

Предисловие к первому изданию	3
Предисловие ко второму изданию	5
Введение. Основные определения, принципы работы, элементы и характеристики оптико-электронных приборов.	7
§ 1. Определение и классификация оптико-электронных приборов	8
§ 2. Обобщенная схема оптико-электронного прибора	10
§ 3. Краткие сведения об элементах обобщенной схемы оптико-электронного прибора	11
Источники излучения и промежуточная среда	14
Оптическая система	18
Приемники излучения (определение и классификация)	20
Усилитель и другие элементы электронного тракта	21
§ 4. Основные характеристики оптико-электронных приборов	22
§ 5. Системы обзора и анализа поля излучения (определение и классификация)	23
§ 6. Несканирующие системы обзора и анализа поля излучения простейшего типа (энергетические)	25
§ 7. Несканирующие системы, создающие изображение	26
§ 8. Обзор и анализ поля излучения за счет сканирования	26
§ 9. Растровые анализаторы поля излучения	28
Часть I. Сканирование	—
Глава 1. Случайный поиск	33
§ 1.1. Вероятность обнаружения при случайном поиске	—
§ 1.2. Среднее время обнаружения объекта при случайном и детерминированном поиске	31
Глава 2. Траектории сканирования при регулярном поиске (типы разверток)	36
§ 2.1. Траектории сканирования при колебательно-вращательном движении сканирующего поля	—
§ 2.2. Траектории сканирования при вращательно-вращательном движении сканирующего поля	36
§ 2.3. Траектории сканирования при колебательных перемещениях сканирующего поля в двух взаимно перпендикулярных направлениях, траектория сканирования «гусеница» и следящая развертка	38
Глава 3. Способы сканирования при регулярном поиске (типы сканирующих устройств)	40
§ 3.1. Сканирование электронным лучом	41
Основные принципы. Системы мгновенного действия и системы с накоплением	42
Диссектор	44
Видикон	46
§ 3.2. Сканирование световым лучом	—
§ 3.3. Оптико-механическое сканирование. Определение, классификация, приборы со сканированием за счет движения всей оптической системы, приборы, сканирующие за счет прецессии гироскопа	47
Глава 4. Сканирование зеркалами	49
§ 4.1. Основные положения	—
Сканирование в пространстве предметов и изображений	51
Типы сканирующих зеркал	—
Траектория сканирования плоским зеркалом	—
Примеры сканирующих устройств — тепловизоры «Рубин», «Филин» и камера Барнса	53
§ 4.2. Сканирование многогранными вращающимися зеркалами в оптико-электронной аппаратуре для картографирования и обзора местности	55
Принцип действия аппаратуры	—

	Поле обзора и угловой размер строки	60
	Скорость сканирования и минимальная длительность импульса Быстродействие коммутатора	61 62
§ 4.3.	Коэффициент использования и габаритные размеры многогран- ного сканирующего зеркала	64
	Сканирующая призма	—
	Сканирующая пирамида	72
§ 4.4.	Двухканальные схемы сканирования	76
§ 4.5.	Траектории сканирования многогранными вращающимися зерка- лами	77
§ 4.6.	Чересстрочное сканирование в системе с многоэлементным приемником	80
§ 4.7.	Сканирование зеркалом, вращающимся вокруг оси, перпенди- кулярной к нему	83
Глава 5.	Сканирование преломляющими элементами: плоскопараллельной пластинкой и призмой	88
§ 5.1.	Соотношения, определяющие закон сканирования	—
§ 5.2.	Примеры сканирующих устройств — тепловизоры фирмы АГА	96
Глава 6.	Сканирование вращающимися объективами и оптическими клиньями, экранирующие системы и системы с изменяющимися оптическими свойствами	100
§ 6.1.	Сканирование вращающимися объективами	101
§ 6.2.	Сканирование оптическими клиньями	104
§ 6.3.	Сканирование отверстием в непрозрачном экране, движущемся в плоскости изображения	106
§ 6.4.	Сканирование путем управления оптическими свойствами дета- лей, входящих в оптическую систему	111
	Часть II. Растровая модуляция	112
Глава 7.	Измерительные свойства растров (кодирование и декодирование информации в системах с растровыми анализаторами)	—
§ 7.1.	Классификация и принцип действия растровых анализаторов	—
§ 7.2.	Амплитудная модуляция	115
§ 7.3.	Частотная модуляция	118
§ 7.4.	Фазовая модуляция	121
§ 7.5.	Амплитудно-частотная модуляция	130
§ 7.6.	Импульсно-частотная модуляция	133
§ 7.7.	Амплитудно-фазовая модуляция	137
§ 7.8.	Частотно-фазовая модуляция	146
§ 7.9.	Импульсная модуляция	148
Глава 8.	Преобразование растром пространственного распределения из- лучения в функцию времени	153
§ 8.1.	Структура и спектр модулированного потока излучения	—
§ 8.2.	Гармоническая модуляция излучения. Ошибки модуляции. Модуляция кратковременных импульсов (вспышек) излучения Идеальный гармонический модулятор	160 —
	Ошибки изготовления раstra — модулятора излучения	161
	Спектр модулированного излучения с учетом ошибок изгото- вления раstra	167
	Спектры Фурье вспышек излучения, прошедших через гармо- нический модулятор	173
§ 8.3.	Модуляция излучения вращающимся секторным растром (об- щие соотношения)	174
§ 8.4.	Модуляция секторным растром излучения, равномерно рас- пределенного в пределах части сектора раstra	179
§ 8.5.	Модуляция секторным растром излучения, равномерно распе- деленного в пределах круглой диафрагмы поля	180
§ 8.6.	Модуляция излучения секторным растром при коническом сканировании	198
§ 8.7.	Модуляция излучения растром, имеющим форму барабана или перфорированной ленты	203
		691

