатической РЛС. Подчеркнуто, что основной помехой этих РЛС является прямой сигнал, перечислены известные способы увеличения отношения сигнал/помеха (ОСП): электродинамическое экранирование прямого сигнала и мешающих отражений, пространственная автокомпенсация прямого сигнала, поляризационная и спектральная селекция отраженного сигнала, оптимальный выбор базы РЛС.

При рассмотрении источников сигнала подсвета ПА РЛС определены требования к ним: пространственное и временное покрытие, частотный диапазон, вид ФН, стабильность характеристик. Этим требованиям наиболее удовлетворяют сигналы наземного ТВ вещания, радиовещания в диапазоне УКВ (с частотной модуляцией), сотовых систем связи и, особенно, перспективные (находящиеся на стадии освоения) сигналы цифрового наземного ТВ и радиовещания.

Радиолокация с использованием сигналов аналогового ТВ вещания (несущей сигнала изображения, СЯ, сигнала ЗС) рассматривается как ближайший прототип для РЛС с использованием ЦТВ сигнала. Кроме того, можно одновременно использовать все эти сигналы, комплексируя (совмещая) их обработку в РЛС. Поэтому в диссертации исследуются АКФ и ФН сигнала ЗС и СЯ по оригинальной методике, основанной на компьютерной обработке реальных ТВ изображений и звуковых фрагментов. В результате установлено, как могут изменяться АКФ и ФН этих сигналов в течение трансляции. Для устранения неоднозначности определения дальности при использовании СЯ в дополнение к известному методу (различение гипотез однозначной дальности с использованием сигнала ЗС), предложены 2 новых: 1) различение гипотез с использованием декоррелированного СЯ и 2) траекторный метод. Методами статистической радиотехники показано, что различение по декоррелированному СЯ значительно проигрывает различению по сигналу ЗС. Анализ траекторного метода показал его недостаточную точность. Методами статистической радиотехники проанализированы также характеристики обнаружения с использованием различных составляющих – несущей, СЯ, сигнала ЗС. Показано, что при радиальной скорости цели более 50 м/с наилучшие характеристики обнаружения дает использование несущей. При меньших скоростях цели несущая отраженного сигнала оказывается зашумлена спектром межстрочных флуктуаций прямого СЯ.

Таким образом, основными недостатками сигналов аналогового ТВ являются нестабильность характеристик, проблема однозначного

определения дальности и значительное ухудшение характеристик обнаружения малоскоростных целей.

**Во второй главе** исследуются характеристики сигнала ЦТВ вещания стандарта DVB-T как радиолокационного сигнала подсвета.

Вначале кратко рассматриваются основные параметры и принцип формирования ЦТВ сигнала методом OFDM, который заключается в модуляции рандомизированным цифровым потоком большого количества (1705 в режиме «2К» или 6817 в режиме «8К») ортогональных несущих, равномерно распределенных в полосе канала, в результате чего спектр сигнала имеет форму, близкую к прямоугольной и ширину  $\Delta f_{\text{ОП}} = 7,61$  МГц. Это должно обеспечить разрешающую способность по дальности цели  $\Delta r = c/(2\Delta f_{\text{ОП}}) = 19,7$  м, где  $c$  – скорость света. Выпускаемые передатчики ЦТВ сигнала имеют достаточную мощность (0,1...20 кВт).

Исследование АКФ и ФН сигнала ЦТВ производится методом моделирования с помощью разработанной автором программы в среде МАТЛАВ. Установлено, что АКФ (рис. 1, а) и ФН (рис. 1, б) в целом имеют вид кнопочной функции, но содержат и стационарные боковые пики, обусловленные наличием в составе ЦТВ сигнала распределенных и непрерывных пилот-сигналов, а также защитного интервала. Максимальные уровни этих пиков достигают  $-14$  дБ, но средний уровень боковых лепестков АКФ и ФН достаточно мал ( $-54$  дБ). Методом исключения при моделировании определена принадлежность боковых пиков АКФ к тем или иным составляющим ЦТВ сигнала. Положение и уровни этих пиков также обоснованы теоретически исходя из структуры ЦТВ сигнала. Оценены энергетические потери от режекции нежелательных составляющих, которые не превышают 2 дБ. Боковые пики АКФ и ФН сигнала ЦТВ в режиме «8К» в рабочем диапазоне задержек коррелятора РЛС не превышают  $-26$  дБ, так что их режекция не обязательна. Методом моделирования установлено, что ЦТВ сигнал может рассматриваться как стационарный комплексный гауссов случайный процесс.

