

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ГИДРОМЕТЕОРНОГО РАДИОКАНАЛА ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Бабаков М.Ф., Краснов О.А., Попов А.В., Савченко Н.В.

Использование поляриметрической информации позволяет расширить информационные возможности радиотехнических систем (РТС) дистанционного зондирования (ДЗ). Основными направлениями такого использования является:

- селекция и распознавание малоразмерных и слабоконтрастных радиолокационных объектов;
- повышение контрастности и разрешающей способности при картографировании;
- возможность определения электро-физических свойств поверхностей и объектов;
- идентификация типов и параметров гидрометеоров.

Использование существующих и перспективных РТС ДЗ ориентируется на сантиметровый и миллиметровый диапазоны длин волн. При этом с укорочением длины волны искажающее влияние ионосферы уменьшается, а гидрометеорного радиоканала - возрастает. В связи с этим целью данной работы является разработка и исследование физико-статистической модели гидрометеорного радиоканала поляриметрических систем дистанционного зондирования.

Анализ используемых в радиолокационных приложениях моделей гидрометеорного радиоканала указывает на то, что известные модели учитывают ослабление сигналов в среде и мешающие отражения от гидрометеорообразований, не рассматривая искажений поляризационной структуры радиоволн при распространении в поляризационно-анизотропном гидро-

метеоре. В то же время, применительно к исследованиям влияния гидрометеорного радиоканала на качество передачи информации в системах наземной и спутниковой связи с использованием поляризационного уплотнения каналов, разработаны модели деполяризации сигналов в гидрометеорах, проведен большой объем экспериментальных исследований и разработано несколько алгоритмов компенсации поляризационных искажений, вносимых гидрометеорным радиоканалом. Применительно к анализу искажающего влияния гидрометеорного радиоканала на РТС ДЗ потребовалась разработка обобщенной модели, учитывающей отражающие, ослабляющие и деполяризующие свойства гидрометеорного канала.

Разработана модель, учитывающая поляризационную анизотропию гидрометеорного радиоканала, особенностью которой является предположение одинаковой ориентации всех несферических рассеивателей, что позволяет получать на ее основе верхнюю оценку величины искажений поляриметрической информации для заданного типа и характеристик гидрометеообразования.

Параметры модели – поляризационные характеристики гидрометеора на отражение и передачу, – для грубых оценок рассчитываются теоретически, на основе общих соотношений электродинамики. Более адекватные оценки, учитывающие статистический характер реального гидрометеорного радиоканала, получаются при использовании поляризационных характеристик, измеренных экспериментально. На основе предлагаемой модели была разработана методика экспериментального определения всех ее параметров: поляризационных характеристик собственного поляризационного базиса, удельных общего и дифференциального ослабления, дифференциального фазового сдвига и коэффициентов отражения собственных волн гидрометеорного радиоканала, основанная на результатах радиолокационных измерений отражений от гидрометеообразований.

Разработана методика для практического применения модели при

оценке влияния гидрометеорного радиоканала на поляризационный контраст объектов ДЗ и на информативность их поляризационных характеристик, поскольку данные величины являются определяющими для решения задачи оценки возможности селекции и классификации объектов ДЗ по поляризационным признакам. В качестве характеристики поляризационного контраста объектов использовался коэффициент их поляризационной корреляции, описывающий степень поляризационно-временных различий характеристик отражения пар объектов. Его величина обратно-пропорциональна потенциальной эффективности селекции объектов по поляризационным признакам. В качестве меры информативности использовалась дивергенция Кульбака четырехмерного вектора элементов поляризационной матрицы ЭПР объектов, характеризующая потенциальную эффективность классификации объектов по поляризационным признакам. Теоретический анализ показал, что наличие деполяризации распространяющихся в гидрометеоре сигналов повышает коэффициент поляризационной корреляции двух различных объектов на 20..30% для радиотрасс длиной порядка 10 км при интенсивности дождя до 100 мм/час, что соответствует снижению на 2..3 дБ отношения сигнал/помеха на выходе поляризационного селектора. При невозможности разрешения по дальности отражений от исследуемых объектов и дождя, коэффициент поляризационной корреляции увеличивается до 0.9 уже при дождях интенсивностью 40..50 мм/час, при этом отношение сигнал/помеха на выходе настроенного на "чистый" радиоканал поляризационного селектора уменьшается на 7..12 дБ за счет снижения поляризационного контраста наблюдаемых объектов. Полученные соотношения позволяют оценить влияние параметров поляриметрической РТС ДЗ (ширина диаграммы направленности антенны, длительность зондирующего импульса) на величину поляризационного контраста различных объектов в гидрометерах различных типов и интенсивностей. Анализ информативности поляризацион-

