

ИНФОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМЕТНОСТИ В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В. Д. ПОПЕЛО*, И. Р. ФАХУРТДИНОВ**

**НИИЦ РЭБ Военного авиационного инженерного университета,
Воронеж, Россия, e-mail: popelovd@gmail.com*

***Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических
измерений, Москва, Россия, e-mail: ildar-215@mail.ru*

Разработана инфологическая модель объектов и процессов измерения характеристик заметности в процессе лазерно-локационного эксперимента. Модель применима для описания широкого класса объектов с локальным и нелокальным отражениями при их зондировании частично когерентным лазерным излучением в однородной и случайно-неоднородных средах.

Ключевые слова: лазерная локация, оптическая заметность, отражатель.

The infological model of units and processes of visibility parameters measurement under laser location test is developed. The model is suite for the wide range of units with local and nonlocal reflectance under quasicohherent laser radiation probing in homogeneous and casual-non-uniform mediums.

Key words: laser location, optical distictness, reflector.

В настоящее время к числу нормируемых свойств объектов техносферы все чаще относят их радиолокационную и оптическую заметность [1]. Заметность как свойство объекта определяет возможности человека или технических средств разведки, мониторинга и контроля по добычанию и обработке информации об этом объекте на основе обнаружения (распознавания) сигналов рассеянного, собственного и функционального излучений обычно в условиях помех и мешающего воздействия фона и среды. Для объектов, создаваемых для использования в различных сферах человеческой деятельности, стратегии управления заметностью могут существенно различаться. Так, при разработке специальной техники естественным является стремление минимизировать радиолокационную и оптическую заметность, а при создании, например, средств спасения или объектов повышенной опасности – максимизировать это свойство. В любом случае управление уровнем

заметности объекта предусматривает целенаправленное изменение путем применения определенных технических мер его способности отражать и (или) излучать электромагнитные волны различных спектральных диапазонов и достижение требуемого уровня различия указанных свойств объекта и фона.

Обычно мероприятия по управлению уровнем заметности осуществляют на всех основных стадиях жизненного цикла объекта, включающих этапы проектирования, испытаний, производства и эксплуатации. Составной частью такой технологии являются экспериментальные исследования (измерения) характеристик объектов (и типовых фонов), определяющих достигнутый уровень заметности. При этом измерения характеристик радиолокационной заметности в настоящее время проводят с использованием уже сложившейся методологии [1, 2], в то время как методы измерения характеристик оптической заметности, особенно в условиях активного зондирования монохроматическим частично когерентным лазерным излучением требуют своего дальнейшего развития и еще не опираются на завершенную систему метрологического обеспечения. Это заметно снижает качество получаемых результатов и обоснованность технических решений, принимаемых на основе полученных экспериментальных данных. Вследствие этого развитие и совершенствование методов и средств метрологического обеспечения измерений указанных характеристик представляет собой актуальную теоретическую и практическую задачу.

В задачах активной лазерной локации и измерения характеристик заметности присутствуют несколько типов объектов:

- тела различной формы с шероховатой поверхностью;
- оптические и оптико-электронные приборы;
- плоские поверхности конечных размеров с известными коэффициентом отражения и индикатрисой рассеяния (обычно «ламбертовского» типа);
- плоские и сферические зеркальные поверхности;
- световозвращатели различной конструкции.

Первые две группы практически исчерпывают класс исследуемых объектов техносферы, а последние три – отражают особенности мер сравнения, традиционно используемых при проведении измерений характеристик отражения.

Таким образом, особенностью типового эксперимента по измерению характеристик заметности в условиях активной лазерной локации

является разнообразие свойств объектов, участвующих в этом эксперименте. Кроме того, такому эксперименту всегда присущ дистанционный характер, когда средство измерений и исследуемый объект пространственно разделены. Это приводит к тому, что параметры зондирующего и отраженного излучений при распространении в пространстве всегда подвержены влиянию дифракционных и интерференционных эффектов и среды распространения, т. е. от выбора протяженности измерительной трассы и учета воздействия условий распространения существенно зависит качество (точность, достоверность) результатов измерений. Своеобразие процессов отражения лазерного излучения от разнотипных объектов и распространения излучения на реальных измерительных трассах может послужить причиной возникновения неожиданных систематических погрешностей и отразиться на выборе мер сравнения, способах воспроизведения и передачи единиц измеряемых величин.