Основной вывод – ЦТВ сигнал обеспечивает однозначное определение дальности цели с разрешением порядка 20 м, однозначное определение скорости цели с разрешением, определяемым временем наблюдения.

**В третьей главе** разрабатываются алгоритмы временной обработки ТВ сигналов в ПА РЛС с целью обнаружения отраженного сигнала, определения его времени запаздывания и доплеровского сдвига. При разработке алгоритмов решается задача уменьшения сложности обработки при сохранении на приемлемом уровне характеристик обнаружения и разрешения.

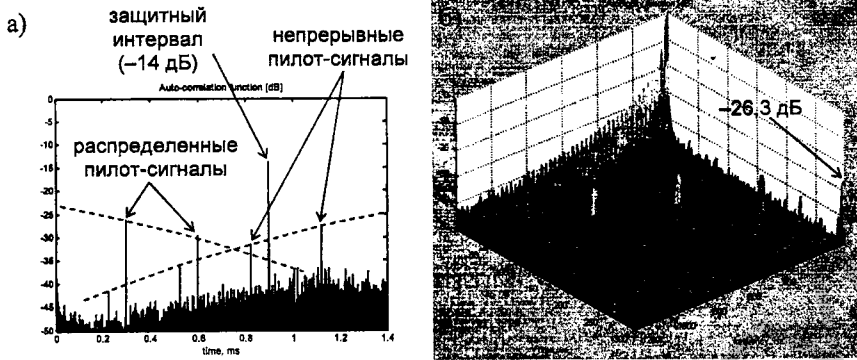


Рис. 1. АКФ (а) и ФН (б) сигнала ЦТВ в режиме «8К»

Вначале рассматривается матричный коррелятор, многоканальный по времени запаздывания и частоте Доплера, как устройство оптимальной обработки сигнала с неизвестной задержкой и доплеровским сдвигом. Для обработки ЦТВ сигнала потребуется порядка 487000 каналов из расчета на максимальную радиальную скорость цели 300 м/с и максимальную дальность 100 км. При времени анализа 120 мс матричный коррелятор должен иметь огромное быстродействие порядка  $12 \cdot 10^{12}$  арифметических операций в секунду.

Затем рассматривается матричный коррелятор, в котором свертка выполняется в частотной области с применением быстрого преобразования Фурье (БПФ). Коррекция доплеровского сдвига также выполняется в частотной области. Требуемое быстродействие устройства составляет  $3 \cdot 10^{10}$  арифметических операций в секунду, что в 397 раз меньше, чем в предыдущем случае.

На основании аналитически установленной зависимости арифметической сложности, разрешающей способности по времени и частоте, энергетической эффективности алгоритма обработки от времени наблюдения и ширины спектра обрабатываемого сигнала разработана концепция снижения сложности обработки.

Сложность может быть снижена при использовании некоторой части (фрагмента) спектра ЦТВ сигнала, поскольку этот сигнал обеспечивает избыточное разрешение по дальности цели. При этом пропорционально снижается и энергия полезного сигнала. Рассмотрена идея сохранения энергии за счет сложения сигналов отдельных спектральных фрагментов перед корреляционной обработкой. Аналитически показано и подтверждено методом моделирования, что сложение оказывается не синфазным. Если же фрагменты объединять некогерентно (после корреляционной обработки), то практически отсутствует выигрыш по вычислительным затратам.

