

ТОМСКИЙ ИНСТИТУТ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

На правах рукописи

Экз. №

КАРНЫШЕВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

УДК 621.396.96

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ КОНТРАСТ  
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Специальность 05.12.04 – радиолокация и радионавигация

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 1993

Работа выполнена в Томском институте автоматизированных систем управления и радиоэлектроники.

Научный руководитель -  
доктор технических наук,  
профессор В.Н.Татаринов

Официальные оппоненты -  
доктор физико-математических  
наук, профессор Г.А.Пономарев,  
кандидат технических наук,  
вед.н.с. Н.П.Красненко

Ведущее предприятие - Московский государственный университет гражданской авиации.

Защита состоится 21 декабря 1993г.  
на заседании специализированного совета Д.063.05.03 Томского  
института автоматизированных систем управления и радиоэлектроники.

Адрес : 634050 , г.Томск , пр.Ленина,40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского института автоматизированных систем управления и радиоэлектроники.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 1993г.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес института ученому секретарю.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
к.т.н., доцент



А.А.Кузьмин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы

Радиолокационное зондирование земной ( водной ) поверхности и метеообразований широко используется для решения задач управления воздушным движением (УВД), определения параметров метеообразований, обнаружения движущихся целей, обеспечения безопасного судоходства, и т.д. Техническими средствами для решения этих задач являются обзорные радиолокационные системы (ОРЛС), осуществляющие обнаружение объектов, измерение их параметров и формирующие панорамное РЛ изображение местности. Обзорные РЛС могут существенно отличаться друг от друга по техническим параметрам, сложности, стоимости и т.п. Однако для большинства из них характерна эксплуатация в сложной помеховой обстановке.

Так, например, появление в секторе обзора РЛС УВД сильных отражений от метеообразований приводит к ухудшению наблюдаемости летательных аппаратов (ЛА), снижая безопасность полетов. Значительные отражения от взволнованной водной поверхности, береговой линии и метеообразований не позволяют надежно опознавать РЛ навигационные ориентиры, препятствуя безопасной проводке судов в условиях пониженной видимости, в узкостях и на сложных фарватерах. Обзорные РЛС ЛА должны надежно оценивать степень опасности гидрометеоров на маршруте следования, обнаруживать цели на фоне метеообразований (отражений от земной поверхности), а также выделять наземные ориентиры независимо от облачности и осадков. Специализированные ОРЛС, препятствующие несанкционированному доступу в охраняемую зону, должны обнаруживать движущиеся объекты с малой эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР) в условиях помеховых отражений и т.д.

Таким образом, обязательным требованием, предъявляемым к ОРЛС, является эффективное выделение осредоточенных искусственных целей на фоне поверхностно (объемно)-распределенных объектов. Выполнение этого требования связано с задачей радиолокационного контраста наблюдаемых объектов, возникающей при сравнении параметров, характеризующих соседние элементы разрешения обзорной РЛС. Традиционно РЛ контраст определяется в виде отношения величин, пропорциональных эффективной поверхности рассеяния. Присутствие осредоточенной цели в одном из элементов разрешения локатора приводит к изменению ЭПР составного объекта по сравнению с распределенным объектом, что создает объективную основу для их распознавания по соответствующим

отметкам на радиолокационном изображении. Однако, если ЭПР распределенного объекта превышает ЭПР искусственной цели, то радиолокационный контраст (РЛК) двух объектов типа "фон" и "фон + цель" оказывается незначительным.

Улучшить наблюдаемость искусственных целей можно, уменьшив размеры элементарного объема разрешения ОРЛС или используя информацию о доплеровском смещении частоты сигнала, вызванном перемещением объекта, и т.п. Однако этот путь не всегда возможен из-за ограничений на размеры антенны, применения "простых" зондирующих сигналов, а также при обнаружении объектов с нулевой составляющей радиальной скорости. В таких случаях использование поляризационных характеристик наблюдаемых объектов становится единственным средством улучшения селективных возможностей ОРЛС. При этом переход к описанию рассеивающих свойств объектов с помощью поляризационных параметров позволяет ввести понятие "поляризационного контраста" (ПК), как частный случай радиолокационного контраста. Если два РЛ объекта имеют близкие величины ЭПР, но существенно различные значения некоторого поляризационного параметра, то поляризационный контраст этих объектов будет превышать соответствующую величину РЛК. Это позволяет сформировать контрастное радиолокационное изображение местности и повысить возможности ОРЛС по обнаружению и селекции объектов.

