

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы.

Радиолокационное зондирование земной (водной) поверхности и метеообразований широко используется в интересах народного хозяйства и в задачах военного характера. К их числу относятся управление воздушным движением, определение параметров метеообразований, обнаружение движущихся целей, обеспечение безопасного судоходства, выделение наземных навигационных ориентиров и т.д.

В качестве технических средств для решения этих задач выступают 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 тактико-техническим характеристикам (ТТХ), сложности, стоимости и т.п. Однако, для большинства из них характерна эксплуатация в сложной помеховой обстановке.

Так, например, появление в секторе обзора РЛС управления воздушным движением сильных отражений от метеообразований приводит к ухудшению наблюдаемости летательных аппаратов (в особенности при малых значениях их радиальной скорости), снижая безопасность и эффективность полетов. Значительные отражения от взволнованной водной поверхности, береговой линии и метеообразований не позволяют надежно опознавать радиолокационные навигационные ориентиры и, следовательно, препятствуют безопасной проводке судов в условиях пониженной видимости, в узкостях и на сложных фарватерах. Наиболее жесткие требования по быстродействию и способности функционировать в самых различных условиях предъявляются к обзорным РЛС, размещаемым на борту ЛА. Бортовые ОРЛС должны надежно оценивать степень опасности объемно-распределенной совокупности гидрометеоров на маршруте следования, обнаруживать (идентифицировать) другие объекты на фоне

метеообразований или отражений от земной поверхности, а также выделять наземные ориентиры независимо от облачности и осадков. Специализированные РЛС, препятствующие несанкционированному доступу в охраняемую зону, должны обнаруживать объекты с малой эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР), перемещающиеся на фоне подстилающей поверхности, в условиях помеховых отражений и т.д.

Таким образом, обязательным требованием, предъявляемым к подобным ОРЛС, является эффективное выделение сосредоточенных целей искусственного происхождения на фоне поверхностно или объемно-распределенных объектов. При этом его выполнение однозначно связано с проблемой радиолокационного контраста наблюдаемых объектов. Понятие РЛ контраста возникает при сравнении между собой рассеянных сигналов, характеризующих два соседних элемента разрешения локатора. Традиционно РЛ контраст определяют в виде отношения величин, пропорциональных эффективной поверхности рассеяния соседних элементов разрешения обзорной РЛС. Присутствие сосредоточенной 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 искусственная цель имеет малую ЭПР, то интенсивность отражений от распределенного образования "фон" может быть соизмерима и даже превышать в несколько раз мощность сигналов, отраженных от "цели". В этом случае радиолокационный контраст (РЛК) двух объектов типа "фон" и "фон + цель" оказывается незначительным.

Добиться улучшения наблюдаемости сосредоточенных объектов можно, уменьшив размеры элементарного объема разрешения РЛС или используя информацию о доплеровском смещении частоты сигнала, вызванном перемещением объекта, и т.п. Однако, этот путь не всегда возможен из-за конечных размеров антенны, применения зондирующих сигналов с

$\Delta F \cdot \tau_{\text{и}} \approx 1$, малой частоты повторения $F_{\text{п}}$ излучаемых сигналов и т.д., а также для стационарных целей или объектов с нулевой составляющей радиальной скорости. В таких случаях использование поляризационных характеристик становится единственным средством улучшения возможностей ОРЛС для эффективного выделения сосредоточенных целей искусственного происхождения. При этом переход к описанию рассеивающих свойств объектов с помощью поляризационных параметров позволяет ввести понятие "поляризационного контраста" (ПК) двух объектов, как частный случай радиолокационного контраста. Понятно, что когда 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 дает возможность сформировать контрастное радиолокационное изображение местности и повысить возможности ОРЛС по обнаружению и селекции объектов.

