

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Л.В. Лабунец

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ОПТИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕЛЕЙ
В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по направлению подготовки
220400 «Управление в технических системах»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2013

УДК 621.376.3(075.8)

ББК 32.95

Л12

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

Лабунец Л. В.

Л12 Цифровое моделирование оптических отражательных характеристик целей в режиме реального времени : учеб. пособие / Л. В. Лабунец. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. — 211, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3736-8

В пособии представлен программный комплекс цифрового моделирования в режиме реального времени характеристик заметности целей в лазерных и инфракрасных локационных системах. Рассмотрены статистические, структурные и алгебраические методы, методики и алгоритмы формирования цифровых моделей отражательных и излучательных характеристик 3D-объектов в системах оптической локации. На основе современных методов интеллектуального анализа данных предложено решение важных практических задач сжатия информации, полученной в результате имитационного цифрового моделирования, а также формирования информативных признаков для распознавания и классификации целей. Комплекс гарантирует требуемую адекватность получаемых данных и позволяет заменить дорогостоящие полигонные измерения универсальным и гибким вычислительным экспериментом.

Для студентов старших курсов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 220400 «Управление в технических системах», а также для аспирантов и научных работников.

УДК 621.376.3(075.8)

ББК 32.95

ISBN 978-5-7038-3736-8

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии представлен программный комплекс цифрового моделирования в режиме реального времени отражательных характеристик объектов локации и входных сигналов в лазерных локационных системах и инфракрасных (ИК) координаторах целей. Комплекс гарантирует:

- сжатие информации и компактное хранение в базе данных результатов имитационного цифрового моделирования для характеристик заметности объектов локации;
- реконструкцию временного профиля импульсной эффективной площади рассеяния (ЭПР) цели и расчет ее структурных составляющих;
- синтез тепловизионного изображения 3D-объекта с заданного ракурса по относительно небольшому набору его снимков;
- статистическое моделирование отражательных характеристик целей;
- возможность формирования признакового пространства, содержащего информацию об энергетических свойствах объекта локации, его размерах и форме.

Необходимость решения перечисленных выше задач возникает, как правило, в процессе проектирования поверочных комплексов полунатурного моделирования систем оптической локации, а также модулей поддержки принятия решений в лазерно-телевизионных системах различного назначения.

Первая глава учебного пособия посвящена краткому описанию основных понятий, определений и методик имитационного цифрового моделирования характеристик заметности целей в оптическом диапазоне спектра электромагнитных волн [1]. Приведены основные формулы расчета переходной характеристики (ПХ), а также ЭПР и интегрального коэффициента яркости (ИКЯ) объекта в импульсных системах лазерной локации. Проанализированы структурные составляющие ПХ в виде ее непрерывной и разрывной составляющих. Рассмотрен интегральный метод анализа отраженных импульсов и соответствующие ему обобщенные отражательные характеристики целей. В заключение представлена параметрическая

модель направленной спектральной степени черноты образца покрытия.

Во второй главе учебного пособия изложены новые методы статистического анализа для характеристик заметности объектов локации. Представлена унифицированная статистическая модель отражательных характеристик целей в локационных системах. Ее основой является процедура нелинейного преобразования формирующего бета-распределения. Рассмотрена методика оптимизации параметров модели на основе статистической обработки результатов имитационного цифрового моделирования ЭПР объекта в однопозиционной системе лазерной локации. Проиллюстрирована универсальность и гибкость предложенной системы распределений на примерах статистических моделей реального времени интегральных параметров импульсных ЭПР аэродинамических целей.

В рамках метода кумулянтного описания вероятностных распределений А.Н. Малахова получено ковариационное приближение многомерных плотностей и интегралов вероятностей в виде степенного ряда по элементам ковариационной матрицы случайных величин и производным их одномерных интегральных функций распределения. Исследованы необходимые и достаточные условия, при которых характеристическая функция ковариационного приближения положительно определена. Показано, что эти условия рационально формулировать в терминах поиска области допустимых значений для параметров сужения одномерных плотностей распределения вероятностей.

Представлена практическая методика кумулянтного описания негауссовских распределений. Ее информационной основой являются выборочные оценки одномерных плотностей вероятностей и ковариационной матрицы исходных данных. Такая модель естественным образом согласуется с непараметрическими, параметрическими и полупараметрическими оценками многомерных распределений. Кроме того, ковариационное представление позволяет минимизировать вычислительные затраты при решении задач статистического моделирования входных сигналов локационных систем.

