

Введение

Анализ существующих и перспективных систем вооружений, научных публикаций и программных исследований (например, по программе "Стелс"), а также опыт локальных войн показывают особое место, которое в создании и развитии средств вооружения и военной техники приобретает информация о характеристиках рассеяния (вторичном излучении) средств воздушного нападения (самолеты, крылатые ракеты) и наземной военной техники (танки, бронетранспортеры и т.д.). Иногда при этом говорят о "радиолокационной заметности" соответствующих образцов [1]. Следует отметить, что для военных радиолокационных средств обнаружения воздушных целей важно иметь соответствующую информацию не только о средствах воздушного нападения, но и о самолетах гражданской авиации.

Одним из основных направлений развития современных наступательных средств вооружения и военной техники является создание крылатых ракет, самолетов, образцов наземной (бронетанковой) военной техники, обладающих малыми значениями эффективной поверхности рассеяния (ЭПР).

Снижение радиолокационной заметности летательных аппаратов и образцов наземной военной техники достигается за счет применения специальных сглаживающих форм и покрытия радиопоглощающими материалами (РПМ) локальных участков наиболее сильного вторичного излучения, связанных с геометрическим отражением и с рассеянием на изломах поверхности. Эти меры не только заметно снижают энергетический уровень

отраженного сигнала, но и приводят к существенным изменениям других, в частности, поляризационных характеристик цели и тем самым затрудняют эффективное решение не только задач обнаружения, но и распознавания. Важной теоретической и прикладной задачей является также исследование и учет особенностей, привносимых в рассеянное поле применением разнесенного приема, который дает определенные преимущества при решении задач распознавания [2].

Таким образом, решение задач обнаружения и распознавания объектов в современной радиолокации требует априорной информации об их радиолокационных характеристиках с учетом – в комплексе – таких осложняющих факторов, как нерегулярности граничной поверхности, наличие радиопоглощающих покрытий (РПП) и разнесенность приема.

Поскольку проведение достаточно точных и статистически информативных экспериментальных исследований рассеивающих свойств радиолокационных целей является весьма трудоемким и дорогостоящим делом, особую актуальность приобретает разработка теоретических обоснований и расчетных методик для математического моделирования радиолокационных характеристик летательных аппаратов с учетом перечисленных выше факторов (наличие РПП и др.).

Отметим также, что математическое моделирование рассеивающих свойств объектов радиолокации при разнесенном приеме и других усложнениях оказывается актуальным и при анализе эффективности распознавания целей в перспективных радиолокационных системах, проводимом для определения оптимального состава, расположения на местности и параметров входящих в них радиолокационных станций.

Известные, ставшие классическими, методы коротковолновой дифракции – методы геометрической оптики (ГО), геометрической теории дифракции (ГТД), физической оптики (ФО) и физической теории дифракции (ФТД) – не могут быть без существен-

ной корректировки и обобщения применены к решению задач рассеяния в рассматриваемой усложненной постановке.

Создание усовершенствованных методов, адаптированных к особенностям рассматриваемых здесь задач рассеяния, находится в центре предлагаемой монографии. Разработка этих методик и проведение на их основе исследований потребовало, в свою очередь, определенного развития электродинамической теории рассеяния для различных структур рассеивающих объектов.

В первой главе получено обобщение таких базовых положений электродинамики как лемма Лоренца и принцип зеркальных изображений соответственно на случай полей, отвечающих различным материальным заполнениям одной и той же области пространства, и на случай пространства, содержащего неоднородности различных типов – диэлектрики, проводники, магнетики. Эти обобщения позволяют получить интегральные представления полей, на основании которых возможно проведение исследований влияния подстилающей поверхности, радиопоглощающих и теплоизоляционных покрытий, а также других слоистых структур на поля рассеяния целей.

К числу полученных в этой главе общетеоретических результатов следует отнести и обобщение на случай неплоской области (и точек стационарной фазы не только эллиптического, но и гиперболического типа) известной формулы М.И. Конторовича в двумерном методе стационарной фазы. Этот результат в сочетании с его нестационарным аналогом позволяет существенно усовершенствовать метод физической оптики в применении к расчету вторичного излучения радиолокационных целей как при совмещенном, так и разнесенном приеме. При этом проводится регуляризация полученных решений, основанная на исключении "терминаторных разрывов", возникающих из-за неадекватности описания в приближении физической оптики плотности поверхностного тока вблизи границы "свет-тень".

Вычисление такой важнейшей радиолокационной характеристики зондируемого объекта как его ЭПР сопряжено – в общем случае – со значительными теоретическими и расчетными трудностями. В монографии расчет ЭПР описан последовательно в трехмерной и двумерной постановках, в рамках строгой теории и приближении физической оптики. Кроме того, для некоторых классов объектов установлены практически полезные оценки ЭПР в трехмерной постановке через величины "погонных" ЭПР в двумерных задачах, связанных с исходной и отвечающих двум взаимно перпендикулярным поляризациям падающей волны [3].

В первой главе исследуется важный теоретический вопрос о выполнении принципа взаимности [4] в случае использования аппроксимативных полей, в частности, полей, возникающих в результате применения физической оптики. Показано, что в этом случае для совмещенного приема принцип взаимности выполняется; в бистатическом же случае принцип взаимности, вообще говоря, места не имеет, что должно учитываться в практических расчетах.