Для снижения вычислительных затрат предлагаются два алгоритма, основанных на разделении двухмерной задачи обработки в пространстве «время запаздывания – частота Доплера» на две одномерные. В первом алгоритме на первом этапе производится корреляционное обнаружение отраженного сигнала, с грубым разрешением по частоте Доплера (за счет малого времени наблюдения) и с потенциальным разрешением по времени запаздывания. На втором этапе производится уточнение доплеровской частоты отраженного сигнала, демодулированного с помощью коррелятора, нацеленного по времени запаздывания отраженного сигнала, обнаруженного на первом этапе. Во втором алгоритме используется комплексирование обработки сигналов аналогового и цифрового ТВ. При этом на первом этапе производится обнаружение отраженной от цели несущей аналогового ТВ сигнала изображения с разрешением по доплеровской частоте, а на втором этапе производится разрешение отраженного ЦТВ сигнала по времени запаздывания при нацеливании корреляторов на доплеровскую частоту отраженного сигнала, обнаруженного на первом этапе.

При сравнительном анализе алгоритмов показано, что наилучшие характеристики в совокупности имеет двухэтапный алгоритм обработки ЦТВ сигнала. Также хорошие характеристики имеет алгоритм с обработкой одного спектрального фрагмента ЦТВ сигнала (например, 1/16 часть) и двухэтапный алгоритм с комплексированием.

Рассмотрена проблема идентификации эхо-сигналов при работе ПА РЛС в одночастотной сети ЦТВ вещания, связанная с идентичностью сигналов, излучаемых различными передатчиками сети. Предложен алгоритм определения истинной дальности цели, основанный на геометрических соотношениях, указаны ограничения применения этого алгоритма и пути его дальнейшего совершенствования.

**В четвертой главе** производится анализ характеристик обнаружения отраженного сигнала на фоне помех (шум, прямой сигнал, мешающие отражения) при использовании для подсвета несущей сигнала изображения аналогового ТВ и сигнала цифрового ТВ.

Вначале рассмотрены известные методы подавления прямого сигнала и мешающих отражений и их эффективности, а также новый метод подавления прямого сигнала путем его демодуляции и спектральной режекции, предложенный Аль-Хетки и Фирсаковым для подавления прямого сигнала базовой станции сотовой системы связи. Аналитически показано и подтверждено методом моделирования, что прямой ЦТВ сигнал не может быть подавлен этим методом, поскольку он имеет не только фазовую, но и амплитудную модуляцию.

С использованием методов статистической радиотехники получено выражение для расчета характеристик обнаружения несущей аналогового ТВ

сигнала изображения (первый этап алгоритма с комплексированием), учитывающее наличие помех: шума, межстрочных флуктуаций СЯ в прямом сигнале и в мешающих отражениях. Так же получено выражение для расчета характеристик обнаружения ЦТВ сигнала, учитывающее влияние боковых лепестков АКФ сигнала ЦТВ, прямой сигнал и мешающие отражения.

Для представления характеристик обнаружения предложен новый «метод зон обнаружения», заключающийся в расчете вероятности ПО цели в каждой точке пространства (с заданной дискретностью), позволяющий учесть явления интерференции, рефракции, форму поверхности Земли, положение фазового центра антенны РЛС по высоте, азимут источника помех и другие явления в соответствии с выбранной моделью.

Для ПА РЛС с ТВ подсветом предложена методика расчета зон обнаружения, в которой используется модель распространения радиоволн над сферической земной поверхностью, учитывающая интерференцию прямой и отраженной волн, нормальную тропосферную рефракцию, ограниченность зоны прямой видимости. При этом используется известное аналитическое представление интерференционного множителя, в котором значение коэффициента отражения от земной поверхности получено на основе данных экспериментальных измерений мощности сигнала на местности, выполненных в научно-производственном республиканском унитарном предприятии «Алевкурп». При расчете зон обнаружения учитывалась форма ДН антенны целевого канала РЛС. Методика расчета зон реализована в программной среде MATHCAD.