Несмотря на большое число работ в области РЛ поляриметрии, проблема оценки поляризационного контраста искусственных целей на фоне распределенных объектов остается на уровне теоретического моделирования, не подтвержденного экспериментальными результатами. Не определены условия, при которых использование поляризационных параметров при формировании радиолокационного изображения имеет преимущества по сравнению с величиной параметра ЭПР. Причиной этого является отсутствие общего подхода к оценке ПК двух РЛ объектов с произвольными величинами ЭПР и поляризационных инвариантов матриц рассеяния фонового образования и искусственной цели. Кроме того, использование поляризационных методов, имеющих ограниченное быстродействие, не позволяет исследовать влияние параметров движения цели на измеряемые поляризационные характеристики и на величину поляризационного контраста.

Из изложенного следует, что в настоящее время существует актуальная научно-техническая задача разработки процедуры оценки поляризационного контраста РЛ объектов и анализа возможностей использования поляризационных параметров в обзорных РЛС с низким разрешением с целью повышения эффективности выделения стационарных и переме-

защищенных искусственных целей на фоне распределенных образований.

#### Состояние вопроса

Одной из первых теоретических работ, в которых рассматривался поляризационный контраст РЛ объектов с произвольными поляризационными свойствами, является статья Козлова А.И. В ней был использован подход, позволяющий найти представления матриц рассеяния и соответствующих им энергетических матриц Грейвса двух объектов в некотором поляризационном базисе. Затем исследования поляризационного контраста (ПК) были начаты работами Костински, Бернера, Иоанидиоса, Танака и др. Однако полученные в них результаты оценки ПК связаны с использованием данных измерения обзорных РЛС с высоким разрешением или синтезированной апертурой и обработкой больших массивов данных вне реального масштаба времени.

В отечественной литературе основные теоретические положения, необходимые для выработки общего подхода к оценке поляризационного контраста объектов в обзорных РЛС с низким разрешением, сформулированы в работах Канарейкина Д.Б., Павлова Н.Ф., Потехина В.А., Богородского В.В., Козлова А.И., Татаринова В.Н., Хлусова В.А., Масалова Е.В. В этих работах обоснована возможность представления всего многообразия РЛ объектов двумя подмножествами типа "фон" и "фон + цель", получено представление обобщенной матрицы рассеяния произвольного РЛ объекта при выполнении теоремы взаимности, определены требования к матрице когерентности излучаемого потока для случая однопозиционного зондирования, выработан подход к определению поляризационной структуры суммы рассеянных потоков.

В настоящее время наиболее развитыми областями в РЛ поляриметрии являются радиометеорология и идентификация (селекция) целей. Измеряемые при этом поляризационные параметры являются, как правило, эмпирическими, инвариантными величинами, зависящими от взаимной ориентации собственного поляризационного базиса объекта и измерительной системы координат РЛС, а также от других факторов. Кроме того, для большинства теоретических и экспериментальных работ РЛ поляриметрии характерно предположение о наличии у наблюдаемых объектов линейных собственных поляризаций, тогда как в общем случае объекты РЛ зондирования могут обладать произвольными эллиптическими собственными поляризациями.

Большой объем данных РЛ наблюдения искусственных объектов на фоне подстилающей поверхности содержится в работах, проводимых в ТИАСУР. Особенностью этих исследований является измерение поляриза-

ционных параметров РЛ объектов двумя принципиально различными методами: модуляционным (одноканальным) и моноимпульсным (двухканальным). Полученные результаты однопозиционного зондирования распределенных и составных "фон + цель" объектов подтверждают факт существования поляризационного контраста РЛ целей этого типа.

Таким образом, существуют как теоретические, так и практические предпосылки для решения в общем виде задачи оценки поляризационного контраста двух РЛ объектов с произвольными поляризационными свойствами, а также для определения возможностей практического использования поляризационных параметров в ОРЛС.

#### Цель работы

Целью настоящей диссертационной работы является разработка и исследование процедуры оценки поляризационного контраста РЛ объектов по степени поляризационной анизотропии, а также экспериментальная проверка полученных теоретических результатов.

#### Научная новизна

1. Впервые получены аналитические выражения, определяющие преобразование матрицы когерентности излучаемого потока РЛ объектом "фон + цель" для произвольных инвариантов матриц рассеяния "фона" и "цели". Это дает возможность, задавая параметры статистической модели временных флуктуаций инвариантов МР распределенного и сосредоточенного объектов, получать количественные оценки поляризационного контраста малоразмерной искусственной цели, наблюдаемой на фоне поверхностно (объемно)-распределенного объекта.

