

Журнал «Транспорт Российской Федерации» представляет победителей конкурса «Молодые ученые транспортной отрасли 2007». Сегодня со своими работами знакомят:

Дмитрий КОЛЯДОВ (МГТУ ГА) — первое место в номинации «Воздушный транспорт»;

Екатерина ГОЛУБЕВА (РГУПС) — первое место в номинации «Железнодорожный транспорт».

Радиополяриметрия в радиоэлектронных транспортных системах

Д. В. КОЛЯДОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры технической эксплуатации транспортного радиооборудования и связи МГТУ ГА

Рождение радиолокации относится по времени к концу тридцатых годов прошлого века. Уже к шестидесятым годам она оформилась в целостную науку, которая находит широкое применение в различных областях: от исследования планет Солнечной системы до оценки состояния объектов естественного и техногенного происхождения, в том числе исследование растительных, водных и почвенных покровов земной поверхности.

Особо необходимо отметить большую роль, которую играет радиолокация в работе единой системы организации воздушного движения в гражданской авиации, так как все этапы полета воздушных судов контролируются на земле с помощью современных радиолокационных станций.

Такое широкое применение методов радиолокации привело к тому, что, в

большинстве случаев, возможности так называемой классической радиолокации оказались в целом исчерпанными вскоре после формирования радиолокации как фундаментальной науки. Кроме этого, совершенствование методов радиолокации и устройств, их реализующих, ограничивалось возможностями элементной базы и технологий того времени.

Вместе с тем, трудности при решении практических задач, которые

должны были решать радиоэлектронные транспортные системы, использующие радиолокационные методы, привели к появлению нового направления в радиолокации — поляризационной радиолокации или просто радиополяриметрии. Идеи радиополяриметрии [4] параллельно развивались как в нашей стране такими учеными, как В. А. Потехин, Д. Б. Канарейкин, А. И. Козлов, В. А. Сарычев и А. И. Логвин, так и в других странах — Р. Хойненом, В.-М. Бернером и другими.

Не заставляя читателя углубляться в теорию радиополяриметрии, которая достаточно подробно разработана на настоящее время, приведем, тем не менее, основные понятия, существующие в радиополяриметрии [1], а именно, поляризация и радиоволны.

Определение поляризации связывается обычно с нарушением осевой симметрии распределения возмущений (например, смещений и скоростей в механической волне или напряженностей электрического и магнитного полей в электромагнитной волне) в поперечной волне относительно направления ее распространения. Кроме такого «электромагнитного» определения поляризации, существуют и более широкие (и даже философские толкования, например, у В. И. Даля) определения, позволяющие использовать этот термин и в научно-технической литературе, и в повседневной жизни. В связи с этим, необходимо отметить, что связь поляризации и живых организмов была обнаружена еще учеными XIX века.

Согласно классификации Международного союза электросвязи к радиоволнам относятся электромагнитные волны с длиной волны больше 0,1 мм. С радиоволнами связано понятие радиосигнала, под которым понимают сигнал в виде радиоизлучения или сигнал в радиотехнической цепи на частоте ра-



Рис. 1. Изображение участка земной поверхности (территория королевства Нидерланды), полученное с помощью радиополяриметра PHARUS