В общем виде лазерно-локационный эксперимент по измерению характеристик заметности объекта включает следующие основные фазы (подпроцессы):

- формирование зондирующего излучения с заданной пространственной, временной и энергетической структурой;

- распространение зондирующего излучения на заданное расстояние, равное длине измерительной трассы, с возможным воздействием на параметры этого излучения среды распространения;

- взаимодействие зондирующего излучения с объектом (дополнительно в этой фазе может реализоваться взаимодействие с посторонними объектами, технологическими средствами, элементами ландшафта, фоновыми образованиями);

- взаимодействие зондирующего излучения с объектом сравнения (мерой), который может представлять поверхность, рассеивающую по закону Ламберта, сегмент сферической зеркальной поверхности или специальный световозвращатель (дополнительно в этой, как и в предыдущей, фазе может происходить взаимодействие с посторонними объектами, технологическими средствами, элементами ландшафта, фоновыми образованиями);

- распространение отраженного объектом (или мерой) излучения в обратном направлении через слой среды протяженностью, равной длине измерительной трассы;

- прием отраженного оптического сигнала, его регистрация и обработка.

Процесс лазерной локации в общем случае сопровождается возникновением и влиянием на параметры локационного сигнала аддитивных и мультипликативных помех, связанных с рассеянием зондирующего и отраженного излучений в среде распространения, отражением от фона, влиянием излучения естественных и искусственных источников [3].

Условная схема системы, в рамках которой осуществляется такой эксперимент, представляющая основные объекты, участвующие в эксперименте, и связи между ними, изображена на рисунке. Дальнейшее структурирование процесса локационных измерений связано с учетом особенностей реализации отдельных элементов этой системы.

В зависимости от длины трассы распространения, параметров зондирующего излучения и свойств исследуемого объекта может реализовываться дальняя или ближняя зоны лазерной локации. Источник зондирующего и приемник отраженного излучений могут находиться на одинаковых или различных расстояниях до объекта и меры, а места расположения источника и апертуры приемника – совмещены в пространстве (моностатическая локация) или разнесены (бистатическая локация).

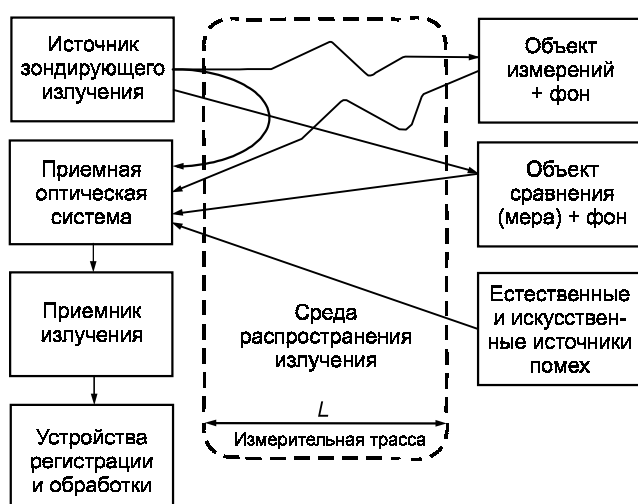


Схема системы лазерной локации объекта при измерении характеристик его заметности

Воздействие среды распространения в задачах лазерной локации также бывает весьма разнообразным. В некоторых случаях среда распространения практически не оказывает влияния на свойства зондирующего и отраженного излучений. Такая ситуация реализуется при зондировании объекта в свободном пространстве (вакууме) или на трассах малой протяженности. В противном случае при локации объектов через слой атмосферы свойства канала распространения могут существенно повлиять на параметры зондирующего и отраженного излучений. При этом в зависимости от условий возможно преобладающее или совместное воздействие целого ряда процессов [4 – 6]:

- рассеяния и поглощения излучения молекулами атмосферных газов;
- рассеяния и ослабления излучения за счет аэрозольных компонентов;
- рассеяния на плавных неоднородностях (флуктуациях показателя преломления) турбулентной среды;

- рефракционных явлений;

- нелинейных процессов взаимодействия излучения и среды распространения (люминесценции, теплового самовоздействия мощного оптического излучения и др.).