Однако, несмотря на значительное число теоретических и экспериментальных работ в области поляризационных измерений, большая часть известных работ затрагивает проблему оценки поляризационного контраста лишь косвенно, а в остальных она рассматривается на уровне теоретического моделирования, не подтвержденного экспериментальными результатами. При этом многие принципиальные вопросы поляризационного контраста сосредоточенных искусственных целей на фоне распределенных объектов остаются не решенными. В первую очередь, не определены условия, при которых использование поляризационных параметров имеет преимущества по сравнению с традиционной величиной параметра ЭПР. Причиной этого является отсутствие общего подхода к оценке ПК двух радиолокационных объектов с произвольными величинами эффективной поверхности рассеяния и поляризационных инвариантов матриц рассеяния фонового образования и искусственной цели. Кроме того, открытым остается вопрос, каким образом параметры движения

цели влияют на величину поляризационного контраста. К тому же большая часть известных экспериментальных результатов наблюдаемости сосредоточенных РЛ целей получена с помощью одноканальных (модуляционных) измерителей, обладающих существенным недостатком в отношении потенциального быстродействия.

Из изложенного следует, что в настоящее время существует актуальная научно-техническая задача разработки процедуры оценки поляризационного контраста наблюдаемых объектов, а также анализа путей практического использования поляризационных параметров в обзорных РЛС с низким разрешением для повышения эффективности выделения стационарных и перемещающихся искусственных целей на фоне распределенных природных образований.

Состояние вопроса.

Одной из первых теоретических работ, в которых проблема поляризационного контраста распределенных РЛ объектов рассматривается в общем виде, является статья Козлова А.И. [II]. В ней, в частности, был предложен подход, позволяющий найти представления матриц рассеяния и соответствующих им энергетических матриц Грейвса двух объектов с произвольными поляризационными свойствами в некотором поляризационном базисе. Значительно позже появления [II] теоретические исследования поляризационного контраста (ПК) были начаты в работах Костински, Бернера, Иоанидиса, Танака и др. [29, 30, 77]. Однако, полученные в них результаты оценки ПК наблюдаемых РЛ объектов связаны с использованием данных измерения обзорных локаторов 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 применительно к обзорным локаторам с низким разрешением, сформулированы в работах Канарейкина Д.Б., Павлова Н.Ф., Потехина

В.А., Богородского В.В., Козлова А.И. [1, 3], Татаринова В.Н., Хлусова В.А., Масалова Е.В. [4, 6, 17]. В этих работах, в частности, обоснована возможность представления всего многообразия РЛ объектов двумя подмножествами типа "фон" и "фон + цель" [1], получено представление обобщенной матрицы рассеяния произвольного РЛ объекта с взаимной областью рассеяния, определены требования к матрице когерентности излучаемого потока для случая однопозиционного зондирования [6, 17], выработан подход к определению поляризационной структуры суммы рассеянных потоков [4].

Наибольший практический опыт измерения поляризационных параметров РЛ объектов в настоящее время накоплен при решении задач радиометеорологии и идентификации (селекции) целей. При этом в качестве оцениваемых поляризационных параметров выступают, как правило, эмпирические параметры рассеяния или различные комбинации элементов матрицы рассеяния объекта, зависящие от величины взаимной ориентации собственного поляризационного базиса объекта и измерительной системы координат РЛС, а также от других факторов. Для подавляющего большинства теоретических и экспериментальных работ в области РЛ поляриметрии характерно предположение (явное или косвенное) о наличии у наблюдаемых объектов только линейных собственных поляризаций, тогда как РЛ объекты могут обладать произвольными поляризационными свойствами.

Наиболее обширный экспериментальный материал, связанный с наблюдаемостью искусственных объектов на фоне подстилающей поверхности, содержится в работах, проводимых в ТИАСУР в течение многих лет. Полученные экспериментальные данные однопозиционного зондирования распределенных и составных (" фон + цель ") объектов подтверждают факт существования поляризационного контраста РЛ целей этого типа. Особенностью проводимых в ТИАСУР исследований является то, что для измерения поляризационных параметров наблюдаемых объек-

тов использовались два принципиально различных метода : модуляционный (одноканальный) и моноимпульсный (двухканальный).