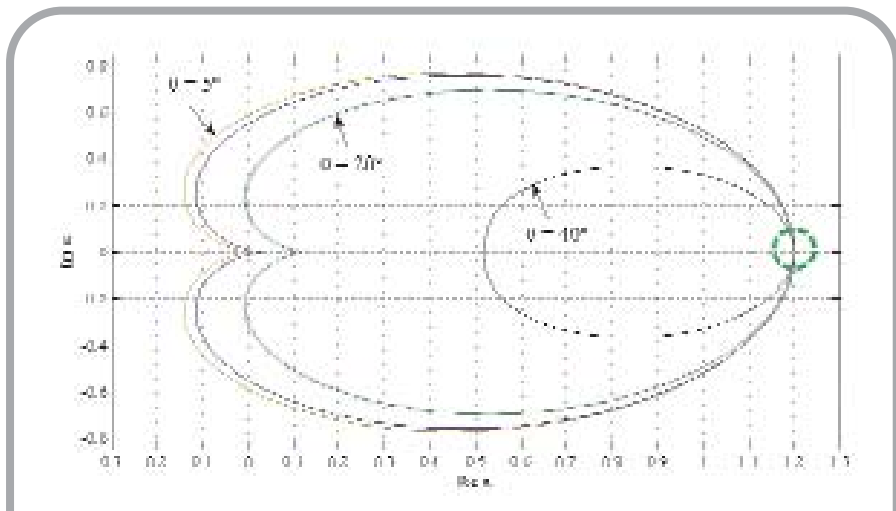


Рис. 2. Номограмма для определения действительной ($Re\epsilon$) и мнимой ($Im\epsilon$) частей комплексной диэлектрической проницаемости ϵ сухого снега, θ — угол, под которым наблюдается поверхность

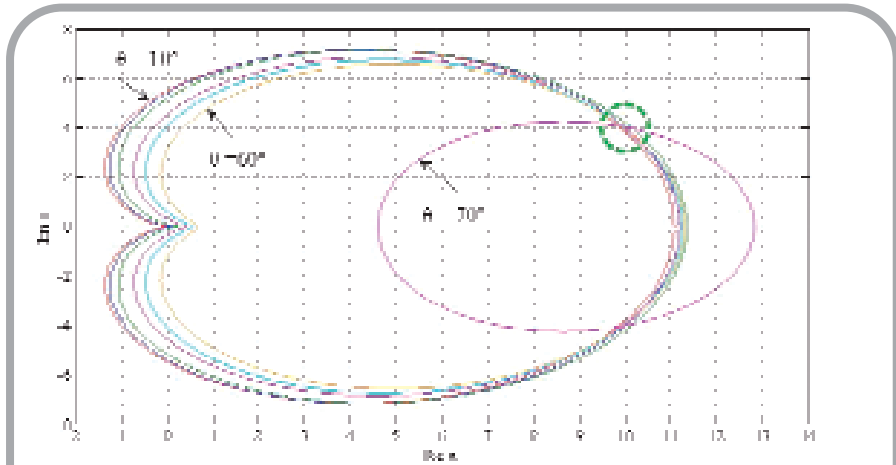


Рис. 3. Номограмма для определения действительной ($Re\epsilon$) и мнимой ($Im\epsilon$) частей комплексной диэлектрической проницаемости ϵ зеленой травы, θ — угол, под которым наблюдается поверхность

диоизлучения. В свою очередь, понятие радиосигнала позволяет анализировать радиоволны под углом зрения их практического использования в радиоэлектронных системах. Другими словами, в радиоэлектронных системах радиоволны становятся радиосигналами с соответствующим переносом на радиосигналы пространственно-временной и поляризационной структур реализуемых в системе процессов. Поляризационная структура радиоволн дает возможность радиосигналам быть более информативными, тем самым расширять функциональные возможности радиоэлектронных систем.

И, наконец, использование поляризационной структуры радиоволн и радиосигналов для радиоэлектронных информационных систем делает возможным радиополяриметрия — наука о формировании поляризационной структуры радиоволн и радиосигналов, а также об управлении этой

структурой для обеспечения приема, передачи, обработки и хранения информации.

