



Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

**Учебное пособие**

**Л.В. Лабунец**

**ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ЦЕЛЕЙ И РЕАЛИЗАЦИЙ СИГНАЛОВ  
В ОПТИЧЕСКИХ ЛОКАЦИОННЫХ  
СИСТЕМАХ**

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

Л.В. Лабунец

ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ЦЕЛЕЙ И РЕАЛИЗАЦИЙ СИГНАЛОВ  
В ОПТИЧЕСКИХ ЛОКАЦИОННЫХ  
СИСТЕМАХ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по направлению подготовки  
дипломированных специалистов «Информационные системы»  
специальности «Информационные системы и технологии»*

М о с к в а  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2 0 0 7

УДК 621.376.3(075.8)  
ББК 32.95  
Л12

Рецензенты: *А.С. Крюковский, И.И. Пахомов*

**Лабунец Л.В.**

Л12 Цифровые модели изображений целей и реализаций сигналов в оптических локационных системах: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 216 с.: ил.

ISBN 978-5-7038-2948-6

Представлен аппаратно-программный комплекс имитационного цифрового моделирования характеристик заметности и изображений целей, а также реализаций сигналов в лазерных и инфракрасных локационных системах. Предложены фотометрические модели рассеяния оптического излучения шероховатыми поверхностями. Рассмотрена система геометрического моделирования трехмерных объектов со сложной конфигурацией. Методами энергетической фотометрии проанализированы решения важных научно-технических задач анализа функционирования оптических локационных систем. Комплекс имитационного моделирования гарантирует требуемую адекватность получаемых данных и заменяет дорогостоящие полигонные измерения универсальным и гибким вычислительным экспериментом.

Для студентов старших курсов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Информационные системы» специальности «Информационные системы и технологии», а также для аспирантов и научных работников.

Ил. 105. Табл. 14. Библиогр. 75 назв.

**УДК 621.376.3(075.8)**  
**ББК 32.95**

ISBN 978-5-7038-2948-6

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

## ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии дано описание аппаратно-программного комплекса имитационного цифрового моделирования изображений объектов локации и входных сигналов в лазерных системах и инфракрасных (ИК) координаторах целей. Комплекс гарантирует:

- адекватное воспроизведение отражательных и излучательных характеристик конструкционных материалов и покрытий целей в видимом, ближнем и среднем ИК-диапазонах спектра электромагнитных волн;

- достаточно точное воспроизведение пространственной конфигурации антропогенных объектов локации в виде наземных, воздушных и космических целей;

- адекватное цифровое моделирование оптических изображений трехмерных объектов, входных сигналов и приемных трактов лазерных и тепловизионных систем.

В первой главе учебного пособия приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований индикатрис рассеяния оптического излучения шероховатыми поверхностями. Результаты измерений индикатрис отражения излучения образцами подстилающих поверхностей, а также покрытиями наземных, воздушных и космических объектов в спектральном диапазоне 0,44...1,06 мкм позволили обосновать структуру лучевой модели для двунаправленного коэффициента яркости малого участка поверхности цели. Модель направленной и диффузной составляющих коэффициента яркости учитывает все закономерности трансформации пространственной индикатрисы, наблюдаемые в эксперименте. Это, в свою очередь, позволяет методами нелинейного программирования оптимизировать параметры модели по экспериментальным данным во всем диапазоне углов падения и наблюдения.

В заключение главы рассмотрена параметрическая модель направленной спектральной степени черноты образца покрытия. Модель учитывает влияние шероховатости и состояния поверхности вещества на распределение радиационных свойств по направлениям наблюдения. На основании двухпоточного приближения теории рассеяния света в сильномутных средах Гуревича – Кубелки – Мунка выполнен теоретический анализ зависимости степени

черноты в направлении нормали идеально гладкой поверхности от оптических показателей (преломления, поглощения, рассеяния) вещества. Спектральную и температурную зависимости оптических постоянных описывает мультипереносная модель Робертса.