Методом «зон обнаружения» проведен сравнительный анализ характеристик обнаружения цели: 1) с использованием несущей сигнала изображения при различных радиальных скоростях цели ( $V_{ц,рад} = 10, 50$  и  $150$  м/с) с ЭПР  $\sigma_{ц} = 1$  м<sup>2</sup> и высотой  $h_{ц} = 100$  м; 2) с использованием ЦТВ сигнала при различных алгоритмах обработки (матричном, матричном с использованием 1/16 части спектра, двухэтапном с уменьшенным временем наблюдения на первом этапе) при  $\sigma_{ц} = 1$  м<sup>2</sup> и  $h_{ц} = 100$  м; 3) с использованием как аналогового так и цифрового ТВ сигналов при различных высотах цели (30, 100 и 300 м) при  $\sigma_{ц} = 1$  м<sup>2</sup> и  $V_{ц,рад} = 50$  м/с; 4) как в пункте 3, но при  $\sigma_{ц} = 0,1$  м<sup>2</sup> и  $V_{ц,рад} = 10$  м/с; 5) как в пункте 4, но при высоте мачты антенны ТВ передатчика 100 м, а не 300 м. Примеры зон с вероятностями ПО  $D = 0,5; 0,8; 0,9$  показаны на рис. 2.

Исследована возможность уменьшения интерференционных разрывов в зонах обнаружения при приеме отраженного сигнала на две разнесенные по высоте антенны. Построенные зависимости интерференционного множителя от дальности цели показали, что при отношении высот фазовых центров приемных антенн равном 1,5 устраняется каждый второй разрыв, но не существует такого отношения, при котором устраняются все разрывы.

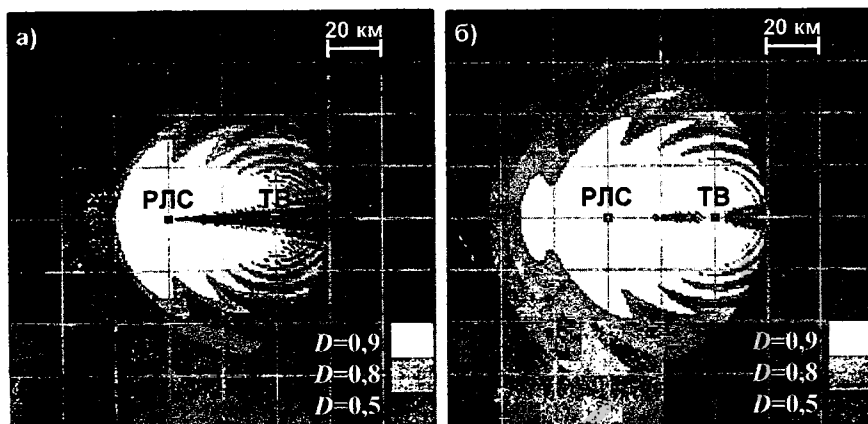


Рис. 2. Зоны обнаружения цели с  $\sigma_{ц} = 1 \text{ м}^2$ ,  $h_{ц} = 100 \text{ м}$ ,  $V_{ц, \text{рад}} = 10 \text{ м/с}$ :  
 а – при использовании несущей сигнала изображения аналогового ТВ;  
 б – при использовании 1/16 части спектра сигнала ЦТВ

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена решению важной прикладной задачи – скрытной радиолокации маловысотных целей при использовании подсвета от передатчиков аналогового и цифрового ТВ вещания. В результате проведенных теоретических исследований, подтвержденных преимущественно вычислительными экспериментами, получены и научно обоснованы следующие основные результаты.

1. С использованием новой методики исследованы АКФ и ФН сигналов аналогового ТВ вещания (СЯ и сигнала ЗС), что позволило качественно и количественно уточнить известные данные о структуре, ширине главного и уровне боковых лепестков АКФ и ФН. С использованием этих данных проанализированы и количественно оценены характеристики обнаружения различных составляющих отраженного ТВ сигнала на фоне помех, показано преимущество использования несущей ТВ сигнала изображения для обнаружения цели, а также нецелесообразность знакового алгоритма обработки СЯ. Исследованы различные способы устранения неоднозначности определения дальности цели при использовании СЯ, в том числе два новых: с декорреляцией СЯ и траекторный. Анализ характеристик различения гипотез однозначной дальности показал преимущество использования сигнала ЗС. [1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16]