Вернемся к проблеме практического использования теоретических достижений в области радиополяриметрии. Развитие радиолокационной техники связано с разработкой и применением методов извлечения и применения некоординатной информации об объектах радиолокационного наблюдения. Под такой информацией понимается информация о типе объекта, принадлежности его к определенному классу, геометрии и размерах. Как уже было сказано, использование методов классической радиолокации в определенный момент ее развития стало затруд-

нительным. Это связано с тем, что классическая радиолокация оперирует только с одним компонентом электрического поля. В то же время информация об исследуемом объекте, которая содержится в ортогональном компоненте электрического поля, фактически не учитывается при приеме отраженной этим объектом радиоволны. Как оказалось, информация, заложенная в этом компоненте, обладает большей информативностью, нежели та, которая анализируется в общем случае. Именно это определяет необходимость использования «полной» информации, содержащейся в отраженной радиоволне, для реализации методов радиополяриметрии. Эти методы в результате дают ряд принципиально новых возможностей при решении задач, стоящих перед радиоэлектронными транспортными системами. Здесь подразумеваются возможности использования гражданской авиации в целях народного хозяйства (ПАНХ), обеспечение навигации и посадки воздушных судов в труднодоступных районах и мониторинг окружающей среды [3].

Одно из актуальных направлений применения методов радиополяриметрии связано с решением задач дистанционного зондирования окружающей среды. Обычно для этого соответствующие радиоэлектронные системы устанавливаются на борту искусственного спутника Земли или на борту воздушного судна и позволяют определять физические и геометрические характеристики исследуемых объектов. В отличие от других методов дистанционного зондирования (оптических и акустических), радиополяриметрические (радиолокационные) методы позволяют с большей степенью точности определять физические (соленость, влажность, состав), электрофизические (диэлектрическая проницаемость и проводимость) и геометрические (структура, неровность и шероховатость) характеристики исследуемых объектов дистанционного зондирования. Из этого перечисления четко виден объем информации, который может быть получен при использовании методов радиополяриметрии. Для примера на рис. 1 приведено изображение участка земной поверхности (территория королевства Нидерланды), полученное с помощью

РАЗВИТИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ СВЯЗАНО С РАЗРАБОТКОЙ И ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НЕКООРИНАТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБЪЕКТАХ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ.

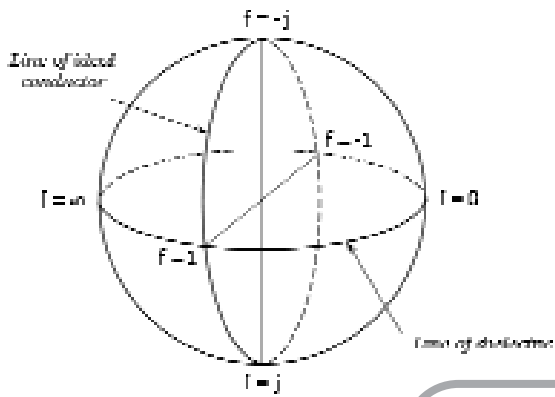


Рис. 4. KLL-сфера (f – поляризационное отношение, равное отношению сигналов на двух ортогональных (противоположных) поляризациях; j – мнимая единица; показаны линии идеального диэлектрика (экватор) и идеального проводника)

ких вычислений. На рис. 2 и рис. 3 приведены именно эти визуальные изображения — номограммы для определения действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости, в данном случае, сухого снега (искомое значение интересу-

радиолокационное изображение участка земной поверхности) возможно, проводя измерения в реальном времени, делать заключения о типе поверхности, которую мы наблюдаем (почва, растительность, искусственные покрытия, водная поверхность и т. д.). Это объясняется тем, что в зависимости от своих электрофизических свойств (соотношение между действительной и мнимой частями комплексной диэлектрической проницаемости), объекты дистанционного зондирования будут в виде точек отображаться в определенных зонах поверхности KLL-сферы (рис. 5 и рис. 6).

В заключение отметим, что материал настоящей статьи показывает только небольшую область задач, стоящих перед радиоэлектронными транспортными системами, которые могут быть успешно решены с помощью использования методов радиополяриметрии.

спутника, работающего по программе PHARUS [5], на борту которого установлено оборудование радиополяриметра (устройства, использующего методы радиополяриметрии).