2. Определены потенциальные возможности выделения целей типа трех (двух)-гранного РЛ отражателей и вырожденных целей типа вертикально и горизонтально ориентированных диполей на фоне распределенных объектов с конкретными параметрами статистической модели поляризационных инвариантов МР. Полученные результаты позволяют решать практические задачи по обнаружению малоразмерных целей при сильных помеховых отражениях от подстилающей поверхности.

3. Результаты статистического моделирования временных флуктуаций инвариантов МР фоновое образование позволяют уточнить природу экспериментальных данных измерения модуля степени поляризационной анизотропии реальных распределенных объектов (лесные покровы, волная поверхность, с/х уголья, пашни и т.д.).

4. Впервые доказано, что при определенных корреляционных свойствах флуктуаций инвариантов МР "фона" и конкретных отношениях ЭПР цель / фон, поляризационные параметры РЛ объекта "фон +

движущаяся цель" являются более чувствительными к перемещению "цели", чем параметр эффективной поверхности рассеяния.

Б. Проведены экспериментальные измерения поляризационного контраста по степени поляризационной анизотропии и радиолокационного контраста по ЭПР объектов типа "фон" и "фон + цель" для конкретных типов искусственных целей и подстилающей поверхности, представляющих самостоятельный интерес для специалистов в области радиолокации. Проведено сравнение чувствительности параметров ЭПР и поляризационной анизотропии составных объектов "фон + движущаяся цель" к перемещению различных искусственных объектов.

#### Практическая ценность работы

Предложенный аналитический подход к определению поляризационного контраста радиолокационных объектов типа "фон" и "фон + цель" о произвольными поляризационными свойствами "цели" и "фона" позволяет получить количественные оценки информативности РЛ изображения обзорной РЛС произвольной конфигурации для однопозиционного зондирования объектов в дальней зоне и выполнения теоремы взаимности.

Результаты работы использованы в ОКР "Новелла-2" в НИИ РЭС (г. Санкт - Петербург), в ОКР РЛС "Рей" НИИ "Радар" (г. Санкт - Петербург), а также при определении путей модификации РЛС обзора и предупреждения ИРЛЦЗ в НИИ "Стрела" (г. Тула).

#### Защищаемые положения

1. Оценка поляризационного контраста радиолокационных объектов возможна при произвольных значениях инвариантных параметров их матриц рассеяния.

2. Поляризационный контраст по параметру поляризационной анизотропии наблюдаемых объектов типа "фон" и "фон + цель" для искусственной "цели" с эффективной поверхностью рассеяния, сравнимой или меньшей ЭПР "фона", превосходит радиолокационный контраст по ЭПР для этих объектов.

3. Инвариантные характеристики (степень поляризационной анизотропии по мощности, модуль комплексного коэффициента поляризационной анизотропии) матрицы рассеяния РЛ объекта типа "фон + цель" обладают высокой чувствительностью к перемещению искусственных целей, имеющих радиальную составляющую скорости близкую к нулю.

#### Апробация работы

Основные результаты работы изложены в 8 статьях, тезисах докладов и депонированной в ЦИТИ ГА рукописи и обсуждались на XVI Всесоюзной конференции по распространению радиоволн (Харьков, 1990 г.)

и Всесоюзной конференции "Методы и средства дистанционного зондирования атмосферы в интересах авиации" (Киев, 1991 г.).

#### Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложенных на 137 страницах машинописного текста, и содержит 6 таблиц на 5 страницах и 87 рисунков на 72 страницах. Список литературы включает 105 наименований.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе дан обзор поляризационных методов, которые могут быть использованы для улучшения наблюдаемости сосредоточенных искусственных целей в обзорных РЛС (ОРЛС) с низким разрешением. Для малоразмерной искусственной цели вероятность распознавания объектов типа "фон" и "фон + цель" по соответствующим отметкам на РЛ изображении, яркость (цвет) которых пропорциональна их ЭПР, незначительна. Переход к описанию рассеивающих свойств объектов с помощью поляризационных параметров позволяет сформировать контрастное РЛ изображение поверхности (среды) и повысить возможности ОРЛС по обнаружению и селекции сосредоточенных целей.