Вторая глава учебного пособия посвящена описанию системы геометрического моделирования цели со сложной пространственной конфигурацией. В отличие от известных систем геометрического моделирования (AutoCAD, BECAD, CATIA, Pro/Engineer, 3D Studio MAX) данная система в большей степени удовлетворяет специфике задач цифрового моделирования оптических и радиолокационных полей рассеяния антропогенных объектов. Эта специфика обусловлена прежде всего ограничениями оперативной памяти, резервируемой для хранения геометрического образа и времени его обработки в соответствии с основными процедурами быстрых топологических преобразований. В системе реализован способ конструктивно-геометрического моделирования твердых тел, основанный на конечном множестве примитивов. Система включает в себя набор алгоритмов анализа затенений и маскировки точек на поверхности объекта локации, а также ее визуализации с любого заданного ракурса. Результаты проектирования геометрических образов наземных, воздушных и космических объектов локации сведены в базу данных.

В третьей главе учебного пособия описаны методики и алгоритмы цифрового моделирования переходной характеристики (ПХ) объекта, а также эффективной площади рассеяния (ЭПР) и интегрального коэффициента яркости (ИКЯ) целей в импульсных лазерных локационных системах. Получены выражения и проведены исследования временных профилей ЭПР и ИКЯ целей при их облучении короткими импульсами. Рассмотрен приближенный интегральный метод анализа такого рода характеристик заметности, при котором сложные по форме отраженные импульсы заменяют эквивалентными прямоугольными, параметры которых суть обобщенные амплитуда и длительность. В результате вычислительных экспериментов показано, что переходная характеристика объекта содержит информацию об энергетических свойствах цели, ее размерах и форме.

Для полуактивной лазерной системы наведения, в которой зондирующий луч захватывает участки подстилающей поверхности, рассмотрена аддитивно-мультипликативная модель фона в виде плоскости со случайным по ее координатам коэффициентом яркости. Здесь применяются модели случайных полей, описанные в учебном пособии [1].

Рассмотрены задачи синтеза оптических изображений трехмерных объектов в лазерных и ИК локационных системах. Представлена методика синтеза изображения цели с любого заданного ракурса по малому набору его снимков. Эта обратная задача решена методами реконструктивной вычислительной томографии. Решение основано на двухшаговой вычислительной процедуре. Ее первый этап реализован в виде системы уравнений энергетического баланса (СУЭБ), устанавливающей зависимости ракурсных изображений объекта от его оптических параметров. Второй этап связан с построением эффективных вычислительных алгоритмов восстановления оптических параметров цели на основе решения СУЭБ.

Модель изображения в ИК-диапазоне спектра получена в приближении диффузных отражателей, равно как диффузных и серых излучателей элементов поверхности цели. Эти допущения позволили объединить отраженное и собственное излучение в одно эффективное излучение и получить СУЭБ методом сальдо в линейаризованной форме по оптическим параметрам.

В четвертой главе учебного пособия рассмотрены решения типичных для имитационного подхода задач цифрового моделирования относительного сближения с целью и прохождения отраженных импульсов через фотоприемное устройство (ФПУ) оптической локационной системы.

Для активной лазерной системы получено интегральное представление амплитуд последовательностей отраженных импульсов в каналах приемного тракта изделия при его пролете вблизи цели. Рассмотрена методология преобразования поверхностных интегралов по облучаемой поверхности объекта к двойным интегралам в локальном базисе лучевой системы координат, образованном меридианальной и сугитальной плоскостями фиксированного сектора излучения. Соответствующие кубатурные формулы Симпсона, реализующие оценки указанных интегралов, позволяют рассчитывать ансамбль реализаций отраженных импульсов для различных условий встречи и таким образом анализировать эффективность функционирования лазерной системы расчетными методами.

С учетом динамических ошибок слежения за целью получены интегральные представления временного профиля импульсного ИКЯ объекта на входе ФПУ лазерного дальномера. Рассмотрена пошаговая цифровая процедура формирования и анализа прохождения отраженного импульса по приемному тракту системы. Эта

процедура позволяет расчетными методами исследовать погрешности измерений дальномера.

В терминах временного профиля ИКЯ объекта рассмотрена пошаговая процедура цифрового моделирования последовательности отраженных импульсов в полуактивной лазерной системе наведения. Особенностью этой процедуры является учет вклада подстилающей поверхности в отраженный сигнал при частичном попадании зондирующего луча на цель.

В заключение главы проанализированы вопросы моделирования тепловизионных изображений трехмерных объектов и формирования сигналов в ИК-координаторе по мере его сближения с целью.