В главе также разрабатывается методика расчета импульсных характеристик (ИХ) (или сглаженных ИХ) гладких объектов в общем случае разнесенного приема методом физической оптики. Отметим, что в известной работе [5] физоптическая аппроксимация ИХ получена при следующих весьма ограничительных предположениях: 1) рассматривался лишь однопозиционный случай и 2) предполагалось, что терминатор (граница тени) является плоской кривой и притом его плоскость перпендикулярна направлению облучения. Между тем, нетрудно привести простые примеры гладких замкнутых (даже выпуклых) поверхностей с неплоским терминатором и, кроме того, даже в случае эллипсоида, при облучении которого в любом направлении \vec{R}^0 терминатор представляет собой плоскую кривую (эллипс), его плоскость перпендикулярна к \vec{R}^0 лишь при \vec{R}^0 , параллельном одной из главных осей эллипсоида.

В работе [6] (при тех же условиях 1), 2) проведено выделение членов, привносимых в высокочастотную асимптотику Фурье-образа ИХ терминаторным разрывом плотности тока в физоптическом приближении. Следует отметить, что методика исследований в цитируемых работах существенным образом опирается на условия 1), 2) и неприменима при нарушении какого-либо из них.

Метод, предложенный в монографии для двухпозиционного случая, применим при произвольной ориентации плоскости терминатора относительно направления облучения (в принципе же методика применима и при неплоском терминаторе). На характерном примере рассеяния на гладком выпуклом объекте проведено исследование особенностей структуры ИХ при двухпозиционном рассеянии. Выделены и исключены из решения главные члены асимптотики вклада, вносимого в ИХ разрывом плотности тока на терминаторе, что регулирует рассчитанную ИХ и заметно повышает точность физоптической аппроксимации на интервале времени до момента прихода дифракционной ("ползущей") волны, огибающей область тени.

Во второй главе разрабатываются методы расчета рассеяния на радиолокационных объектах, имеющих изломы поверхности и снабженных радиопоглощающими покрытиями.

В главе предлагается асимптотическая методика решения задач рассеяния на идеально проводящих объектах, имеющих тороидальные поглощающие покрытия изломов поверхности, в произвольном случае разнесенного приема. Методика основана на применении интегральных представлений типа Стрэттона-Чу и их асимптотических выражений в дальней зоне. При этом использовалось решение модельной задачи о наклонном падении плоской электромагнитной волны на идеально проводящий клин с поглощающим цилиндром на ребре. Такой подход, в отличие от метода краевых волн [7, 8], оказывается хорошо приспособленным и к наличию неидеально проводящих рассеивающих элементов,

имеющих резонансные размеры, и к общему случаю разнесенного приема.

С целью уточнения оценки вклада идеально проводящей окрестности "блестящей" точки эллиптического типа в рассеянное поле при разнесенном приеме в главе получены два члена лучевой асимптотики этого поля и оценен вклад такого локального центра рассеяния в суммарный отклик в случае наличия на нем РПП.

Метод расчета рассеяния электромагнитных волн на воздушных объектах распространен в главе на случай определения обратного рассеяния от наземных радиолокационных объектов. При этом интегральные представления полей, на которые опирается предлагаемый метод, учитывают "четырёхлучевое" распространение отраженной волны, связанное с однократными переотражениями между объектом и границей однородного полупространства.

Учитывая существенность вклада, который вносят зеркальные антенные системы в поле рассеяния летательного аппарата, последний раздел второй главы посвящен разработке методов расчета рассеяния на различных зеркальных антенных системах (как электрически больших, так и резонансных размеров), в том числе, имеющих остроконечные носовые обтекатели.

Так, на базе предложенного в этой главе метода расчета рассеяния на объектах сложной формы с изломами поверхности, снабженными радиопоглощающими покрытиями, разработан метод расчета характеристик рассеяния зеркальных антенн больших электрических размеров с тороидальными радиопоглощающими покрытиями кромок.

Здесь же предлагается унифицированный метод расчета характеристик рассеяния двумерных моделей бортовых зеркальных антенн с остроконечными обтекателями, основанный на прямом методе решения систем интегральных уравнений (объемного интегрального уравнения II-го рода для поля в стенке обтекателя и уравнения I-го рода для плотности поверхностного тока на незамкнутых экранах, моделирующих зеркальную антенную систему).

Завершает раздел приближенный (инженерный) метод расчета рассеяния на трехмерной модели зеркальной (параболической) антенны под остроконечным (конусным) обтекателем. Метод основан на приближениях геометрической и физической оптики и учитывает плотность тока на зеркале, наведенную электромагнитной волной, непосредственно прошедшей через стенку обтекателя, и волной, один раз отраженной от внутренней поверхности обтекателя.

Третья глава носит справочный характер. Для целого ряда воздушных объектов (самолетов военного и гражданского назначения, крылатой ракеты) и трех образцов наземной бронетанковой техники приводятся круговые диаграммы ЭПР, в том числе, и сглаженные ("некогерентные"), для различных ракурсов облучения и поляризации зондирующего сигнала. Круговые диаграммы образцов наземной техники учитывают различные типы подстилающей поверхности.

При построении (синтезе) алгоритмов обнаружения и распознавания радиолокационных объектов возникает необходимость в задании законов распределения их ЭПР в различных угловых секторах зондирования. В связи с этим в главе приводятся соответствующая информация о законах распределения, средних и медианных значениях ЭПР.

Таким образом, настоящая монография объединяет теоретические обоснования, оригинальные расчетные методы и большой объем расчетного фактического материала, связанного с характеристиками рассеяния моделей воздушных и наземных радиолокационных объектов.