К специфическим эффектам влияния среды распространения на характеристики лазерного излучения, возникающим только в задачах локации, относятся эффекты, связанные с корреляцией флуктуаций зондирующего и отраженного полей в случайно-неоднородной среде [7].

В приемных системах оптических локаторов могут осуществляться как когерентный, так и некогерентный (гетеродинный и гомодинный) способы приема локационных сигналов [3].

Типичными источниками помех в задачах лазерной локации и измерения характеристик заметности являются:

- обратное рассеяние зондирующего излучения в среде;

- рассеяние зондирующего излучения на посторонних объектах как вблизи исследуемого объекта, так и расположенных на локационной трассе, а также на элементах естественного фона;

- излучение естественных и искусственных источников;

- шумы фотоприемных устройств.

Следует отметить, что при организации экспериментов по измерению характеристик заметности объектов большинство источников помех может быть устранено (или их влияние уменьшено) применением специальных мер:

проведением измерений в лабораторных или натуральных условиях на трассах малой протяженности для уменьшения влияния среды распространения;

специальной подготовкой измерительной трассы для устранения влияния помех, связанных с отражением от подстилающей поверхности и посторонних объектов;

выполнением исследований в условиях низкой естественной освещенности для устранения влияния естественных источников помех;

установлением полезного сигнала, существенно превышающего уровни шумов приемных устройств.

Для большинства активных лазерных средств, которые используются в настоящее время и будут применяться в обозримом будущем, характерно, что их зондирующее излучение имеет длительность импульса, превышающую 20 – 30 нс. При такой длительности импульса для объектов с типичной «глубиной» 6 – 10 м задержки времени прихода локальных откликов от отдельных элементов, положение которых не совпадает в пространстве, будут мало влиять на длительность и форму суммарного (результатирующего) импульса отраженного излучения. Таким образом, с точки зрения обработки отраженного сигнала, большинство объектов выглядит как рассеивающие поверхности с очень малой «глубиной», что позволяет связать с ними единственную плоскость анализа даже при кривизне этой поверхности. Конфигурация границы и размеры такой поверхности в плоскости анализа определяются соответствующей проекцией объекта. При этом особенности отражения от поверхности объекта обусловлены, прежде всего, рассеянием на ее шероховатостях, приводящему к разрушению фазовой структуры зондирующего излучения и формированию на поверхности большого числа независимых вторичных источников [8]. Однако существует еще и группа факторов, связанных с гауссовой кривизной и размерами участков поверхности с однородными свойствами, которые определяют геометрическую и дифракционную расхожимости отраженного излучения [9]. Очевидно, что воздействие всех групп факторов на рассеивающие свойства объекта носит конкурирующий характер: чем существеннее шероховатость поверхности и меньше радиус пространственной когерентности отраженного излучения, тем меньше вклад в результат рассеяния излучения параметров формы объекта, и наоборот, для объектов с незначительной шероховатостью поверхности, практически не разрушающей когерентную структуру падающего излучения,

кривизна поверхности и дифракционный размер объекта (его отдельных элементов) являются наиболее существенными параметрами, обуславливающими характер рассеяния.

К подобному типу отражателей с сугубо шероховатой поверхностью относят и плоские отражатели «ламбертовского» типа, обычно используемые при измерениях в качестве мер определяемой характеристики заметности. Радиус пространственной когерентности отраженного от них излучения будет минимально возможным, соизмеримым с длиной волны зондирующего излучения [10].