Пятая глава посвящена методикам проверки адекватности рассмотренных в учебном пособии цифровых моделей характеристик отражения оптического излучения методами физического моделирования и натуральных измерений. Дано описание оптической сканирующей установки для исследования ПХ объектов. Установка построена по безбазовой схеме. Она обеспечивает наличие равносигнальной зоны и идентичность углов облучения и приема по сравнению с локатором. Проанализирована методика лабораторных измерений двумерной функции яркости и ПХ масштабных фотометрических моделей целей на длине волны 1,06 мкм.

Описана методика натуральных измерений дифференциальным способом ЭПР самолета МИГ-23 на длине волны 1,06 мкм в горизонтальной плоскости. Телескопическая насадка, установленная на выходном окне дальномера, позволяла регулировать расходимость луча лазера в диапазоне от 2,5 до 180 угловых минут и формировать на объекте пятно подсвета необходимого размера. Сканирование осуществлялось с помощью угломерного устройства наведения луча на цель. Измерения диаграмм обратного рассеяния проводились методом сравнения с плоским диффузным эталоном.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лабунец Л.В.* Рандомизированные спектральные модели многомерных случайных полей. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 68 с.
2. *Гуревич М.М., Середенко М.М.* Спектрофотометрическая установка для измерения характеристик рассеивающих материалов в области 0,5–15 мкм // Оптико-механ. пром-сть. 1975. № 2. С. 31–37.
3. *Мазуренко М.М., Скредин А.Л., Топорец А.С.* Регистрирующая гониоспектрофотометрическая установка с высоким угловым разрешением для видимой и ультрафиолетовой области спектра // Оптико-механ. пром-сть. 1977. № 6. С. 26–33.
4. Гониофотометр для исследования двунаправленных отражательных характеристик материалов / И.А. Непогодин, К.И. Мальчинок, Д.Т. Тиранов, В.А. Невзоров // Оптико-механ. пром-сть. 1984. № 3. С. 19–24.
5. *Полянский В.К., Рвачев В.П.* К вопросу об отражении света шероховатыми поверхностями // Оптика и спектроскопия. 1966. Т. 20, вып. 4. С. 701–708.
6. *Полянский В.К., Рвачев В.П.* Рассеяние света при отражении от статистически распределенных микроплощадок: Дифракционное рассмотрение // Оптика и спектроскопия. 1967. Т. 22, вып. 2. С. 279–287.
7. *Топорец А.С.* Исследование отражения света шероховатыми поверхностями и светорассеивающими средами: Докл. по опубл. работам, представл. на соиск. уч. степ. д-ра физ.-мат. наук. Л.: ГОИ, 1970. 54 с.
8. *Топорец А.С.* Отражение света шероховатой поверхностью // Оптико-механ. пром-сть. 1979. № 1. С. 34–46.
9. *Чандрасекар С.* Перенос лучистой энергии: Пер. с англ. М.: Иностран. лит., 1953. 431 с.
10. Invariant Imbedding and Radiative Transfer in Slabs of Finite Thickness / R.E. Bellman, R.E. Kalaba, M.C. Prestrud et al. New York: American Elsevier Publ. Co., 1963. 346 p.
11. *Houchens A.E., Hering R.G.* Bidirectional Reflectance of Rough Metal Surfaces // AIAA Paper (New York). 1967. N 67. P. 319–372.
12. *Kubelka P.* Theory of Diffuse Reflectance // Journal Optical Society of America. 1948. Vol. 38, N 5. P. 448–457.
13. *Torrance K.E., Sparrow E.M., Birkebak R.C.* Polarisation, Directional Distribution, and off – Specular Peak Phenomena in Light Reflected from Roughened Surfaces // JOSA. 1966. Vol. 56, N 7. P. 916–925.
14. *Vincent R.K., Hunt G.R.* Infrared Reflectance from Mat Surfaces // Applied Optics. 1968. Vol. 7, N 1. P. 53–59.
15. *Басс Ф.Г., Фуке И.М.* Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.: Наука, 1972. 424 с.