Универсальность и гибкость предложенных методов описания вероятностных распределений проиллюстрирована на примере статистической модели реального времени интегральных параметров импульсной ЭПР аэрокосмического корабля Space Shuttle. В частности, получены нелинейные регрессионные зависимости основных статистик интегральных параметров временного профиля ЭПР объекта локации от длительности зондирующего импульса. Эти

результаты позволили, в конечном итоге, реализовать статистическую модель реального времени в виде ковариационного приближения двумерной функции распределения обобщенной амплитуды импульсной ЭПР и ее значения для стационарных условий облучения цели.

В заключение представлен альтернативный пример статистической модели реального времени в виде унифицированного вероятностного распределения амплитуды импульсного ИКЯ объекта локации в двухпозиционной лазерной системе наведения.

В третьей главе учебного пособия исследованы структурные модели отражательных характеристик целей в однопозиционной лазерной локации. Введено понятие дальностного портрета 3D-объекта в виде диаграммы рассеяния в координатах глубина сцены — яркость дифференциально малого элемента поверхности цели. С помощью экспоненциально взвешенных оценок характеристик положения и масштаба, а также анализа гистограммы, сглаженной сдвигом, для выборки яркостей facets на поверхности 3D-объекта выделены непрерывная и разрывная компоненты временных профилей импульсной ЭПР. Получено эффективное решение задачи статистического моделирования в режиме реального времени профилей импульсов, отраженных объектами локации.

Представлена методика интеллектуального анализа отражательных характеристик 3D-объектов в однопозиционных системах оптической локации. Методом обращения свертки реализована коррекция профиля импульсной ЭПР цели. На основе оценок временного положения точек перегиба импульсной ЭПР выделены ее непрерывная и разрывная компоненты. С помощью EM-алгоритма идентифицированы параметры полигауссовской модели разрывной части переходной характеристики объекта локации. На основе сочетания метода главных компонент с релаксационными алгоритмами решения систем линейных неравенств предложено эффективное решение задач моделирования в режиме реального времени непрерывной компоненты ПХ, а также сжатия признаков и их компактного хранения в базе данных. Показано, что формирование информативного признакового пространства малой размерности для классификации целей рационально выполнять на основе кратного масштабного анализа разрывной составляющей ПХ в базисе вейвлетов Хаара.

В четвертой главе учебного пособия рассмотрено решение задачи моделирования тепловизионных изображений целей в пас-

сивных ИК-локационных системах. Математическая модель изображения 3D-объекта реализована в виде системы нелинейных уравнений энергетического баланса. Такой подход позволил учесть как собственную тепловую, так и отражаемую части оптического излучения элемента поверхности цели. Предложена методика линеаризации подобного рода системы уравнений. В рамках принципа реализуемости исследована эффективность алгебраических алгоритмов вычислительной томографии для реконструкции теплофизических параметров объекта локации. Это, в свою очередь, обеспечило возможность восстановления изображения цели по относительно малому набору экспериментально измеренных ракурсных снимков. Алгоритмы обеспечили разумный компромисс между относительно низкими вычислительными затратами цифрового моделирования входных сигналов ИК-координаторов цели и адекватность модели реального времени экспериментальным изображениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лабунец Л.В.* Цифровые модели изображений целей и реализаций сигналов в оптических локационных системах: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 216 с.
2. *Гливенко В.И.* Интеграл Стильтьеса. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936. 216 с.
3. *Лабунец Л.В.* Математическое и физическое моделирование переходных характеристик 3D-объектов в однопозиционной системе оптической локации // Радиотехника и электроника. 2002. Т. 47. № 3. С. 308–321.
4. *Анищенко Н.Н., Лабунец Л.В.* Цифровое моделирование и обработка переходных характеристик объектов в оптической локационной системе наведения // Электромагнитные волны и электронные системы. 2002. Т. 7. № 8. С. 60–77.
5. *Грязнов М.И.* Интегральный метод измерения импульсов. М.: Сов. радио, 1975. 280 с.
6. *Cooper P.A., Holloway P.F.* The Shuttle Tile Story // Astronautics and Aeronautics. 1981. Vol. 19. No 1. P. 24–34.
7. Исследование эффективной площади рассеяния аэрокосмического корабля в однопозиционной оптической локации / Л.В. Лабунец, В.В. Федотов, М.Н. Шашлов и др. // Вопросы специального машиностроения. 1989. Сер. 4. Вып. 7 (187). С. 11–23.
8. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ: В 2 кн. Кн. 1 / Пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.
9. *Зигель Р., Хауэлл Дж.* Теплообмен излучением / Под ред. Б.А. Хрусталева: Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 934 с.
10. *Миснар А.* Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций / Пер. с франц. М.Г. Беды и др. М.: Мир, 1968. 464 с.
11. *Сапожников Р.А.* Теоретическая фотометрия. Л.: Энергия, 1967. 203 с.
12. *Тымкул Л.В., Тымкул В.М., Алеев Р.М.* Метод и результаты расчета пространственного распределения силы света излучающих тел ламп накаливания // Оптико-механическая промышленность. 1981. № 2. С. 36–39.
13. *Гуревич М.М.* Введение в фотометрию. Л.: Энергия, 1968. 244 с.