Для активной радиолокации объектов в дальней зоне и выполнения теоремы взаимности однозначное определение поляризационных свойств РЛ объекта связано с измерением элементов  $\hat{\epsilon}_{ij}$  его матрицы рассеяния (МР) или определением ее инвариантов (характерных поляризационных состояний). Однако описание свойств РЛ целей совокупностью элементов МР осложняется их чувствительностью к условиям наблюдения, зависимостью  $\hat{\epsilon}_{ij}$  от ориентации собственного поляризационного базиса (ПБ) цели, а также от вида ПБ, в котором производится измерение. Инвариантными к виду измерительного ПБ являются характерные поляризационные состояния излученной волны: поляризации нулевого сигнала и собственные поляризации цели, а также поляризации, максимизирующие мощности принятого сигнала в ортогональных каналах. С другой стороны, для однозначного описания МР с относительной фазой РЛ объекта в зарубежной литературе используются следующие инварианты: "величина цели  $\sigma$ ", "углы ориентации  $\psi$  и эллиптичности  $\tau$ ", "характеристический  $\gamma$  и скачковый  $\nu$  углы" цели. В отечественной РЛ поляриметрии принята следующая группа поляризационных инвариантных параметров: "полная ЭПР  $A_0$ ", "модуль электрического фактора формы  $\rho_0$ " (или "степень поляризационной анизотропии  $\mu_0$ "), "угол  $\Delta\phi$  фазового сдвига" собственных чисел МР цели, "угол ориентации  $\theta_0$  и угол



эллиптичности  $\epsilon_0$  собственного базиса цели". Среди других величин, описывающих поляризационные свойства РЛ цели, используются параметры модуля  $\mu_d$  и аргумента  $\Phi$  комплексной степени  $\tilde{\mu}$  анизотропии цели, однозначно определяющих инвариантный параметр  $\mu_d$  коэффициента поляризационной анизотропии по мощности, а также величина  $\tilde{\mu} = \text{Re}(\tilde{\mu})$ .

Наибольшее количество экспериментальных и теоретических работ в РЛ поляриметрии проведено в области радиометеорологии и идентификации (селекции) объектов. Среди радиометеорологических параметров наибольшее распространение нашли величины дифференциальной отражаемости в линейном ( $Z_{DR}$ , LDR) и круговом (CDR) базисах, а также коэффициент корреляции (ORTT) ортогональных компонент принятого сигнала в круговом базисе и др. Однако, использование данных радиометеорологии для объективной оценки поляризационного контраста искусственных целей на фоне распределенных образований затруднено из-за практического отсутствия работ, исследующих наблюдаемость сосредоточенных объектов с произвольными поляризационными оворотами на фоне метеообразований, на временных интервалах, сравнимых с интервалами измерения обзорных РЛС. Кроме этого, измеряемые поляризационные величины ( $Z_{DR}$ , LDR, различные комбинации элементов MP) являются эмпирическими, неинвариантными величинами, зависящими от взаимной ориентации собственного поляризационного базиса объекта и измерительной системы координат ОРЛС, а также от других факторов.

Обзор методов поляризационной идентификации (селекции) на базе РЛС с низким разрешением показывает, что исходные предположения зачастую постулируются без доказательства и не учитывают влияние подстилающей поверхности. При этом оцениваемые поляризационные параметры являются, как правило, модификациями линейного деполаризационного отношения LDR или сложными функциями инвариантов  $\mu_0$ ,  $\theta_0$ ,  $\Delta\varphi$  MP объекта. Так, что для реальных сосредоточенных целей в условиях помеховых отражений эффективность подобных систем будет невелика. Использование результатов оценки инвариантных параметров углов эллиптичности  $\tau$  и ориентации  $\psi$  эллипса поляризации волн, рассеянных летательными аппаратами, для селекции объектов типа "фон + ЛА" в обзорных РЛС затруднено из-за обработки данных вне реального масштаба времени и нерешенности вопроса панорамного отображения оцениваемых параметров ( $\tau$ ,  $\psi$ ) на традиционных РЛ индикаторах.

В отличие от эвристических подходов к идентификации (селекции) РЛ целей, исследования, проводимые в ТИАСУР, связаны с измерением поляризационных инвариантов MP двумя принципиально различными методами (модуляционным и моноимпульсным) в реальном масштабе времени с

помощью технических средств, позволяющих модифицировать существующие ОРЛС с низким разрешением. В рамках этих исследований была создана ОРЛС, формирующая в реальном масштабе времени высококонтрастное РЛ изображение местности. Полученные результаты зондирования распределенных и составных ("фон + сосредоточенная цель") объектов подтверждают факт существования поляризационного контраста РЛ целей этого типа. При этом измерение величин поляризационной анизотропии объектов типа "подстилающая поверхность + движущаяся цель" показали большую чувствительность этих величин к параметрам движения искусственной цели по сравнению с оценкой ЭИР.