16. *Torrance K.E., Sparrow E.M.* Theory for Off-Specular Reflection From Roughened Surfaces // *JOSA*. 1967. Vol. 57, N 9. P. 1105–1114.
17. *Гершун А.А., Попов О.И.* Теоретическое обоснование выбора показателя для оценки рассеивающих свойств матовых стекол / А.А. Гершун. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М.: Физматгиз, 1958. С. 104–124.
18. *Пришивалко А.П.* Отражение света от поглощающих сред. Минск: Изд-во АН БССР, 1963. 432 с.
19. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники: В 3 кн. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сов. радио, 1974. Кн. 1. 552 с.
20. *Лабунец Л.В.* Интерполяционное приближение вероятности затенений луча шероховатой поверхностью // *Радиотехника и электроника*. 2001. Т. 46, № 4. С. 464–470.
21. *Зигель Р., Хауэлл Дж.* Теплообмен излучением / Под ред. Б.А. Хрусталева: Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 934 с.
22. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование: Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 534 с.
23. *Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К.* Машинные методы математических вычислений / Пер. с англ. Х.Д. Икрамова. М.: Мир, 1980. 279 с.
24. *Сапожников Р.А.* Теоретическая фотометрия. Л.: Энергия, 1967. 203 с.
25. *Тымкул Л.В., Тымкул В.М., Алеев Р.М.* Метод и результаты расчета пространственного распределения силы света излучающих тел ламп накаливания // *Оптико-механ. пром-сть*. 1981. № 2. С. 36–39.
26. *Гуревич М.М.* Введение в фотометрию. Л.: Энергия, 1968. 244 с.
27. *Kubelka P., Munk F.* Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche // *Zeitschrift fur Technische Physik*. 1931. N 11. S. 593–601.
28. *Середенко М.М.* Влияние подложки и толщины лакокрасочного покрытия на его коэффициент излучения // *Оптико-механ. пром-сть*. 1979. № 5. С. 10–11.
29. *Морозова Л.Н., Середенко М.М.* Характеристики поглощения и рассеяния теплоизолирующих тканей в инфракрасной области спектра // *Оптико-механ. пром-сть*. 1983. № 3. С. 10–11.
30. *Гершун А.А.* Прохождение света через плоский слой светорассеивающей среды / Гершун А.А. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М.: Физматгиз, 1958. С. 125–145.
31. *Войшвилло Н.А.* Теория Гуревича – Кубелки – Мунка для рассеивающих слоев с двумя отражающими границами // *Оптика и спектроскопия*. 1974. Т. 37, вып. 1. С. 136–143.
32. *Roberts S.* Interpretation of the Optical Properties of Metal Surfaces // *Physical Review*. 1955. Vol. 100, N 6. P. 1667–1671.
33. *Миснар А.* Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций: Пер. с фр. М.: Мир, 1968. 464 с.