2. Исследована структура, параметры, АКФ, ФН и статистические свойства сигнала ЦТВ вещания как радиолокационного сигнала подсвета скрытных РЛС. Исследование отличается всесторонностью (рассмотрены все режимы формирования ЦТВ сигнала) и количественной определенностью. Установлено, что ЦТВ сигнал обеспечивает однозначное определение дальности с разрешающей способностью порядка 20 м, однозначное определение доплеровского смещения частоты отраженного сигнала с разрешающей способностью, обратной времени наблюдения. Впервые установлено, что прямой ЦТВ сигнал, проникающий в целевой канал РЛС не может быть подавлен путем его демодуляции и последующей спектральной режекции, поскольку содержит, кроме угловой, амплитудную модуляцию. [4]

3. Впервые исследована проблема вычислительной сложности обработки ЦТВ сигнала, связанная со сверхразрешением по дальности. На основании полученной зависимости сложности корреляционной обработки ЦТВ сигнала от ширины его спектра и времени когерентного накопления разработана концепция, включающая конкретные пути уменьшения сложности при контролируемом ухудшении характеристик обнаружения и разрешения. Показана несостоятельность идей уменьшения сложности, связанных с делением спектра ЦТВ сигнала на фрагменты и когерентным или некогерентным объединением корреляционных интегралов этих фрагментов. [4]

4. В рамках указанной концепции разработаны алгоритмы временной обработки сигналов аналогового и цифрового ТВ и оценены их характеристики. Предложено сократить используемую при обработке часть спектра ЦТВ сигнала до величины, обеспечивающей только требуемую (достаточную) разрешающую способность по дальности (например, 315 м при использовании 1/16 части спектра). Разработан новый двухэтапный алгоритм обработки ЦТВ сигнала, который обеспечивает потенциальное разрешение по дальности и скорости цели и при этом требует в 3 раза меньших вычислительных затрат, чем алгоритм с обработкой 1/16 части спектра ЦТВ сигнала при одинаковых характеристиках обнаружения. Также развита идея комплексирования обработки составляющих сигнала аналогового ТВ и предложен алгоритм с использованием несущей сигнала изображения для обнаружения отраженного сигнала, отличающийся тем, что разрешение по времени запаздывания производится с использованием ЦТВ сигнала. [4]

5. Развита «метод зон обнаружения», заключающийся в расчете вероятности ПО цели в каждой точке пространства (с заданной дискретностью), позволяющий, в отличие от известных, представлять характеристики обнаружения цели с учетом интерференции и рефракции

радиоволн, формы поверхности Земли, положения фазового центра антенны РЛС по высоте, азимута источника помех и других явлений в соответствии с выбранной моделью. Разработана методика расчета зон обнаружения и получены новые результаты сравнительного анализа скрытных РЛС, из которых следует, что при использовании для подсвета сигналов аналогового и цифрового ТВ возможно обнаружение с вероятностью 0,9 маловысотных (30–300 м) малоразмерных ( $1 \text{ м}^2$ ) малоскоростных (10 м/с и выше) целей на дальностях, сравнимых с дальностью прямой видимости (20–100 км), однако при радиальной скорости цели менее 50 м/с ЦТВ сигнал имеет преимущество перед аналоговым. [6, 7, 13, 14]

Полученные результаты определяют облик РЛС с ТВ подсветом, их потенциальные возможности и ожидаемые технические характеристики, что является научной основой для создания в Республике Беларусь скрытных, экономичных, экологичных РЛС, которые позволят решить существующую проблему контроля воздушного пространства на малых высотах, а также являются привлекательным объектом экспорта на рынки Азии и Ближнего Востока.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научных журналах и сборниках

1. Семашко П. Г., Шаляпин С. В., Васильев А. Г., Романов А. В., Новак В. А. Радиолокационный обзор по дальности и скорости на базе телевизионного сигнала яркости с использованием программируемых логических интегральных схем // Радиотехника и электроника: Республиканский межвед. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 1998. – Вып. 23. – С. 37–41.
2. Семашко П. Г., Шаляпин С. В., Романов А. В., Новак В. А. Испытания многоканального коррелятора ТВ сигнала яркости бистатической РЛС // Радиотехника и электроника: Республиканский межвед. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 1999. – Вып. 24. – С. 61–65.
3. Семашко П. Г. Статистическая модель телевизионного сигнала яркости для анализа коррелятора РЛС с телевизионным подсветом // Радиотехника и электроника: Республиканский межвед. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2000. – Вып. 25. – С. 58–61.