На рубеже 70-80-х годов выявилась тенденция к совмещению поляризационного анализа с методами высокого разрешения. В рамках этого направления были созданы РЛС с внутримпульсным кодированием поляризации излучаемого импульса, высокоинформативные бортовые поляриметры с синтезированной апертурой, двухполяризационные системы, предназначенные для измерения в когерентном режиме МР каждого элемента разрешения РЛС в координатах "азимут-угол места-дальность", определены поляриметрические характеристики управляемого реактивного снаряда (УРС) с высокой разрешающей способностью и т.п.

Характерной особенностью большинства теоретических работ в области поляризационного контраста РЛ объектов является априорное предположение о свойствах сигналов, рассеянных "целью" и "фоном", не подтвержденные результатами экспериментальных измерений. Кроме этого, известные исследования ПК РЛ целей связаны с использованием данных измерения уникальных локоаторов с синтезированной апертурой и выполнением большого объема вычислений вне реального масштаба времени, что не позволяет применять эти результаты в традиционных бортовых РЛС с низким разрешением.

Тем не менее, проведенный анализ существующих теоретических и экспериментальных работ позволяет выработать общий подход к оценке поляризационного контраста объектов типа "фон" и "фон + цель" для произвольных поляризационных свойств распределенного объекта и сосредоточенной искусственной цели, и сформулировать постановку задачи исследований.

Вторая глава посвящена разработке процедуры оценки поляризационного контраста РЛ объектов типа "фон" и "фон + цель" по степени поляризационной анизотропии. Для решения этой задачи в общем виде - для произвольных значений инвариантов матрицы рассеяния распределенного образования "фон" и сосредоточенной цели, был выбран метод, объединяющий описание РЛ объекта матрицей рассеяния (МР) с аппара-

том матрицы когерентности (МК) анализируемой волны. В этой работе было показано, что при формировании псевдополяризованного потока излучения РЛС и представлении квадратур элементов статистической МР "фона" стационарными эргодическими процессами, МК волн, рассеянных искусственной целью и распределенным образованием, совпадают с комплексно сопряженной матрицей и средней энергетической матрицей Грейвса.

Теоретический анализ поляризационного контраста (ПК) РЛ объектов проведен на примере информативной величины коэффициента (степени) поляризационной анизотропии по мощности

$$(|\hat{\lambda}_1|^2 - |\hat{\lambda}_2|^2) / (|\hat{\lambda}_1|^2 + |\hat{\lambda}_2|^2)$$

( $\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2$  - комплексные собственные числа МР наблюдаемого объекта), инвариантного к различным возмущающим факторам. Доказано, что при излучении псевдополяризованного РЛ сигнала коэффициент  $\mu_{\pi 1}$  сосредоточенной цели и "интегральный" коэффициент  $\mu_{\pi 2}$  поляризационной анизотропии по мощности фонового образования

$$\mu_{\pi 1} = \frac{|\hat{\lambda}_1'|^2 - |\hat{\lambda}_2'|^2}{|\hat{\lambda}_1'|^2 + |\hat{\lambda}_2'|^2}, \quad \mu_{\pi 2} = \frac{|\hat{\lambda}_1''|^2 - |\hat{\lambda}_2''|^2}{|\hat{\lambda}_1''|^2 + |\hat{\lambda}_2''|^2}$$

совпадают с величинами степени поляризации рассеянных этими объектами волн

$$p_1 = (\xi_1' - \xi_2') / (\xi_1' + \xi_2'), \quad p_2 = (\xi_1'' - \xi_2'') / (\xi_1'' + \xi_2'')$$

( $\xi_1' = |\hat{\lambda}_1'|^2, \xi_2' = |\hat{\lambda}_2'|^2$  - собственные числа матриц когерентности  $[M_1], [M_2]$  потоков, обусловленных "целью" и "фоном" соответственно). Далее было получено выражение для степени поляризации рассеянного потока, пропорциональной "интегральной" поляризационной анизотропии по мощности составного РЛ объекта "фон + цель"

$$\mu_{\pi}(t) = \frac{\bar{\alpha}_{12}}{1 + \bar{\alpha}_{12}} \cdot P_1(t) \cdot \mu_{\pi 1} + \frac{1}{1 + \bar{\alpha}_{12}} \cdot P_2(t) \cdot \mu_{\pi 2}(t)$$