14. *Kubelka P.* Theory of Diffuse Reflectance // Journal Optical Society of America. 1948. Vol. 38. No 5. P. 448–457.
15. *Середенко М.М.* Влияние подложки и толщины лакокрасочного покрытия на его коэффициент излучения // Оптико-механическая промышленность. 1979. № 5. С. 10–11.
16. *Морозова Л.Н., Середенко М.М.* Характеристики поглощения и рассеяния теплоизолирующих тканей в инфракрасной области спектра // Оптико-механическая промышленность. 1983. № 3. С. 10–11.
17. *Войшивилло Н.А.* Теория Гуревича — Кубелки — Мунка для рассеивающих слоев с двумя отражающими границами // Оптика и спектроскопия. 1974. Т. 37. Вып. 1. С. 136–143.
18. *Непогодин И.А., Козенко А.А.* Статистическая модель эффективной площади рассеяния тел в оптическом диапазоне // Импульсная фотометрия. Л.: Машиностроение, 1984. Вып. 8. С. 21–25.
19. Вероятностное распределение эффективной площади рассеяния летательных аппаратов в однопозиционной лазерной локации / Л.В. Лабунец, М.П. Мусьяков, В.В. Федотов и др. // Вопросы специального машиностроения. 1987. Сер. 4. Вып. 9 (165). С. 36–43.
20. *Лабунец Л.В.* Цифровая обработка переходных характеристик 3D-объектов в однопозиционной системе оптической локации // Радиотехника и электроника. 2002. Т. 47. № 4. С. 452–460.
21. *Лабунец Л.В.* Обобщенная статистическая модель характеристик заметности целей в одно- и двухпозиционных локационных системах // Электромагнитные волны и электронные системы. 2002. Т. 7. № 8. С. 14–25.
22. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
23. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование: Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 534 с.
24. *Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К.* Машинные методы математических вычислений / Пер. с англ. Х.Д. Икрамова М.: Мир, 1980. 279 с.
25. *Суетин П.К.* Классические ортогональные многочлены. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1979. 416 с.
26. *Beckmann P.* Scattering by Non-Gaussian Surface // IEEE Transactions. 1973. Vol. AP-21. No 2. P. 169–175.
27. *Мартынов Г.В.* Вычисление функций нормального распределения // Итоги науки и техники. Сер. Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика / Под ред. Р.В. Гамкрелидзе. М.: ВИНТИ. 1979. Т. 17. С. 23–37.
28. *Chambers M.* On Methods of Asymptotic Approximation for Multivariate Distributions // Biometrika. 1967. Vol. 54. P. 367–383.