4. Семашко П.Г., Охрименко А.Е. Скрытная радиолокация с использованием сигналов цифрового телевизионного вещания // Доклады НАНБ. – 2005. – №6. – С. 37–41.
5. Семашко П. Г., Охрименко А. Е. Характеристики обнаружения телевизионного сигнала яркости в радиолокационной системе с посторонним подсветом // Доклады БГУИР. – 2005. – №2(10). – С. 60–64.
6. Семашко П. Г., Шаляпин С. В., Охрименко А. Е. Зоны обнаружения скрытных радиолокационных систем с телевизионным подсветом // Вестник Военной академии РБ. – 2005. – №3(8). – С. 45–49.
7. Фирсаков А. А., Хишам М. Аль-Хетки, Семашко П. Г. Оценка возможностей по обнаружению целей полуактивного радиолокатора с подсветом от GSM-станции сотовой связи // Сборн. науч. статей Военной академии РБ. – 2006. – №10. – С. 56–62.

#### **Статьи в сборниках трудов конференций**

8. Семашко П. Г. Корреляционное различение гипотез однозначной дальности в РЛС с телевизионным подсветом // Радиолокация, навигация, связь: Материалы IX междунауч.-техн. конф., Россия, Воронеж, 22–24 апреля 2003 г. – Воронеж, 2003. – Т. 3. – С. 1393–1403.
9. Семашко П. Г. Метод детерминированной выборки в статистическом моделировании // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы II междунауч.-техн. конф., Беларусь, Новополоцк, 15–17 мая 2002 г. / Полоцкий гос. ун-т. – Новополоцк, 2002. – Т. 2. – С. 252–255.
10. Семашко П. Г. Обнаружение непрерывных сигналов с амплитудной модуляцией // Современные методы цифровой обработки сигналов: Материалы II междунауч.-техн. конф., Беларусь, Минск, 24–27 июня 1998 г. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1998. – С. 158–162.
11. Семашко П. Г., Охрименко А. Е. Влияние амплитудного ограничителя на уровень боковых лепестков по частоте в знаковом корреляторе // Радіоелектроніка і молодь у ХХІ ст.: Збірник наукових праць за матеріалами 3-го Міжнародного молодіжного форуму, Харків, 20–23 квітня 1999 р. / Харків. держ. техніч. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 1999. – Ч. 1. – С. 32–35.
12. Семашко П. Г., Охрименко А. Е. Потери при амплитудном ограничении телевизионного сигнала изображения в цифровом знаковом корреляторе // Современные средства связи: Материалы II междунауч.-техн. конф.,

Беларусь, Нарочь, 22–26 сент. 1997 г. / Известия Белорусской инженерной академии. – Минск, 1997. – №1(3)/1. – С. 164–168.

13. Фирсаков А. А., Хишам М. Аль-Хетки, Семашко П. Г. Полуактивные РЛС с подсветом от базовых GSM-станций сотовой связи: принципы построения и возможности // Сборн. тезисов докл. VIII науч.-техн. конф. Военной академии РБ, Беларусь, Минск, 30–31 марта 2006 г. / Воен. академия РБ. – Минск, 2006. – С. 203.

#### **Депонированные рукописи**

14. Ивлев И. И., Романов А. В., Семашко П. Г., Охрименко А. Е. Оптимизация базы активной бистатической РЛС / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 1998. – 12 с. – Деп. в БелИСА 13.11.1998. – № Д199882 // Реферат. сб. – Минск: БелИСА, 1999. – Вып. 1(12). – С. 77.
15. Семашко П. Г. Моделирование алгоритмов обработки телевизионного сигнала яркости в бистатической РЛС / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2002. – 35 с. – Деп. в БелИСА 02.07.2002. – № 200258 // Реферат. сб. – Минск: БелИСА, 2002. – Вып. 1(24). – С. 89.

