

УДК 535.4

Моделирование свойств световозвращения решеткой тетраэдрических ретрорефлекторов

Г. Н. Доля, Е. С. Литвинова

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина

В статье рассмотрены особенности рассеяния лазерного излучения на дифракционных решетках, состоящих из набора тетраэдрических ретрорефлекторов. В процессе физического и имитационного моделирования исследовано влияние различных параметров решетки на пространственные характеристики отраженного излучения. Полученные зависимости свидетельствуют о том, что мощность рассеянного излучения сосредоточена на небольшой площади области приема и существенно зависит от условий наблюдения, а также характеристик отражательной системы и параметров подсвечивающего излучения.

Ключевые слова: *тетраэдрический ретрорефлектор, дифракционная картина, имитационное моделирование.*

У статті розглянуто особливості розсіювання лазерного випромінювання на дифракційних решітках, що складаються з набору тетраедричних ретрорефлекторів. У процесі фізичного та імітаційного моделювання досліджено вплив різних параметрів решітки на просторові характеристики відбитого випромінювання. Отримані залежності свідчать про те, що потужність розсіяного випромінювання зосереджена на невеликій площі області прийому та істотно залежить від умов спостереження, а також характеристик відбивної системи та параметрів підсвітлюючого випромінювання.

Ключові слова: *тетраедричний ретрорефлектор, дифракційна картина, імітаційне моделювання.*

The features of laser radiation scattering by diffraction gratings consisting of a set of tetrahedral retroreflectors are considered in the article. In the process of a physical and computer simulation, the influence of various lattice parameters on the spatial characteristics of the reflected radiation has been investigated. The obtained dependencies indicate that the power of the scattered radiation is concentrated on a small area of the receiving area and essentially depends on the observation conditions, as well as the characteristics of the reflecting system and the illumination radiation parameters.

Key words: *tetrahedral retroreflector, diffraction pattern, simulation.*

Введение

В настоящее время лазеры широко используются для решения локационных задач, дистанционного мониторинга среды, экологического контроля и множества других применений [1-3]. Эффективное решение поставленных задач существенно зависит от мощности принимаемого сигнала, который в свою очередь определяется отражающими свойствами поверхности. Принято считать, что существующие поверхности являются либо зеркальными, либо диффузно-отражающими в зависимости от качества обработки поверхности [4, 5]. При зеркальном отражении, когда микронеровности значительно меньше по величине, чем длина волны лазерного излучения, выполняются известные законы геометрической оптики. При этом при отражении расходимость лазерного луча сохраняется. В случае, когда величина микронеровностей

сопоставима с длиной волны (случай шероховатой поверхности [6]), лазерное излучение рассеивается в полусферу в соответствии с законом Ламберта. Мощность сигнала, принимаемого в этом случае от удаленного объекта, существенно уменьшается по сравнению со случаем зеркального отражения. Отметим, что на практике зачастую отражение от реальных объектов носит смешанный характер [5, 7].

Для увеличения мощности сигнала, отраженного строго в направлении источника подсвета объекта, в последнее время разработаны поверхности, содержащие совокупность миниатюрных элементов размерами порядка сотни микрометров, обладающих свойством световозвращения [8]. Такими элементами являются либо микропризмы - тетраэдрические ретрорефлекторы (ТРР) [9], либо микростеклошарики. В этом случае диаграмма рассеяния луча существенно сужается, что обеспечивает существенное увеличение мощности принимаемого сигнала. Весьма целесообразным представляется анализ влияния параметров лазерного излучения и структуры поверхности на способность концентрировать в пространстве мощность рассеянного в обратном направлении света при облучении поверхности на основе решетки ТРР. В данной работе приведены некоторые результаты такого анализа, полученные методом имитационного моделирования.