34. *Roberts S.* Optical Properties of Nickel and Tungsten and Their Interpretation According to Drudes's Formula // *Physical Review*. 1959. Vol. 114, N 1. P. 104–115.
35. *Wozny M.J., McLaughlin H.W., Encarnacao J.L.* Geometric Modeling for CAD Applications. North-Holland: Kluwer, 1988. 277 p.
36. *Лабунец Л.В., Решетко А.Д.* Программа для разработки и отображения геометрической модели внешней поверхности цели // *Справ.-информ. бюл. об алгоритмах и программах САПР*. Информационный фонд ОФАП САПР М-ва машиностроения. 1988. Вып. 36. (Программа № 17208 СТУ).
37. Фасетно-лучевой метод расчета импульсных характеристик отражения тел / Р.М. Матшин, К.А. Муртазин, И.А. Непогодин, Е.Я. Курочкина // *Импульс. фотометрия*. 1984. Вып. 8. С. 29–32.
38. *Непогодин И.А.* Основные виды отражательных характеристик тел в направлении приема и методы их измерений в оптике // *Импульс. фотометрия*. 1981. Вып. 7. С. 124–130.
39. Метод быстрых догоняющих пучков в исследовании динамики элементарных химических актов / И.Д. Родионов, Ф.И. Далидчик, М.Ю. Книжников и др. // *Хим. физика*. 1996. Т. 15, № 2. С. 40–59.
40. Дифракционные осцилляции в сечениях упругого рассеяния быстрых атомов аргона на аргоне / И.Д. Родионов, А.П. Калинин, М.Ю. Книжников и др. // *Хим. физика*. 1996. Т. 15, № 5. С. 13–18.
41. *Rodionov I.D., Rodionov A.I., Shilov I.B.* Imaging with MCP in molecules beam experiments // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. A15043. 2001. Vol. 471, N 1–2. P. 239–243.
42. Active optical ecological monitoring / A.A. Samarsky, I.D. Rodionov, A.I. Rodionov etc. // *Proceedings of the SPIE*. 1993. Vol. 2107. P. 476–494.
43. *Сочинский В.П.* Измерение коэффициента габаритной яркости объемных тел при нестационарном облучении // *Оптико-механ. пром-ть*. 1986. № 12. С. 4–5.
44. *Тевяшов В.И., Тымкул В.М., Шуба Ю.А.* Измерение матриц рассеяния тел с использованием зеркальной сферы в качестве образца отражения // *Оптико-механ. пром-сть*. 1979. № 8. С. 11–18.
45. *Тевяшов В.И., Тымкул В.М., Шуба Ю.А.* Фотометрические характеристики тел в поляризованном излучении // *Импульсн. фотометрия*. 1981. Вып. 7. С. 114–119.
46. *Тымкул Л.В., Шуба Ю.А.* Рассеяние света диффузными квадратичными поверхностями в фотометрическом представлении // *Оптико-механ. пром-сть*. 1978. № 11. С. 11–13.
47. *Тымкул Л.В., Тымкул В.М., Алеев Р.М.* Метод и результаты расчета пространственного распределения силы света излучающих тел ламп накаливания // *Оптико-механ. пром-сть*. 1981. № 2. С. 36–39.
48. *Холопов Г.К.* Анализ фотометрических свойств объектов при обратном отражении // *Оптико-механ. пром-сть*. 1982. № 3. С. 7–10.

49. *Холопов Г.К., Шуба Ю.А.* Коэффициент габаритной яркости как количественный параметр для оценки отражательных свойств объемных тел // *Оптико-механ. пром-сть.* 1974. № 1. С. 8–9.
50. *Холопов Г.К., Шуба Ю.А.* Методика определения рассеяния направленного излучения телами сложной формы // *Импульс. фотометрия.* 1984. Вып. 8. С. 26–28.
51. *Волосюк В.К., Кравченко В.Ф.* Математические методы моделирования физических процессов в задачах дистанционного зондирования Земли. Ч. I // *Зарубеж. радиоэлектроника. Успехи соврем. радиоэлектроники.* 2000. № 8. С. 3–80.
52. *Волосюк В.К., Кравченко В.Ф., Пономарев В.И.* Математические методы моделирования физических процессов в задачах дистанционного зондирования Земли. Ч. II // *Зарубеж. радиоэлектроника. Успехи соврем. радиоэлектроники.* 2000. № 12. С. 3–74.
53. *Гончаренко А.А., Кравченко В.Ф., Пономарев В.И.* Дистанционное зондирование неоднородных сред. М.: Машиностроение, 1991. 256 с.
54. *Гливенко В.И.* Интеграл Стильтьеса. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. 216 с.
55. *Грязнов М.И.* Интегральный метод измерения импульсов. М.: Сов. радио, 1975. 280 с.
56. *Сергеев Г.А., Янущи Д.А.* Статистические методы исследования природных объектов. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 310 с.
57. *Кринов Е.Л.* Спектральная отражательная способность природных образований. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 272 с.
58. *Макаров Н.М., Микиров А.Е., Смекалов В.А.* Обобщенная зависимость альбедо земной и водной поверхности от высоты солнца // *Тр. ИПГ.* 1973. Вып. 17. С. 203–210.
59. *Шалыгин А.С., Палагин Ю.И.* Прикладные методы статистического моделирования. Л.: Машиностроение, 1986. 320 с.
60. *Барбар Ю.А., Васильев Е.А.* Вычисление энергетической светимости нагретых тел // *Оптико-механ. пром-сть.* 1986. № 10. С. 6–8.
61. Быстродействующие алгоритмы восстановления рельефа в задачах дальнего космического стереовидения / В.М. Ефимов, В.С. Киричук, А.Н. Колесников, А.Л. Резник // *Автометрия.* 1999. № 2. С. 3–11.
62. *Наттерер Ф.* Математические аспекты компьютерной томографии / Пер. с англ. И.В. Паламодова под ред. В.П. Паламодова. М.: Мир, 1990. 288 с.
63. *Красовский А.А.* Аппроксимация функций многих аргументов в системах цифрового моделирования // *Изв. АН СССР. Техн. кибернетика.* 1989. № 3. С. 3–11.
64. *Бакут П.А., Колмогоров Г.С., Варновицкий И.Э.* Сегментация изображений: Методы пороговой обработки // *Применение методов сегментации изображений в автономных системах обнаружения, распознавания и сопровождения движущихся целей (специальный выпуск)* / Под ред. П.А. Бакута // *Зарубеж. радиоэлектроника.* 1987. № 10. С. 8–24.