#### **Патент**

16. Пат. 6850, МПК 7 G 01S 13/00, 13/02, 13/52. Полуактивная радиолокационная станция / Охрименко А.Е., Курлович В.И., Папушой В.И., Фирсаков А.А., Шаляпин С.В., Романов А.В., Новак В.А., Семашко П.Г. – №а20010814; Заявл. 27.09.2001; Оpubл. 30.03.2003 // Официальный бюллетень / Национальный центр интеллектуальной собственности Республики Беларусь. – 2003. – №1. – С. 56.



## РЭЗІЮМЭ

Сямашка Павел Генадзевіч

### Скрытная радыёлакацыя малавышынных цэляў пры камплексіраванні аналагавага і лічбавага тэлевізійных сігналаў падсвечвання

**Ключавыя словы:** паўактыўная радыёлакацыя, бістатычная РЛС, лічбавае тэлевізійнае вяшчанне, функцыя неазначальнасці, алгарытм, складанасць, зона, выяўленне, інтэрферэнцыя.

Аб'ект даследвання – бістатычная РЛС з тэлевізійным падсвечваннем. Прадмет даследвання – структура і характарыстыкі лічбавага тэлевізійнага сігнала, алгарытмы апрацоўкі сігналаў, іх вылічальная складанасць, характарыстыкі вырашэння і выяўлення сігналаў на фоне перашкод, зоны выяўлення.

Мэта работы – далейшае развіццё тэорыі і тэхнікі скрытных РЛС, накіраванае на павышэнне іх тактыка-тэхнічных характарыстык, у сувязі з пачаткам лічбавага тэлевізійнага (ЛТВ) вяшчання.

Метады даследвання: матэматычнага мадэліравання, спектральнага аналізу, статыстычнай радыётэхнікі, статыстычнага мадэліравання і статыстычнай апрацоўкі рэзультатаў, выключэння, «падзяляй ды пануй».

Даследваны характарыстыкі сігнала ЛТВ вяшчання як радыёлакацыйнага сігнала падсвечвання, які забяспечвае адназначнае ўстанаўленне далёкасці і хуткасці цэлі з высокім вырашэннем.

Распрацавана канцэпцыя памяншэння складанасці карэляцыйнай апрацоўкі гэтага сігнала шляхам змяншэння выкарыстоўваемай часткі спектра сігнала або шляхам падзялення задачы апрацоўкі на два этапы. Прапанаваныя алгарытмы апрацоўкі ЛТВ сігнала, а таксама сумеснай апрацоўкі ЛТВ сігнала ды нясухай аналагавага тэлевізійнага сігнала, маюць істотна ніжэйшую вылічальную складанасць у параўнанні з вядомымі пры захаванні прымальных характарыстык выяўлення і вырашэння.

Развіты «метады зон выяўлення», які дазваляе паказваць характарыстыкі выяўлення цэляў РЛС з улікам інтэрферэнцыі, рэфракцыі, формы паверхні Зямлі, вышыні фазовага цэнтру антэны РЛС ды іншых з'яваў. Метадам «зон выяўлення» атрыманы вынікі параўнальнага аналізу характарыстык выяўлення цэляў скрытных РЛС, што выкарыстоўваюць сігналы аналагавага ды ЛТВ вяшчання.

Вынікі працы будуць запатрабаваны пры распрацоўке скрытнай РЛС, у якой выкарыстоўваецца сігнал ЛТВ вяшчання, а таксама пры аналізе характарыстык выяўлення цэляў любых РЛС.

## РЕЗЮМЕ

Семашко Павел Геннадьевич

### Скрытная радиолокация маловысотных целей при комплексировании аналогового и цифрового телевизионных сигналов подсвета

**Ключевые слова:** полуактивная радиолокация, бистатическая РЛС, цифровое телевизионное вещание, функция неопределенности, алгоритм, сложность, зона, обнаружение, интерференция.