( $\bar{\alpha}_{12}$  - отношение полной ЭПР  $A_1 = |\hat{\lambda}_1'|^2 + |\hat{\lambda}_2'|^2$  сосредоточенной цели к средней на интервале измерения полной ЭПР  $A_2$  "фона"); определены весовые множители

$P_1(t) = f_1(\theta_1, \varepsilon_1, \theta(t), \varepsilon(t))$  и  $P_2(t) = f_2(\theta_2, \varepsilon_2, \theta(t), \varepsilon(t))$ , зависящие от углов ориентации  $(\theta_1, \theta_2)$  и асимптотичности  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$  собственных поляризационных осей (СПО) матриц когерентности парциальных потоков, а также параметров  $\theta(t), \varepsilon(t)$  СПО матрицы когерент-

ности [ M ] суммарного потока, рассеянного объектом "фон + цель" ; найдены выражения, определяющие величины  $\theta(t)$ ,  $\varepsilon(t)$ .

Поскольку получение зависимостей поляризационного контраста  $W_{nc}$  по степени поляризационной анизотропии в сжатой аналитической форме не представляется возможным из-за сложных функциональных связей между определяющими его величинами и случайного характера изменения поляризационных инвариантов "фона", оценка характера изменения ПК и его экстремальных значений проведена с помощью метода статистического моделирования. Для этого, исходя из результатов измерения поляризационных характеристик распределенных природных образований, была обоснована статистическая модель поляризационных инвариантов "фона". После чего были рассмотрены особенности поляризационного контраста для случая измерения в обзорном докаторе величин полной ЭПР и коэффициента поляризационной анизотропии по мощности. При этом в качестве оценок измеряемых параметров рассматривались средние значения случайных реализаций

$$\overline{A_2(t+\Delta T)}, \overline{\mu_{12}(t+\Delta T)}, \overline{A(t)}, \overline{\mu_{11}(t)},$$

характеризующих объекты "фон" и "фон + цель" и разделенных в режиме обзора интервалом времени  $\Delta T$ , поскольку использование усреднения отображаемых параметров ЭПР и  $\mu_{11}$  позволяет уменьшить влияние возмущающих факторов на устойчивость РЛ изображения. При этом для случая изменения коэффициента поляризационной анизотропии в интервале  $(-I; +I)$  нормированная величина поляризационного контраста объектов типа "фон" и "фон + цель" принимает вид

$$W_{nc} = \left| \frac{\overline{\mu_{11}(t)} - \overline{\mu_{12}(t+\Delta T)}}{2 + \overline{\mu_{11}(t)} + \overline{\mu_{12}(t+\Delta T)}} \right|.$$

В ходе статистического моделирования были получены зависимости контраста  $W_{nc} = f(\overline{\alpha_{12}})$  объектов "фон" и "фон + искусственная цель" для различных параметров модели "фона" и сосредоточенных "целей" типа трехгранного (двухгранного) уголкового РЛ отражателя, вертикально (горизонтально) ориентированного диполи, произвольного рассеивателя. Анализ полученных результатов показывает, что для случая наблюдения малоразмерных целей на фоне распределенных образований поляризационный контраст объектов "фон" и "фон + цель", как правило, превышает соответствующие значения РЛ контраста по ЭПР. Поэтому использование неэнергетического параметра  $\mu_{11}$  позволит сформировать более контрастное РЛ изображение наблюдаемой поверхности (среды), чем в случае отображения параметра ЭПР, повысив возможности ОРЛС.

Рассмотренный аналитический подход к оценке поляризационной анизотропии составного РЛ объекта "фон + цель" дал возможность определить влияние движения сосредоточенной цели на измеряемый параметр. Статистическое моделирование процесса "перемещения" цели относительно подстилающей поверхности показало, что при определенных условиях в спектре флуктуаций параметров  $\mu_{\Pi}$  и  $\mu_{\Delta}$  присутствует устойчивая регулярная частотная составляющая. При этом чувствительность неэнергетических параметров к "перемещению" цели оказалась выше, чем у параметра ЭПР.

Третья глава посвящена экспериментальной проверке результатов теоретических исследований поляризационного контраста объектов типа "фон" и "фон + цель". В качестве измеряемых параметров РЛ объектов выступали величина ЭПР, параметры модуля  $\mu_{\Delta} = |\dot{\mu}|$  и реальной части  $\tilde{\mu} = \text{Re}(\dot{\mu})$  комплексного коэффициента поляризационной анизотропии, функционально связанные с величиной  $\mu_{\Pi}$  и определяемые более простыми техническими средствами. Алгоритмы измерения параметров ЭПР,  $\mu_{\Delta}$ ,  $\tilde{\mu}$  рассмотрены на примере ОРЛС моноимпульсного и модуляционного типов, позволяющих оценивать рассеивающие свойства объектов с быстроизменяющимися параметрами, а также давать "интегральную" оценку поляризационных параметров РЛ объектов.