<i>Часть III. Сигнал</i>	207
Глава 9. Энергетические характеристики излучения.	—
§ 9.1. Энергетические характеристики излучения.	208
Поток излучения.	—
Энергетическая сила света.	209
Поверхностная плотность потока излучения.	210
Поверхностно-угловая плотность потока излучения — энергетическая яркость.	—
§ 9.2. Соотношения между энергетическими характеристиками излучения	212
Поток излучения в полусферу.	—
Энергетическая освещенность от точечных и протяженных источников	213
§ 9.3. Мощность и спектральный состав излучения.	218
§ 9.4. Влияние промежуточной среды на мощность и спектральный состав излучения.	228
§ 9.5. Ослабление излучения атмосферой.	234
Глава 10. Характеристики приемников излучения для сигнала.	237
§ 10.1. Амплитудные (энергетические или световые) и спектральные характеристики приемников излучения.	239
§ 10.2. Частотные характеристики приемников излучения.	252
Апериодическое звено — простейший эквивалент приемника излучения с точки зрения его частотной характеристики.	—
Коррекция частотной характеристики приемника излучения	256
Глава 11. Амплитуда сигнала. Сочетание приемника излучения с усилителем	259
§ 11.1. Расчет амплитуды сигнала на выходе усилителя (общий случай)	261
§ 11.2. Расчет амплитуды сигнала для случая, когда приемник излучения представляет собой генератор изменения сопротивления	265
§ 11.3. Расчет амплитуды сигнала для случая, когда приемник излучения представляет собой генератор электродвижущей силы (ЭДС)	270
§ 11.4. Расчет амплитуды сигнала для случая, когда приемник излучения представляет собой генератор тока.	275
Глава 12. Спектр сигнала. Основные определения и теоремы. Расчет спектров	277
§ 12.1. Спектры периодических сигналов.	—
Гармонические колебания.	278
Сложный периодический процесс.	279
Периодическая последовательность прямоугольных импульсов	282
§ 12.2. Спектры непериодических сигналов, заданных одномерными вещественными функциями времени или пространства.	286
§ 12.3. Свойства спектров одномерных вещественных функций.	292
Теорема о спектре суммы.	—
Теорема запаздывания.	—
Теорема смещения, или теорема о транспозиции (переносе) спектра	293
Связь между произведениями функций и их спектров (формула Релея). Равенство (теорема Парсеваля).	294
Спектр произведения. Теорема о свертке спектров.	295
Теорема о спектре свертки.	296
Теорема о спектре производной.	297
Теорема о спектре интеграла.	—
§ 12.4. Расчет спектров Фурье некоторых импульсов и процессов, заданных одномерными вещественными функциями.	298
Единичный скачок (единичная функция Хевисайда).	—
Прямоугольный импульс.	299
Единичный импульс (дельта-функция Дирака).	305
Колоколообразный (гауссов) импульс.	307
Косинусный и косинус-квадратный импульсы.	309