65. *Ефимов В.М., Резник А.Л.* Алгоритмы идентификации фрагментов двух изображений, инвариантные к повороту // *Автометрия*. 1984. № 5. С. 61–67.
66. *Shapiro L.S., Zisserman A., Brady M.* Motion from point matches using affine epipolar geometry: Technical Report OUEL. Oxford: University, 1994. 53 p.
67. *Ценсор Я.* Методы реконструкции изображений, основанные на разложении в конечные ряды // *ТИИЭР*. 1983. Т. 71, № 3. С. 148–160.
68. *Cullum J.K., Willoughby R.A.* Lanczos algorithms for large symmetric eigenvalue computations // *Progress in scientific computing*. Boston: Birkhauser. 1985. Vol. 1: Theory. 273 p.; Vol. 2: Programs. 501 p.
69. *Лихачев А. В., Пикалов В.В.* Подсеточное сглаживание в алгебраических алгоритмах трехмерной томографии // *Математ. моделирование*. 1999. Т. 11, № 8. С. 79–90.
70. *Herman G.T.* Algebraic reconstruction techniques can be made computationally efficient // *IEEE Transactions on medical imaging*. 1993. Vol. 12, N 3. P. 600–609.
71. *Lent A., Censor Y.* Extension of Hildreth's row-action method for quadratic programming // *SIAM Journal Control and Optimization*. 1980. Vol. 18. P. 444–454.
72. *Сологуб А.В., Анишаков Г.П., Данилов В.В.* Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли: Мат. модели повышения эффективности КА. М: Машиностроение, 1993. 365 с.
73. *Быков В.В.* Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Сов. радио, 1971. 328 с.
74. *Ермаков С.М., Михайлов Г.А.* Курс статистического моделирования. М.: Наука, 1982. 296 с.
75. *Cooper P.A., Holloway P.F.* The Shuttle Tile Story // *Astronautics and Aeronautics*. Vol. 19, N 1, P. 24–34.
76. *Даджион Д., Мерсеро Р.* Цифровая обработка многомерных сигналов / Пер. с англ. В.А. Григорьева под ред. Л.П. Ярославского. М.: Мир, 1988. 488 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Модель отражения оптического излучения образцами покрытий в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах .....	7
1.1. Вводные замечания .....	7
1.2. Лучевая модель индикатрис отражения оптического излучения шероховатой поверхностью .....	15
1.2.1. Лучевая модель .....	15
1.2.2. Поляризационные свойства покрытия .....	18
1.2.3. Затенение и маскировка микрограней .....	20
1.3. Оптимизация параметров модели индикатрис отражения излучения образцами покрытий .....	24
1.3.1. Критерий оптимальности .....	24
1.3.2. Методика оптимизации .....	27
1.3.3. Результаты оптимизации .....	28
1.4. Параметрическая модель направленной спектральной степени черноты конструкционного материала .....	31
1.4.1. Структура модели индикатрисы собственного излу- чения .....	32
1.4.2. Двухпотокное приближение степени черноты .....	38
1.4.3. Модели оптических постоянных вещества .....	44
Контрольные задания и вопросы .....	46
2. Система геометрического моделирования трехмерных объектов локации .....	48
2.1. Вводные замечания .....	48
2.2. Базовые пространственные элементы системы .....	49
2.2.1. Базовые пространственные элементы первого типа .....	49
2.2.2. Базовые пространственные элементы второго типа .....	52
2.2.3. Базовые пространственные элементы третьего типа .....	54
2.2.4. Геометрическая модель камуфляжа .....	57
2.3. Алгоритмы расчета трехмерного портрета цели .....	58
2.3.1. Анализ видимых точек на поверхности объекта .....	58
2.3.2. Анализ облучаемых точек на поверхности объекта .....	61
2.4. Алгоритмы пространственной визуализации геометрического образа трехмерного объекта .....	63
Контрольные задания и вопросы .....	71