Рассмотренные РЛ поляризационные системы были использованы для экспериментальной проверки наблюдаемости различных сосредоточенных целей на фоне подстилающей поверхности, оценки величин поляризационного и радиолокационного контраста реальных сосредоточенных объектов, а также для определения "чувствительности" измеряемых поляризационных параметров к перемещению искусственных РЛ целей на пересеченной местности. Оценка контраста объектов типа "фон" и "фон + цель" была выполнена на примере следующих целей: наблюдаемые на фоне местности стационарные искусственные сооружения с вертикальными размерами  $H$  порядка 15 - 30 м; перемещающиеся по водной поверхности суда с горизонтальными размерами  $L$  порядка 10 - 100 м; находящийся в полете вертолет; бронированные транспортные средства ( $L \sim 5 - 8$  м) на пересеченной местности; металлическая труба диаметром 0,05 м и высотой 1,5 м над взволнованной водной поверхностью; перемещающийся на открытой пересеченной местности человек и др.

Приведенные в третьей главе данные измерения поляризационных и энергетического параметров РЛ объектов типа "фон" и "фон + цель" подтверждают основные выводы теоретических исследований поляризационного контраста. Далее на большом экспериментальном материале показано, что :

а) для искусственных сооружений величина поляризационного контраста превосходит соответствующее значение РЛ контраста по ЭПР, при этом интервал изменения ПК превышает пределы изменения величины контраста по ЭПР и определяется погодными условиями и состоянием подстилающей поверхности ;

б) параметр поляризационной анизотропии  $\mu_d$  является более чувствительным к перемещению судов, чем величина ЭПР;

в) абсолютное значение ЭПР судна слабо влияет на величину размаха регулярных флуктуаций параметра модуля коэффициента поляризационной анизотропии  $\mu_d$  из-за движения объекта по водной поверхности;

г) в результате отражения зондирующего сигнала от корпуса вертолета и вращающихся лопастей винта в спектре флуктуаций модуля коэффициента поляризационной анизотропии  $\mu_d$  появляются регулярные составляющие; при этом чувствительность поляризационного параметра к перемещению РЛ объекта "вертолет" оказывается выше, чем у энергетического параметра ЭПР;

д) анализ экспериментальных данных исследования рассеивающих свойств бронированных транспортных средств (ТС) на пересеченной местности показывает, что при измерении поляризационных параметров высокая наблюдаемость ТС сохраняется в интервале углов ( $\pm 45^\circ$  относительно бокового облучения цели), превосходящем в 3-4 раза аналогичную величину ( $\pm 10^\circ$ ) для случая оценки ЭПР ;

е) при РЛ наблюдении объектов с близкой к нулю радиальной составляющей скорости амплитуда регулярного изменения нормированного поляризационного параметра в несколько раз превышает аналогичную величину для нормированного параметра ЭПР ;

з) при исследовании стационарных или перемещающихся малоразмерных целей их присутствие на подстилающей поверхности лишь незначительно увеличивало средний уровень величины ЭПР составного объекта "фон + цель", но существенно влияло на поведение параметра модуля коэффициента поляризационной анизотропии  $\mu_d$  во времени.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Обоснована процедура количественной оценки поляризационного контраста по степени поляризационной анизотропии распределенного флуктуирующего объекта ("фон") и составного объекта "фон + искусственная сосредоточенная цель" при произвольных значениях инвариантов матриц рассеяния "фона" и "цели" для взаимного случая активной однопозиционной радиолокации.

2. Предложена статистическая модель временных флуктуаций поля-

ризационных инвариантов матрицы рассеяния распределенного объекта, полученная на основе экспериментальных данных измерения параметров ЭПР и модуля коэффициента поляризационной анизотропии различных фоновых образований.

3. Определены потенциальные возможности выделения целей типа трехгранного (двухгранного) РЛ отражателей и вырожденных целей типа вертикально и горизонтально ориентированных дисколей на фоне распределенных объектов с конкретными параметрами статистической модели поляризационных инвариантов матрицы рассеяния.

4. Рассмотренная процедура оценки поляризационного контраста искусственной цели со стабильными поляризационными свойствами, расположенной на фоне распределенного объекта, легко модифицируется для случая временных флуктуаций инвариантов МР "цели".