Основная часть

Используемые на практике световозвращающие поверхности (СВП) на основе ТРР имеют широкое разнообразие параметров, определяющих вид пространственной структуры рассеянного в обратном направлении лазерного излучения. Эти параметры определяются пространственным периодом решетки, характеристиками задней поверхности микропризм, точностью изготовления элементов решетки и т. д. На рис. 1 (а, б, в) показаны распределения интенсивности в рассеянном назад излучении при одинаковых условиях подсвета несфокусированным лазерным лучом для различных образцов поверхностей, применяемых в промышленных и бытовых целях.

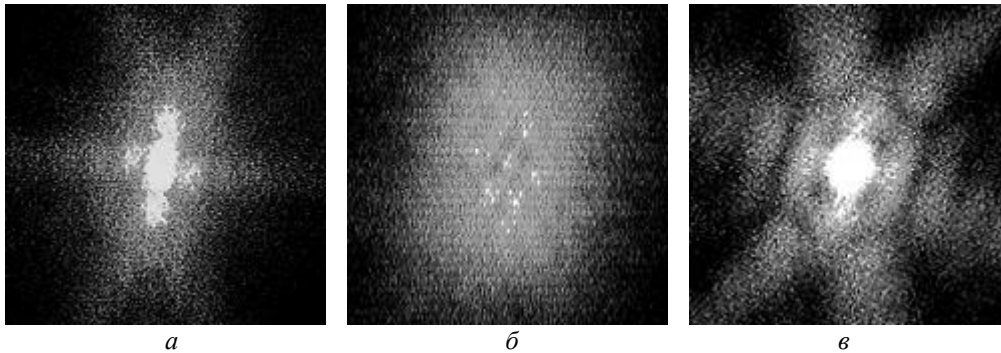


Рис. 1. Картины рассеяния излучения на различных решетках (результаты физического моделирования).

Как видно из приведенных фотографий, эти поверхности различным образом концентрируют излучение в области центрального максимума, определяемого

направлением падающего луча. Общим для этих распределений является то, что основная часть мощности рассеянного луча концентрируется в пределах конуса с углом при вершине несколько градусов, обеспечивая высокую степень световозвращения.

Для анализа отмеченных выше особенностей световозвращения была разработана имитационная модель, позволяющая рассчитать характеристики пространственного распределения интенсивности в плоскости наблюдения, аналогичные приведенным на рис. 1 экспериментальным результатам. Модель содержала следующие основные компоненты. Подсвет осуществлялся с помощью лазерного луча, распределение интенсивности в котором описывалось гауссовой кривой. Начальное распределение фазы в исходном пучке считалось постоянным.

Модель трансформации поля падающего луча в решетке ТРР подробно описана в [10]. Основными этапами этой части модели являлись расчет траектории луча и координат точки его выхода при заданных координатах его входа, расчет набега фазы для каждого парциального луча, а также характер изменения его амплитуды при отражении от граней элементарного ТРР.

Следующим этапом моделирования являлся расчет распределения интенсивности в дальней зоне дифракции с использованием алгоритма двумерного БПФ. Исходной информацией для такого расчета являлось амплитудно-фазовое распределение на выходе решетки ТРР как результат предыдущего этапа моделирования.

Характерное распределение интенсивности в плоскости приема представлено на рис. 2.

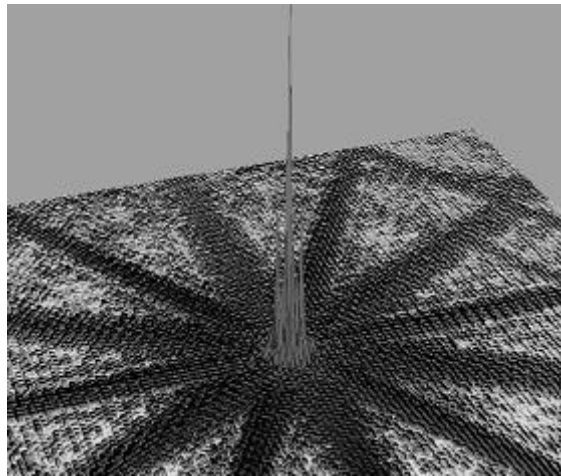


Рис. 2. Распределение интенсивности в плоскости приема (результат имитационного моделирования).