Особенностью отражения лазерного излучения от плоских и сферических зеркальных поверхностей является, прежде всего, его когерентный характер. При этом для плоских отражателей характер отражения определяет дифракционная расходимость излучения, а для сферических – сочетание дифракционной и геометрической расходимостей при различных соотношениях между геометрическими размерами отражателя и кривизной его поверхности.

Принципиальной особенностью перечисленных выше групп объектов является локальный характер отражения, когда координаты точки падения волны на поверхность и соответствующей точки, в которой возбуждается отраженная волна, совпадают.

К другому весьма специфическому типу объектов оптической локации относятся оптические и оптико-электронные приборы (ОЭП) [11]. Основное отличие заключено в нелокальном характере отражения от них. При взаимодействии с ОЭП оптическое излучение претерпевает последовательно фазовое преобразование в объективе, затем собственно отражение от поверхности, расположенной вблизи фокальной плоскости объектива, и затем еще одно фазовое преобразование до выхода из оптической системы. Вторая особенность отражения от ОЭП связана с тем, что в подавляющем числе случаев (когда оптическая система не содержит элементов с шероховатой поверхностью) такое отражение носит когерентный характер, т. е. взаимодействие излучения с оптической системой приводит, в основном, к изменению фазовых параметров (кривизны волнового фронта) излучения.

К типу объектов с нелокальным отражением относятся и все другие световозвращатели. В общем случае световозвращатель может быть представлен эквивалентной оптической схемой, включающей последовательно расположенные объектив и отражающую поверхность вблизи фокальной плоскости объектива. Возможны и другие конструкции световозвращателей, например, в виде трипельпризм. Однако и в этом случае эквивалентная схема подобного отражателя как линейной системы

может быть преобразована в схему зеркально-линзового световозвращателя. В световозвращателях, используемых в качестве объектов сравнения (мер) при проведении измерений характеристик заметности объектов, иногда возможно регулировать уровень отражения, например, смещением положения плоскости отражающей поверхности, а сама поверхность может быть как зеркальной, так и диффузно рассеивающей [12].

Таким образом, разработана инфологическая модель объектов и процессов измерения характеристик заметности в ходе проведения лазерно-локационного эксперимента, применимая для описания широкого класса объектов с локальным и нелокальным отражением при их зондировании частично когерентным лазерным излучением в однородной и случайно-неоднородных средах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лагарьков А. Н., Погосян М. А. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий //Вестник РАН. 2003. Т. 73. № 9. С. 779 – 787.
2. Львова Л. А. Снежинск: Изд. РФЯЦ – ВНИИТФ, 2003.
3. Матвеев И. Н. и др. Лазерная локация /Под ред. Н. Д. Устинова. М.: Машиностроение, 1984.
4. Гурвич А. С. и др. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1976.
5. Миронов В. Л. Распространение лазерного излучения в турбулентной атмосфере. Новосибирск: Наука, 1981.
6. Бисярин В. П. и др. Ослабление лазерного излучения в гидрометеорах /Под ред. А. М. Колосова. М.: Наука, 1977.
7. Кравцов Ю. А., Саичев А. И. Эффекты двукратного прохождения волн в случайно-неоднородных средах //Успехи физ. наук. 1982. Т. 137. Вып. 3. С. 501 – 527.
8. Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980.
9. Ананьев Ю. А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. М.: Наука, 1979.
10. Шевченко В. В. К теории частично когерентных излучателей. //Радиотехника и электроника. 1981. Т. XXVI. Вып. 1. С. 27 – 36.
11. Попело В. Д. Модель оптико-электронного средства как объекта оптической локации //Радиотехника. 2005. № 9. С. 68 – 72.
12. Попело В. Д., Мордвинова Ю. А. Модель процесса лазерной локации произвольного малоразмерного отражателя в случайно-неоднородной среде //Радиотехника. 1997. № 6. С. 62 – 69.

Дата принятия 16.12.2010 г.