3. Цифровое моделирование оптических характеристик заметности целей.....	73
3.1. Вводные замечания.....	73
3.2. Моделирование переходных характеристик объектов в активной лазерной системе.....	74
3.2.1. Методика моделирования.....	74
3.2.2. Адаптивный кубатурный алгоритм.....	77
3.2.3. Критерий сходимости алгоритма интегрирования.....	79
3.2.4. Оценивание переходной характеристики.....	81
3.3. Моделирование временных профилей ЭПР целей в активной лазерной системе.....	83
3.3.1. Временной профиль отраженного импульса.....	83
3.3.2. Импульсная эффективная площадь рассеяния цели.....	85
3.3.3. Интегральный метод анализа отраженных импульсов.....	99
3.4. Моделирование интегральных коэффициентов яркости объектов в полуактивной лазерной системе.....	102
3.4.1. Переходная отражательная характеристика объекта.....	103
3.4.2. Методика моделирования.....	107
3.4.3. Коэффициент яркости подстилающей поверхности.....	109
3.4.4. Интегральный коэффициент яркости объекта.....	115
3.5. Синтез оптических изображений трехмерных объектов в лазерной системе.....	122
3.6. Синтез тепловизионных изображений трехмерных объектов в пассивной ИК-системе.....	124
3.6.1. Принятые системы координат.....	124
3.6.2. Модель изображения в излучательном диапазоне спектра.....	125
3.6.3. Система уравнений энергетического баланса.....	130
3.7. Реконструкция оптических изображений трехмерных объектов по набору ракурсных снимков.....	136
3.7.1. Интерполяция интенсивности изображения объекта.....	137
3.7.2. Релаксационный алгоритм реконструкции изображе- ния.....	140
Контрольные задания и вопросы.....	145
4. Цифровое моделирование реализаций сигналов в оптических локационных системах.....	147
4.1. Вводные замечания.....	147
4.2. Моделирование входных сигналов в активной лазерной системе.....	147
4.2.1. Амплитуда отраженного импульса.....	147
4.2.2. Методика моделирования.....	151

4.3. Моделирование входных сигналов и приемного тракта лазерного дальномера.....	158
4.3.1. Временной профиль отраженного импульса.....	158
4.3.2. Методика моделирования.....	162
4.3.3. Цифровая модель фотоприемного устройства.....	164
4.3.4. Численный эксперимент.....	168
4.4. Моделирование входных сигналов в полупассивной лазерной системе.....	170
4.4.1. Импульсный интегральный коэффициент яркости.....	170
4.4.2. Численный эксперимент.....	171
4.5. Моделирование входных сигналов в пассивном ИК-координаторе цели.....	174
4.5.1. Принятые системы координат.....	174
4.5.2. Синтез тепловизионного изображения цели.....	178
4.5.3. Методика моделирования.....	185
4.5.4. Численный эксперимент.....	187
Контрольные задания и вопросы.....	189
5. Экспериментальные исследования оптических характеристик заметности целей.....	191
5.1. Вводные замечания.....	191
5.2. Физическое моделирование переходных характеристик объекта с помощью оптической сканирующей установки.....	191
5.2.1. Оптическая сканирующая установка.....	191
5.2.2. Фотометрическая модель объекта.....	194
5.2.3. Методика измерений.....	195
5.2.4. Сопоставление результатов физического и цифрового моделирования.....	199
5.3. Натурные измерения сечений пространственной диаграммы ЭПР объекта в активной лазерной локации.....	201
5.3.1. Измерительная аппаратура.....	201
5.3.2. Методика измерений.....	202
5.3.3. Сопоставление результатов полигонных измерений и цифрового моделирования.....	204
Контрольные задания и вопросы.....	206
Список литературы.....	207