Как видно из рисунка, это распределение представляет собой совокупность локальных максимумов, промодулированных огибающей в соответствии с закономерностями дифракции лазерного излучения на решетке ТРР.

Заключительным этапом моделирования являлась оценка пространственных характеристик распределения интенсивности лазерного излучения в плоскости приема при изменении условий облучения объекта и свойств поверхности. Величина мощности, принимаемой в пределах квадратной апертуры, являлась характеристикой свойств световозвращения при изменении отмеченных выше параметров. Результаты моделирования представлены на рис. 3-5.

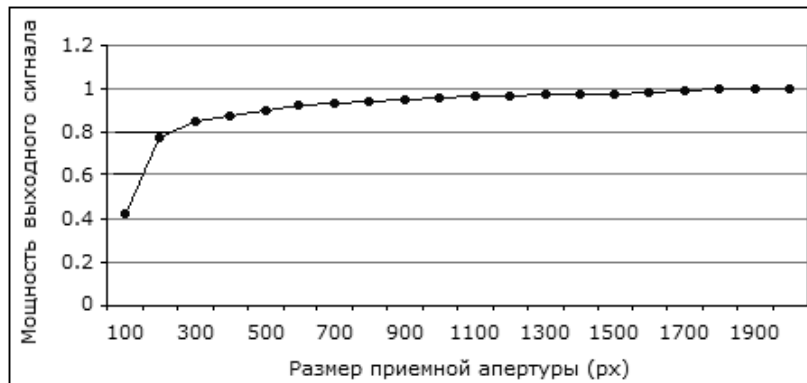


Рис.3. Зависимость мощности сигнала от линейного размера апертуры в плоскости приема.

Так на рис. 3 показана зависимость мощности, которая может быть принята и затем протектирована для решения прикладных задач, от размера приемной апертуры (количество пикселей в плоскости приема). Как видно из приведенного рисунка, в пределах квадрата со стороной 200 пикселей сосредоточено 80% мощности рассеянного лазерного излучения. Дальнейшее увеличение площади приема не приводит к существенному возрастанию мощности принимаемого сигнала. Таким образом, размер этого квадрата характеризует степень пространственной концентрации мощности рассеянного (отраженного) от решетки ТРР лазерного излучения.

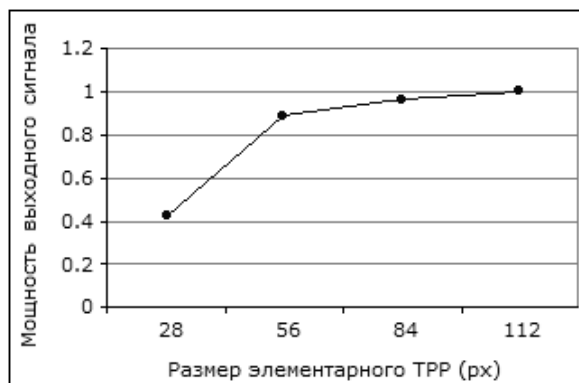


Рис.4. Зависимость мощности сигнала от размера ТРР.

На рис. 4 показана зависимость мощности принимаемого сигнала при изменении размеров элементарного ТРР. Как видно из приведенного рисунка, мощность сигнала, концентрируемая в пределах квадрата 200×200 рх, убывает при уменьшении размера ТРР. Это обстоятельство может быть пояснено на основе закономерностей теории дифракции. Размер области, в пределах которой сосредоточена основная мощность отраженного сигнала (основной максимум огибающей дифракционной картины), обратно пропорционален размеру ТРР. Таким образом, при фиксированной области интегрирования (площади приема) и уменьшении размера ТРР происходит расплывание нулевого порядка огибающей и, как следствие, уменьшение мощности в пределах фиксированной приемной апертуры 200×200 рх.