Объект исследования – бистатическая РЛС с телевизионным подсветом. Предмет исследования – структура и характеристики цифрового телевизионного сигнала, алгоритмы обработки сигналов, их вычислительная сложность, характеристики разрешения и обнаружения сигналов на фоне помех, зоны обнаружения.

Цель работы – дальнейшее развитие теории и техники скрытных РЛС, направленное на повышение их тактико-технических характеристик, в связи с началом цифрового телевизионного (ЦТВ) вещания.

Методы исследования: математического моделирования, спектрального анализа, статистической радиотехники, статистического моделирования и статистической обработки результатов, исключения, «разделяй и властвуй».

Исследованы характеристики сигнала ЦТВ вещания как радиолокационного сигнала подсвета, который обеспечивает однозначное определение дальности и скорости цели с высоким разрешением.

Разработана концепция уменьшения сложности корреляционной обработки этого сигнала путем уменьшения используемой части спектра сигнала либо путем разделения задачи обработки на два этапа. Предложенные алгоритмы обработки ЦТВ сигнала, а также совместной обработки ЦТВ сигнала и несущей аналогового телевизионного сигнала, имеют существенно меньшую вычислительную сложность по сравнению с известными при сохранении приемлемых характеристик обнаружения и разрешения.

Развит «метод зон обнаружения», позволяющий представлять характеристики обнаружения целей РЛС с учетом интерференции, рефракции, формы поверхности Земли, высоты фазового центра антенны РЛС и других явлений. Методом «зон обнаружения» получены результаты сравнительного анализа характеристик обнаружения целей скрытных РЛС, использующих сигналы аналогового и ЦТВ вещания.

Результаты работы будут востребованы при разработке скрытной РЛС, использующей сигнал ЦТВ вещания, а также при анализе характеристик обнаружения целей любых РЛС.

## SUMMARY

**Pavel G. Semashko**

### **Covert radar of low altitude targets with coprocessing of analog and digital TV illumination signals**

**Key words:** semiactive radar, bistatic radar, digital television broadcasting, ambiguity function, algorithm, complexity, zone, detection, interference.

The object of research is bistatic radar using television illumination. Subjects of research are structure and characteristics of digital television signal, signal processing algorithms, their computational complexity, characteristics of resolution and detection of signal against noise, zones of detection.

The purpose of the work is further development of theory and practice of covert radar, aimed at improvement of their performance characteristics, in connection with beginning of digital television (DTV) broadcasting.

Investigation methods are mathematical modeling, spectral analysis, statistical radio engineering, statistical modeling and analysis, method of exclusion, «separate and rule».

Characteristics of DTV broadcasting signal as radar illumination signal are investigated. This signal ensures unambiguous definition of target range and velocity with high resolution.

The conception of decreasing of complexity of correlation processing of the signal is developed. This conception implies decreasing of using spectrum width or division of signal processing task into two steps. Proposed algorithms of DTV signal processing as well as coprocessing of DTV signal and carrier of analog TV signal have essentially lesser computational complexity in comparison with known algorithms when characteristics of detection and resolution remain acceptable.

The method of zone of detection is developed. It allows producing characteristics of target detection taking into consideration interference, refraction, shape of the Earth surface, height of phase center of radar aerial and other phenomena. The results of comparative analysis of target detection characteristics of covert radars that uses analog and DTV broadcasting signals are obtained with the method of zone of detection.

The results of the work will be in demand on development of covert radar that uses DTV broadcasting signal as well as on analysis of target detection characteristics of any radar.

Семапко Павел Геннадьевич

СКРЫТНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ МАЛОВЫСОТНЫХ ЦЕЛЕЙ  
ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ АНАЛОГОВОГО И ЦИФРОВОГО  
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ ПОДСВЕТА

05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства  
радионавигации, радиолокации и телевидения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать	19.09.2006.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».		Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.		Тираж 60 экз.	Заказ 562.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛП №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6.