29. Фомин Я.А. Теория выбросов случайных процессов. М.: Связь, 1980. 216 с.
30. Лабунец Л.В. Корреляционное приближение многомерных вероятностных распределений // Вопросы проектирования кибернетических устройств: Труды МВТУ. 1987. Вып. 493. С. 3–12.
31. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
32. Devroye L., Györfi L. Nonparametric Density Estimation: The L1 View. New York: John Wiley & Sons, 1985. 408 p.
33. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / Пер. с англ. И.Ш. Торговицкого под ред. А.А. Дорофеюка. М.: Наука, 1979. 368 с.
34. Cramer H. Mathematical methods of statistics. Princeton: University Press, 1946. 427 p.
35. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы: Справ. пособие. Киев: Наук. думка, 1986. 544 с.
36. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
37. Обработка экспериментальных данных с использованием компьютера: Пер. с япон. / С. Минами, Т. Утида, С. Кавата и др.; Под ред. С. Минами. М.: Радио и связь, 1999. 256 с.
38. Scott D.W. Multivariate Density Estimation: Theory, Practice and Visualization. New York: John Wiley, 1992. 317 p.
39. Кравченко В.Ф., Рвачев В.А. Wavelet-системы и их применение в обработке сигналов // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1996. № 4. С. 3–20.
40. Кравченко В.Ф., Басараб М.А., Перес-Меана Х. Спектральные свойства атомарных функций в задачах цифровой обработки сигналов // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. № 5. С. 534–552.
41. Лабунец Л.В. Распределение длительности выбросов нестационарного нормального процесса // Радиотехника. 1985. № 11. С. 47–50.
42. Лабунец Л.В. Оценка распределения длительности выбросов одного класса негауссовских случайных процессов // Радиотехника. 1986. № 9. С. 64–67.
43. Лабунец Л.В. Интерполяционное приближение распределения длительности выбросов случайного процесса // Радиотехника и электроника. 2000. Т. 45. № 12. С. 1459–1469.

44. *Лабунец Л.В.* Интерполяционное приближение вероятности затенения луча шероховатой поверхностью // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. № 4. С. 464–470.
45. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М. Абрамовица и И. Стигана; Пер. с англ. под ред. В.А. Диткина и Л.Н. Кармазиной. М.: Наука, 1979. 630 с.
46. Статистические характеристики эффективной площади рассеяния аэрокосмического корабля в однопозиционной оптической локации / Л.В. Лабунец, М.П. Мусьяков, М.Н. Шашлов и др. // Вопросы специального машиностроения. 1990. Сер. 4. Вып. 9 (193). С. 21–36.
47. *Ермаков С.М., Михайлов Г.А.* Курс статистического моделирования М.: Наука, 1982. 296 с.
48. *Быков В.В.* Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Советское радио, 1971. 328 с.
49. *Шурыгин А.М.* Прикладная стохастика: робастность, оценивание, прогноз. М.: Финансы и статистика, 2000. 224 с.
50. *Meshalkin L.D.* Some mathematical methods for the study of non-communicable diseases // Proceedings 6-th International Meeting of Uses of Epidemiology in Planning Health Services. Primosten, Yugoslavia. 1971. Vol. 1. P. 250–256.
51. *Шурыгин А.М.* Оценка параметров нормального распределения по «загрязненной» выборке и статистический кластер-критерий // Теория вероятностей и ее применения. № 1. 1979. С. 233–234.
52. *Шурыгин А.М.* Оценка параметров нормального распределения с экспоненциальным взвешиванием наблюдений: асимптотическая теория // Ученые записки по статистике. Алгоритмическое и программное обеспечение прикладного статистического анализа. М.: Наука, 1980. Т. 36. С. 241–259.
53. *Лабунец Л.В., Анищенко Н.Н.* Структурный анализ переходных характеристик 3D-объектов в однопозиционной системе оптической локации // Радиотехника и электроника. 2011. Т. 56. № 2. С. 163–177.
54. *Goshtasby A., O'Neill W.D.* Curve Fitting by a Sum of Gaussians // CVGIP: Graphical models and Image Processing. 1994. Vol. 56. No 4. P. 281–288.
55. *McLain D.H.* Drawing contours from arbitrary data points // The Computer Journal. 1974. Vol. 17. No 4. P. 318–324.
56. *Лабунец Л.В.* Рандомизация многомерных распределений в метрике Махаланобиса // Радиотехника и электроника. 2000. Т. 45. № 10. С. 1214–1225.
57. *Булавский В.А.* Методы релаксации для систем неравенств. Новосибирск: НГУ, 1981. 81 с.