ных параметров различных объектов в условиях гидromетеорного радиоканала проводился путем сравнения дивергенции Кульбака четырехмерного вектора элементов поляризационной матрицы ЭПР двух объектов, наблюдаемых в условиях "чистого" радиоканала и в дожде. Показано, что в гидromетеорном радиоканале наблюдается снижение дивергенции пропорционально дифференциальному ослаблению собственных волн гидromетеора, поскольку при наличии такого ослабления радиоканал обладает поляризационно-фильтрующими свойствами. Кроме того, показано, что поляризационный контраст и информативность поляризационных характеристик объектов дистанционного зондирования не зависят от общего ослабления зондирующих радиосигналов на гидromетеорной трассе распространения.

С целью проверки правильности полученных теоретических оценок и адекватности модели гидromетеорного радиоканала были проведены экспериментальные исследования осадков и их влияния на поляризационные характеристики различных объектов. Измерения проводились в натуральных условиях полигона с помощью экспериментального макета поляриметрической РЛС трехсантиметрового диапазона, представляющего собой импульсную некогерентную РЛС с межимпульсным переключением поляризации зондирующего сигнала и двухканальным приемником, измеряющим сигналы в поляризационно-ортогональном линейном базисе. Сигнал с видеовыходов приемников поступал на подсистему цифровой регистрации, где производилось его аналого-цифровое преобразование. Система синхронизации позволяла измерять отраженные сигналы в стробе дальности, задаваемом оператором, либо непрерывно по дистанции с шагом 75 м в интервале 2.4 км. Полученные сигналы регистрировались на гибких магнитных дисках в управляющей ЭВМ. При обработке сигналы пересчитывались ко входу по калибровочным характеристикам приемников с последующим пересчетом в ЭПР объектов.

В ходе экспериментов измерялись пространственно - временные выборки поляризационных матриц ЭПР дождей интенсивностью 20 и 40 мм/ч, снегопада 30 мм/час, а также различных объектов ДЗ в условиях "чистого" радиоканала, дождя, снега, тумана. Анализ экспериментальных данных показал, что гидрометеорообразования оказывают существенное влияние на поляризационный контраст объектов. Так, например, коэффициент поляризационной корреляции двух объектов при дальности 2.5 км в дожде интенсивностью 40 мм/час повышается с 0.57 для "чистого" радиоканала до значения 0.92. При этом информативность матрицы ЭПР объектов уменьшается: дивергенция Кульбака для той же пары объектов снижается с 18.5 до 4.2.

Результаты обработки накопленного банка данных подтвердили адекватность предложенной модели гидрометеорологического радиоканала и полученных на ее основе оценок влияния радиоканала на поляризационный контраст и информативность поляризационных характеристик объектов дистанционного зондирования.

Таким образом, разработанная и экспериментально проверенная модель гидрометеорологического радиоканала позволяет проводить оценку искажений поляризационных характеристик объектов дистанционного зондирования, а также может служить основой для разработки методов и алгоритмов компенсации таких искажений в существующих и перспективных поляриметрических системах дистанционного зондирования. Разработка таких методов и алгоритмов предполагается на последующих этапах данной НИР.