	Гармонические колебания	313
	Сложный периодический процесс	—
§ 12.5.	Связь между спектром периодической последовательности импульсов и спектральной плотностью одиночного импульса той же формы	314
§ 12.6.	Спектры модулированных колебаний	316
	Вводные замечания	—
	Спектр амплитудно-модулированного колебания	317
	Спектр частотно-модулированного колебания	318
	Спектр колебания при фазовой модуляции	320
§ 12.7.	Функции с ограниченным спектром. Теорема Котельникова о дискретном представлении непрерывных сигналов	321
§ 12.8.	Спектры двумерных и многомерных вещественных функций	324
	Основные соотношения	—
	Двумерная дельта-функция Дирака	326
	Редукция преобразования Фурье к меньшему числу переменных	327
	Спектр сечения двумерной функции	—
	Двумерные спектры функций с разделяющимися переменными. Преобразование Фурье — Бесселя, или преобразование Ганкеля нулевого порядка	328
§ 12.9.	Пространственно-частотные характеристики (ПЧХ) объектов наблюдения при некогерентном освещении	332
	Основные соотношения	—
	ПЧХ точечного источника	333
	ПЧХ объекта прямоугольной формы	334
	ПЧХ круглого объекта равномерной яркости	—
	ПЧХ круглого объекта неравномерной яркости	—
	ПЧХ объекта вытянутой формы	335
§ 12.10.	Особые свойства спектров комплексных функций	336
	Спектры взаимно сопряженных комплексных функций	337
	Спектр свертки комплексных функций (теорема о спектре свертки)	339
	Спектр свертки взаимно сопряженных комплексных функций (теорема о спектре функции автокорреляции)	342
	Спектр квадрата модуля комплексной функции (частный случай теоремы о свертке спектров)	343
	Интегральная теорема Фурье	—
Глава 13.	Реакция электрической и оптической систем на входное воздействие. Импульсная характеристика электрического фильтра и функция рассеяния оптической системы	344
§ 13.1.	Реакция электрической системы	—
§ 13.2.	Реакция оптической системы на некогерентное освещение	347
§ 13.3.	Реакция оптической системы на когерентное освещение. Взаимосвязь некогерентной и когерентной передаточных функций	351
Глава 14.	Оптическая система как фильтр пространственных частот	355
§ 14.1.	Функция рассеяния и передаточная функция оптической системы при некогерентном освещении	356
	Пятно рассеяния представляет собой равномерно освещенный круг радиусом ρ_0	—
	Пятно рассеяния представляет собой круг, изменение освещенности внутри которого аппроксимируется гауссоидой вращения	357
	Изображение создается объективом, качество которого ограничивается только дифракцией	359
	Пятно рассеяния имеет квадратную форму, а распределение освещенности в нем аппроксимируется произведением косинусов в l -й степени	360
	ЧКХ оптической системы	364
§ 14.2.	Передаточная функция диафрагм, растров и приемника изображения при некогерентном освещении	368
		693

§ 14.3.	Функция рассеяния и передаточная функция оптической системы при когерентном освещении. Примеры расчета	370
§ 14.4.	Связь передаточных функций при некогерентном и когерентном освещении с фундаментальными характеристиками оптической системы: размерами и формой зрачка, фокусным расстоянием и качеством изображения	398
Глава 15.	Спектр сигнала на выходе усилителя оптико-электронного прибора при некогерентном освещении	409
§ 15.1.	Изопланарная оптическая система и заданный закон сканирования	410
§ 15.2.	Примеры расчета спектра сигнала	417
	Расчет спектра сигнала, вырабатываемого безынерционным приемником излучения, установленным в плоскости изображения идеального объектива, когда переменные в функции распределения чувствительности приемника разделяются	—
	Расчет спектра сигнала, вырабатываемого безынерционным приемником излучения, установленным в плоскости изображения идеального объектива, когда переменные в функции распределения чувствительности приемника не разделяются	419
	Расчет спектра сигнала, вырабатываемого безынерционным приемником излучения, установленным в плоскости изображения объектива, обладающего аберрациями	421
	Расчет спектра сигнала для случая, когда задан закон набегающего изображения точечной цели на чувствительную площадку приемника излучения	424
Часть IV. Шум		428
Глава 16.	Математические методы описания шума	—
§ 16.1.	Законы распределения вероятностей случайных функций	429
§ 16.2.	Математическое ожидание случайной функции	434
§ 16.3.	Дисперсия случайной функции	435
§ 16.4.	Корреляционная функция случайного процесса	436
§ 16.5.	Энергетический спектр случайного процесса или спектр Хинчина — Винера	438
§ 16.6.	Корреляционная функция и спектр Хинчина — Винера на выходе линейной инвариантной системы	445
Глава 17.	Методы оценки и расчета уровня шумов отдельных участков тракта оптико-электронного прибора	446
§ 17.1.	Коэффициент шума	447
§ 17.2.	Шумовая полоса пропускания	448
§ 17.3.	Шумовые эквивалентные схемы	450
Глава 18.	Шум приемников излучения и согласование его с усилителем. Порог чувствительности и другие характеристики приемников излучения	453
§ 18.1.	Тепловой шум	—
§ 18.2.	Дробовой шум	460
§ 18.3.	Токовый шум	468
§ 18.4.	Генерационно-рекомбинационный шум	471
§ 18.5.	Фотонный шум (общие соотношения)	472
§ 18.6.	Фотонный шум тепловых приемников	480
§ 18.7.	Фотонный шум фотонных приемников	483
§ 18.8.	Температурный шум	498
§ 18.9.	Микрофонный шум	501
§ 18.10.	Вычисление и согласование шумов	502
§ 18.11.	Подавление теплового шума входной цепи. Шум при коррекции инерционности	504
§ 18.12.	Выбор оптимального сопротивления приемника излучения и его нагрузки	507
§ 18.13.	Порог чувствительности и другие характеристики приемников излучения, описывающие его способность обнаружить слабый сигнал	510