5. Статистическое моделирование "перемещения" сосредоточенной РЛ цели относительно подстилающей поверхности выявило, что при определенных свойствах "фона" и "цели" в спектре флуктуаций поляризационных параметров составного объекта "фон + цель" появляется регулярная гармоническая составляющая, обусловленная движением "цели".

6. Результаты экспериментальных измерений величин ЭПР, а также модуля и реальной части коэффициента поляризационной анизотропии, широкого круга распределенных ("фон") и составных ("фон + цель") РЛ объектов позволили дать количественную оценку поляризационного контраста по степени поляризационной анизотропии и РЛ контраста по ЭПР для этих объектов.

7. Контраст по параметру поляризационной анизотропии РЛ объектов типа "фон" и "фон + цель" для искусственной "цели" с ЭПР, сравнимой или меньшей поверхности рассеяния "фона", превосходит радиолокационный контраст по ЭПР для этих объектов.

8. Результаты экспериментальных измерений величин ЭПР, а также модуля и реальной части коэффициента поляризационной анизотропии, искусственных РЛ целей, движущихся на фоне подстилающей поверхности, подтвердили высокую чувствительность измеряемых поляризационных характеристик составного РЛ объекта "фон + цель" к параметрам движения "цели" о составляющей радиальной скорости близкой к нулю.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы.

1. Карнышев В.И., Татаринов В.Н., Хлусов В.А. Использование псевдополяризованного излучения в задачах радиолокационной поляриметрии. - Радиотехнические методы и средства измерения. Т.1:Тев.држл. обл. научно-техн. конф. - Томск, изд-во Томского университета. - 1986,

отр.65.

2. Хлусов В.А., Татаринов В.Н., Карнышев В.И. Использование поляризационных свойств рассеивающих объектов.- Депон. ЦНТИ ГА Ю.08.87 N 558 / рег. N II, 1987.

3. Хлусов В.А., Татаринов В.Н., Карнышев В.И. Корреляционная обработка сигналов в задачах поляриметрии.- Изв.вузов, Радиоволлектро-ника, 1989, т.32, N 7, с.55-57.

4. Карнышев В.И., Кокташев С.И., Татаринов В.Н., Хлусов В.А. Статистические характеристики величины кругового деполаризационного отношения наземных рассеивающих объектов.- Тез. докл. XVI Всесоюзной конф.по распространению радиоволн, Харьков, 1990, ч.2, с.247.

5. Татаринов В.Н., Хлусов В.А., Кокташев С.И., Карнышев В.И. и др. Результаты натурных испытаний панорамного измерителя поляризационных параметров земле-метеорообъектов.- Тез. докл. Всесоюзной конф. "Методы и средства дистанционного зондирования атмосферы в интересах авиации", Киев, 1991.

6. Способ измерения коэффициента поляризационной анизотропии радиолокационной сосредоточенной цели и устройство для его осуществления.- Авторское свид. N I729216, МКИ G01S, 1991. Авторы : Хлусов В.А., Карнышев В.И., Татаринов В.Н.

7. Устройство для определения косинуса отношения амплитуд двух сигналов с разными частотами.- Авторское свид. N I532952, МКИ G01S, 1989. Авторы : Хлусов В.А., Карнышев В.И., Кокташев С.И., Масалов Е.В., Татаринов В.Н.

8. Способ измерения коэффициента анизотропии радиолокационной цели.- Авторское свид. N I309768, МКИ G01S, 1987. Авторы : Хлусов В.А., Карнышев В.И., Татаринов В.Н., Масалов Е.В., Потехин В.А., Дервянченко С.С., Гудман Э.А.

9. Устройство определения поляризационных характеристик радиолокационной цели.- Авторское свид. N I412466, МКИ G01S, 1988. Авторы : Карнышев В.И., Масалов Е.В., Хлусов В.А., Татаринов В.Н.

10. Способ поляризационной селекции радиолокационной цели и устройство для его осуществления.- Авторское свид. N I478840, МКИ G01S, 1989. Авторы : Хлусов В.А., Кокташев С.И., Карнышев В.И., Татаринов В.Н., Потехин В.А., Линецкий Г.М.

11. Радиолокационный отражатель с управляемыми поляризационными свойствами. А.с.СССР. Решение о выдаче а.с. по заявке N 4822134 /09 от 04.04.1990 г. Авторы : Хлусов В.А., Кокташев С.И., Карнышев В.И., Татаринов В.Н.