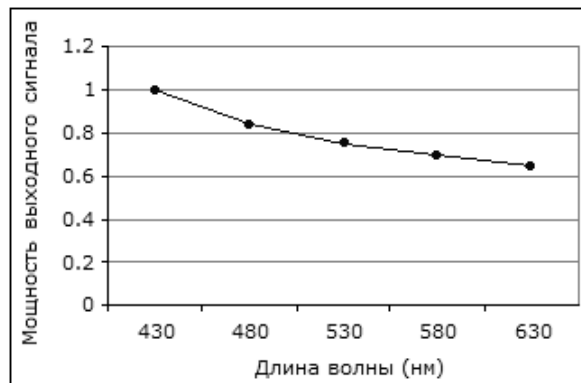


Рис.5. Зависимость мощности сигнала от длины волны лазерного излучения.

Из тех же соображений могут быть объяснены закономерности уменьшения мощности в пределах заданной приемной апертуры при увеличении длины волны излучения. Ширина нулевого порядка огибающей распределения интенсивности прямо пропорциональна длине волны излучения. Поэтому при увеличении длины волны фиксированная площадь приема не охватывает полностью область нулевого порядка огибающей, что приводит к уменьшению мощности на рис. 5.

Последние два графика и их интерпретация, приведенная выше, свидетельствуют о том, что для практических применений необходимо согласовывать область приема (площадь приемной апертуры) с параметрами лазерного луча и пространственной структурой решетки.

Выводы

Таким образом, в работе показано, что решетки на основе ТРР обладают выраженными свойствами световозвращения, концентрируя мощность рассеянного лазерного излучения в пределах небольшого угла порядка единиц градусов.

Разработана имитационная модель, включающая в себя этапы облучения решетки лазерным лучом, трансформации поля лазерного излучения на решетке ТРР, обратного распространения и детектирования лазерного излучения в пределах заданной апертуры.

В результате имитационного моделирования получены и проанализированы закономерности, описывающие эффективность приема лазерного излучения при изменении условий облучения поверхности, детектирования сигнала, а также пространственных параметров решетки ГРР.

Обоснована необходимость согласования таких параметров. Отмечены пути эффективного решения такой задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазерные измерительные системы / Под ред. Д. П. Лукьянова. – М.: Радио и связь, 1981.
2. Каталог-справочник по странам СНГ «Лазерные измерения и диагностика в технике и экологическом контроле». – М.: Научно-технический информационно-учебный центр Лазерной ассоциации, 2000.
3. Клочков В. П., Козлов Л. Ф., Потыкевич И. В., Соскин М. С. Лазерная анемометрия, дистанционная спектроскопия и интерферометрия. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1985. – 759 с.
4. Устинов Н. Д., Матвеев И. Н., Протопопов В. В. Методы обработки оптических полей в лазерной локации. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 272 с.
5. Оптическая локация. Теоретические основы приема и обработки оптических сигналов / Под ред. А. И. Стрелкова Х; Вировец А. П. «Апостроф», 2010. – 312 с.
6. Топорец А. С. Оптика шероховатой поверхности. – Л.: Машиностроение, 1988. – 191 с.
7. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.2. Многократное рассеяние, турбулентность, шероховатые поверхности и дистанционное зондирование. – М.: Мир, 1981. – 317 с.
8. Lloyd J. A Brief History of Retroreflective Sign Face Sheet Materials. <http://www.rema.org.uk/pub/pdf/history-retroreflective-materials.pdf>.
9. Ханюх Б. Ю. Оптические отражатели тетраэдрического типа в активных системах. – Минск: Издательство БГУ им. В. И. Ленина, 1982. – 160 с.
10. Доля Г. Н., Литвинова Е. С. Преобразование амплитудно-фазового распределения при отражении лазерного излучения от тетраэдрических ретрорефлекторов // Системы обработки информации. – 2010. – № 6(87). – С. 81-86.