§ 18.14. Характеристики некоторых приемников излучения	517
Глава 19. Шум объекта наблюдения и фона	519
§ 19.1. Шум объекта наблюдения	521
§ 19.2. Шум фона	—
Часть V. Отношение сигнала к шуму и основы энергетического расчета пассивных оптико-электронных приборов. Некоторые вопросы теории выделения оптического сигнала на фоне случайных помех	529
Глава 20. Основы энергетического расчета	—
§ 20.1. Общие соотношения	530
§ 20.2. Отношение сигнала к шуму на выходе усилителя оптико-электронного прибора. Уравнения дальности и чувствительности	534
§ 20.3. Решение уравнений дальности и чувствительности оптико-электронного прибора	542
Расчет коэффициента ρ_0	543
Необходимое отношение сигнала к шуму	547
Глава 21. Оптимальный фильтр, его структура и способы реализации	552
§ 21.1. Структура оптимального фильтра и его основные характеристики	—
Структура оптимального фильтра	—
Амплитудно-частотная характеристика	553
Фазо-частотная или фазовая характеристика	554
§ 21.2. Сигнал и шум на выходе оптимального фильтра	555
§ 21.3. Импульсная характеристика оптимального фильтра	557
§ 21.4. Способы реализации оптимального фильтра	562
Оптимальный линейный фильтр с сосредоточенными постоянными	—
Оптимальный фильтр в виде коррелометра	570
Оптимальная фильтрация при окрашенном шуме	572
Глава 22. Основные принципы выделения оптического сигнала на фоне случайных помех	573
§ 22.1. Равномерный фон	574
§ 22.2. Влияние побочного излучения на работу радиометра	577
§ 22.3. Неравномерный фон	580
Часть VI. Некоторые новые области применения оптико-электронных приборов	586
Глава 23. Тепловидение	—
§ 23.1. Основы тепловидения	—
§ 23.2. Порог чувствительности (пороговая чувствительность) тепловизора	607
§ 23.3. Разрешающая способность тепловизора	614
§ 23.4. Передаточная функция видеоконтрольного (индикаторного) устройства и ее спектр. Спектр сигнала и шума на экране индикатора	618
§ 23.5. Передаточная функция и частотно-контрастная характеристика тепловизора	625
§ 23.6. Простейшие законы зрительного восприятия и их использование при разработке сканирующих тепловизоров	631
Острота зрения	—
Частотно-контрастная характеристика глаза	635
Случайный поиск изображения объекта на экране индикатора	636
Интегрирующие свойства глаза (законы пространственной и временной суммации)	638
Восприятие шума и отношения сигнала к шуму на экране индикатора	639
Вероятность обнаружения и вероятность опознавания изображения объекта наблюдения на экране индикатора	646
Глава 24. Иконика	650
§ 24.1. Содержание и структура иконики	651
	695

§ 24.2. Фундаментальные законы зрительного восприятия	656
Закон контрастного восприятия света	—
Закон формирования уровня адаптации	658
Закон константности зрительного восприятия	660
Закон зрительного восприятия сюжетного изображения	661
Закон экстремальности зрительного восприятия информации (света или изображения)	662
§ 24.3. Иконика и обработка изображений	665
Общий алгоритм обработки изображений	—
Оценка качества (паспортизация) изображения	666
Линейные преобразования изображений	669
Нелинейные преобразования изображений	671
Структура нелинейного статистического безынерционного пре- образования и его фундаментальное свойство	673
Примеры обработки изображений и методы реализации алго- ритмов обработки в оптико-электронной аппаратуре	678
Список литературы	683

ИБ № 4032

Михаил Михайлович Мирошников

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ
ПРИБОРОВ**

Редакторы *Л. М. Манучарян, Н. А. Жукова*
Художественный редактор *С. С. Венедиктов*
Технические редакторы: *Т. Н. Витошинская, И. В. Буздалева*
Корректоры: *З. С. Романова, Н. Б. Старостина*
Переплет художника *А. Ф. Каширских*
Цветные слайды художника *В. М. Соболева*

Сдано в набор 18.04.83. Подписано в печать 28.11.83. М-42790.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 44,5 (в т. ч. вкл. 1,0). Усл. кр.-отт. 47,5. Уч.-изд. л. 45,57
(в т. ч. вкл. 0,68). Тираж 8000 экз. Заказ 118. Цена 1 р. 90 к.

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени
издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10

Цветные рисунки изготовлены на Ленинградском комбинате цветной печати