58. Дремин И.Л., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // УФН. 2001. Т. 171. № 5. С. 465–501.
59. Лабунец Л.В., Попов А.В. Математическое моделирование индикатрисы спектрального коэффициента направленного теплового излучения покрытий объектов локации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2009. № 2. С. 50–61.
60. Барбар Ю.А., Васильев Е.А. Вычисление энергетической светимости нагретых тел // Оптико-механическая промышленность. 1986. № 10. С. 6–8.
61. Herman G.T. Algebraic reconstruction techniques can be made computationally efficient // IEEE Transactions on medical imaging. 1993. Vol. 12. No 3. P. 600–609.
62. Херман Г.Т. Восстановление изображений по проекциям. Основы реконструктивной томографии. М.: Мир, 1983. 352 с.
63. Лабунец Л.В., Попов А.В. Математическое моделирование тепловизионного изображения 3D-объекта в ИК-координаторе цели // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2010. № 3. С. 13–25.
64. Красовский А.А. Аппроксимация функций многих аргументов в системах цифрового моделирования // Известия академии наук СССР. Техническая кибернетика. 1989. № 3. С. 3–11.
65. 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 // Зарубежная радиоэлектроника. 1987. № 10. С. 8–24.
66. Ефимов В.М., Резник А.Л. Алгоритмы идентификации фрагментов двух изображений, инвариантные к повороту // Автометрия. 1984. № 5. С. 61–67.
67. Ценсор Я. Методы реконструкции изображений, основанные на разложении в конечные ряды // ТИИЭР. 1983. Т. 71. № 3. С. 148–160.
68. 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.
69. Herman G.T. A relaxation for reconstructing objects from noisy X-rays // Mathematical Programming 1975. Vol. 8. P. 1–19.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАМЕТНОСТИ 3D-ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ	7
1.1. ПЕРЕХОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ИМПУЛЬСНАЯ ЭФ- ФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАССЕЯНИЯ ЦЕЛИ В ОДНОПОЗИЦИОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕ- МАХ.....	8
1.2. ПЕРЕХОДНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕ- ЛИ В ДВУХПОЗИЦИОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМАХ НАВЕ- ДЕНИЯ	17
1.3. ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ОТРАЖЕННЫХ ИМ- ПУЛЬСОВ	26
1.4. ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕЛИ В ПАССИВНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	36
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ	49
2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ОТ- РАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 3D-ОБЪЕКТОВ	50
2.1. УНИФИЦИРОВАННАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХАРАКТЕ- РИСТИК ЗАМЕТНОСТИ ЦЕЛЕЙ В ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	51
2.2. КОВАРИАЦИОННОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ МНОГОМЕРНОГО ВЕ- РОЯТНОСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	62
2.2.1. Кумулянтное описание вероятностного распределения	62
2.2.2. Ковариационное приближение интегральной функции рас- пределения	66
2.2.3. Смесь одномерных распределений с многомерным гауссов- ским ядром	70
2.2.4. Ковариационное приближение многомерного интеграла ве- роятностей.....	75
2.3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ОБОБЩЕННЫХ АМПЛИТУДЫ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬС- НОЙ ЭПР ЦЕЛИ.....	83
2.4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ АМ- ПЛИТУДЫ ИМПУЛЬСНОГО ИКЯ ЦЕЛИ	97
2.4.1. Выборочные статистики импульсного ИКЯ.....	97
2.4.2. Унифицированное распределение импульсного ИКЯ	101
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ	104

3. СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 3D-ОБЪЕКТОВ	106
3.1. ДАЛЬНОСТНЫЙ ПОРТРЕТ ЦЕЛИ В ОДНОПОЗИЦИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	107
3.2. МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИМПУЛЬСНОЙ ЭПР ЦЕЛИ.....	112
3.3. РЕКОНСТРУКЦИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЭПР ЦЕЛИ В ОДНОПОЗИЦИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ	121
3.3.1. Коррекция временного профиля импульсной ЭПР	122
3.3.2. Структурные составляющие импульсной ЭПР	128
3.3.3. Полигауссовская модель разрывной составляющей переходной характеристики цели.....	133
3.4. АНАЛИЗ НЕПРЕРЫВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕЛИ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ.....	139
3.4.1. Статистики непрерывной составляющей переходной характеристики.....	140
3.4.2. Метод главных компонент	144
3.4.3. Компромиссное решение.....	147
3.4.4. Численный эксперимент.....	149
3.5. ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ РАЗРЫВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕЛИ.....	157
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ	162
4. АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 3D-ОБЪЕКТОВ	164
4.1. СИНТЕЗ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЦЕЛИ МЕТОДАМИ РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТОМОГРАФИИ	164
4.2. АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D-ОБЪЕКТА	179
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ.....	197
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Производные формирующего распределения	198
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Модифицированный EM-алгоритм.....	202
ЛИТЕРАТУРА	205

Учебное издание

Лабунец Леонид Витальевич

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ОПТИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕЛЕЙ
В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Редактор *С.А. Серебрякова*

Корректор *О.В. Калашикова*

Компьютерная верстка *Е.В. Романова*

Подписано в печать 25.12.2013. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 12,32. Тираж 100 экз. Изд. № 121. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.