В последнее время разработан ряд методов, которые, с одной стороны, позволяют с высокой степенью точности определять характеристики исследуемых объектов, а с другой стороны, эффективно решать задачи идентификации и классификации этих объектов. К таким методам относятся амплитудный метод определения комплексной диэлектрической проницаемости земных подстилающих покровов и метод, основанный на использовании так называемой KLL-сферы. Кратко изложим сущность указанных подходов.

Амплитудный метод определения комплексной диэлектрической проницаемости используется в случае наличия для анализа неполных данных. Речь идет о том, что в общем случае, указанные выше радиолокационные дистанционные методы требуют амплитудных и фазовых измерений отраженных радиосигналов. Проведение амплитудных измерений обычно не представляет особых трудностей, тогда как проведение фазовых измерений представляют собой весьма сложную техническую задачу. Однако и в этом случае с помощью предлагаемого метода можно определять составляющие комплексной диэлектрической проницаемости (действительная и мнимая части). Причем результаты использования этого метода могут быть достигнуты как в виде визуально-понятного изображения, так и путем алгебраичес-

Рис. 5. Траектории перемещения точек, соответствующих различным поверхностям, по поверхности KLL-сферы (точки – зерновая культура пшеница; кресты – морская вода; прямоугольные точки – мокрый песок)

ющего нас параметра определяется как точка пересечения кривых, приведенных на рисунках. Необходимо отметить, что полученные с помощью этого метода значения сравнивались с аналогичными в литературных источниках и показали хорошее совпадение.

KLL-сфера [2], названная по первым буквам фамилий авторов (А. И. Козлов, Л. П. Лихард и А. И. Логвин), фактически является разновидностью известной в теории поляризации сферы Пуанкаре, каждая точка которой определяет вид поляризации радиоволны. Однако каждая точка KLL-сферы однозначно соответствует определенному типу земной поверхности (все те же значения действительной и мнимой частей комплексной диэлектрической проницаемости). Общий вид KLL-сферы изображен на рис. 4. Самое интересное, что при осуществлении дистанционного зондирования (искусственный спутник Земли перемещается над ее поверхностью, и в результате исследователь имеет в своем распоряжении

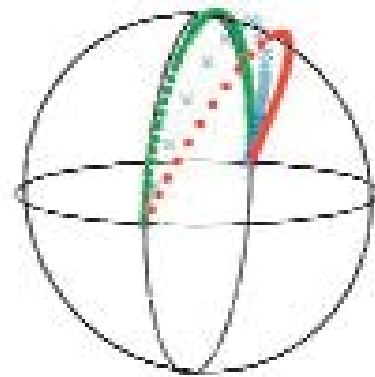
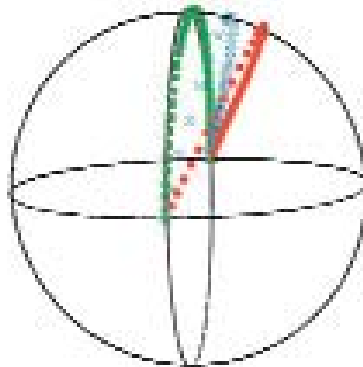


Рис. 6. Траектории перемещения точек, соответствующих различным поверхностям, по поверхности KLL-сферы (точки – зерновая культура овес; кресты – торф; прямоугольные точки – снег)

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. М.: Радиотехника, 2005.
2. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Радиолокационная поляриметрия. М.: Радиотехника, 2007.
3. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. М.: Радиотехника, 2008 (в печати).
4. Козлов А.И., Сарычев В.А. Поляризация в сложных транспортных радиоэлектронных комплексах. СПб.: Хронограф, 1994.
5. The TNO Physics and Electronics Laboratory, National Aerospace Laboratory, Technical University of Delft, PHARUS (Phased Array Universal SAR), The Netherlands, 1995.