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

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.

Обоснование структуры работы.

Сформулированная цель работы позволяет выбрать направление исследований и обосновать структуру диссертации.

Прежде всего необходимо выработать аналитический подход к расчету поляризационного контраста двух радиолокационных объектов типа "фон" и "фон + цель" с произвольными значениями поляризационных инвариантов матриц рассеяния "фона" и "цели" для взаимного случая активной однопозиционной радиолокации.

Кроме того, следует обосновать выбор поляризационного инварианта MP наблюдаемых объектов, в отношении которого производится анализ поляризационного контраста.

Далее, необходимо определить параметры модели временных флуктуаций поляризационных инвариантов статистической матрицы рассеяния распределенного фонового образования на основе известных экспериментальных данных. Исходя из этого, требуется показать принципиальную возможность повышения контраста радиолокационного изображения местности при использовании в качестве отображаемой величины выбранного поляризационного инварианта MP .

Затем необходимо получить конкретные количественные оценки поляризационного контраста объектов "фон" и "фон + цель" для выбранных статистик инвариантов матрицы рассеяния распределенного объекта и заданных параметров МР сосредоточенной цели в зависимости от соотношения ЭПР цель/фон и сравнить эти оценки с соответствующими величинами радиолокационного контраста по ЭПР.

Кроме этого следует оценить влияние перемещения сосредоточенной искусственной цели относительно подстилающей поверхности на величину оцениваемого инвариантного параметра матрицы рассеяния составного РЛ объекта "фон + цель".

Логическим завершением работы должна стать экспериментальная проверка результатов теоретического анализа поляризационного контраста, осуществленная в ходе натуральных измерений поляризационных параметров распределенного ("фон") и составного ("фон + цель") РЛ объектов для конкретных типов сосредоточенных искусственных целей и различных видов подстилающей поверхности.

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Получены аналитические выражения, определяющие преобразование матрицы когерентности излучаемого потока составным РЛ объектом "фон + цель" для произвольных значений поляризационных инвариантов матриц рассеяния "фона" и "цели". Это дает возможность, задавая конкретные статистики временных флуктуаций поляризационных инвариантов матриц рассеяния распределенного и сосредоточенного объектов, получать количественные оценки поляризационного контраста малоразмерной искусственной цели, наблюдаемой на фоне поверхностно (или объемно)-распределенного объекта.

2. Определены потенциальные возможности выделения искусственных целей типа трехгранного (двухгранного) РЛ отражателей и вырожденных целей типа вертикально и горизонтально ориентированных диполей, расположенных на фоне распределенных объектов с конкретными

параметрами статистической модели временных флуктуаций поляризационных инвариантов "фона". Полученные данные позволяют решать практические задачи по обнаружению малоразмерных целей в условиях сильных помеховых отражений от подстилающей поверхности.

3. Результаты статистического моделирования временных флуктуаций инвариантов матрицы рассеяния фонового образования дают более точное представление о физической сущности экспериментальных данных измерения модуля коэффициента поляризационной анизотропии реальных распределенных объектов (лесные покровы, водная поверхность, покрытые снегом поля, пашня).

4. Доказано, что при определенных свойствах временных флуктуаций инвариантов матрицы рассеяния "фона" и конкретных соотношениях ЭПР цель/фон, поляризационные параметры составного объекта "фон + движущаяся цель" являются более чувствительными к перемещению "цели", чем параметр эффективной поверхности рассеяния.

5. Проведены экспериментальные исследования поляризационного контраста РЛ объектов типа "фон" и "фон + цель" для конкретных типов сосредоточенных искусственных целей и различных видов подстилающей поверхности, представляющих самостоятельный интерес для специалистов в области радиолокации. Исследована чувствительность параметров поляризационной анизотропии составных объектов "фон + движущаяся цель" на примере различных РЛ целей.