

**Ю.Г. ЯКУШЕНКОВ**

**ОСНОВЫ  
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО  
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

*Учебник*

УДК 681.384.31  
ББК 32.86-5-01  
Я49

*Серия основана в 2003 году*

Рецензенты

*В.В. Коротяев*, доктор технических наук, профессор  
(Национальный исследовательский университет информационных  
технологий, механики и оптики)

*В.В. Шлапак*, кандидат технических наук, профессор  
(Московский государственный университет геодезии  
и картографии – МИИГАиК)

**Якушенков Ю.Г.**

Я49 Основы оптико-электронного приборостроения: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.Г. Якушенков. – М.: Логос, 2013. – 376 с.: ил. (Новая университетская библиотека).

ISBN 978-5-98704-652-4

Изложены физические принципы работы и основы построения оптико-электронных приборов (ОЭП). Описаны типовые узлы ОЭП: источники и приемники оптического излучения, оптические системы, анализаторы изображения, сканирующие системы, модуляторы. Рассмотрены методы приема оптических сигналов, обобщенные структурные схемы ОЭП и способы выделения сигналов от объектов, наблюдаемых на фоне помех. Приведены методики расчета ряда основных параметров ОЭП, которые могут быть полезными при выборе того или иного ОЭП, предназначенного для использования в геодезической практике и дистанционном зондировании и оценке эффективности этого использования.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Геодезия и дистанционное зондирование» и специальности «Прикладная геодезия». Представляет интерес для специалистов, занимающихся топографо-геодезической деятельностью и дистанционным зондированием Земли, а также проектированием и эксплуатацией ОЭП различного назначения.

УДК 681.384.31  
ББК 32.86-5-01

ISBN 978-5-98704-652-4

© Якушенков Ю.Г., 2013  
© Логос, 2013

# Оглавление

---

<b>Предисловие</b> .....	9
<b>Часть I. Физические основы и элементы оптико-электронных приборов</b> .....	11
<b>Глава 1. Общие сведения об оптико-электронных приборах</b> .....	11
1.1. Оптико-электронные приборы: определение, обобщенные схемы и методы работы .....	11
1.2. Краткая классификация оптико-электронных приборов .....	14
1.3. Сравнение оптико-электронных приборов с визуальными оптическими и радиоэлектронными приборами .....	15
1.4. Краткий исторический очерк и некоторые перспективы развития оптико-электронного приборостроения .....	18
<b>Глава 2. Оптическое излучение. Источники излучения, используемые в оптико-электронных приборах</b> .....	23
2.1. Оптический спектр электромагнитных колебаний .....	23
2.2. Основные энергетические и фотометрические величины и соотношения между ними .....	24
2.3. Система астрофизических звездных величин .....	31
2.4. Законы теплового излучения .....	35
2.5. Основные типы излучателей, применяемых в оптико-электронных приборах .....	42
<b>Глава 3. Распространение оптического излучения в атмосфере</b> .....	60
3.1. Оптические характеристики атмосферы .....	60
3.2. Поглощение излучения в земной атмосфере .....	64
3.3. Рассеяние излучения в атмосфере .....	67
3.4. Флуктуации прозрачности атмосферы и их влияние на работу оптико-электронного прибора .....	73
3.5. Рефракция оптических лучей .....	79
3.6. Влияние атмосферы на контраст между наблюдаемым объектом и фоном .....	81
<b>Глава 4. Оптическая система оптико-электронного прибора</b> .....	83
4.1. Назначение, структура и особенности оптической системы оптико-электронного прибора .....	83
4.2. Критерии качества оптической системы оптико-электронного прибора .....	86

4.3. Передающие оптические системы .....	90
4.4. Объективы .....	94
4.5. Конденсоры приемных оптических систем .....	99
4.6. Оптические компенсаторы.....	105
4.7. Бленды. Борьба с внешними и внутриприборными засветками в оптической системе .....	109
4.8. Оптические фильтры .....	112
<b>Глава 5. Приемник излучения как звено оптико-электронного прибора .....</b>	<b>117</b>
5.1. Краткая классификация приемников излучения, используемых в оптико-электронных приборах .....	117
5.2. Параметры приемников излучения .....	118
5.3. Характеристики приемников излучения .....	125
5.4. Паспортизация приемников. Пересчет их параметров .....	128
5.5. Основные виды приемников излучения, применяемых в оптико-электронных приборах .....	135
5.6. Многоэлементные приемники излучения .....	149
5.7. Многодиапазонные приемники излучения .....	160
5.8. Электронно-оптические преобразователи.....	162
5.9. Передающие телевизионные трубки.....	169
<b>Глава 6. Анализаторы изображения оптико-электронных приборов .....</b>	<b>174</b>
6.1. Назначение анализаторов изображений и их классификация .....	174
6.2. Основные параметры и характеристики анализаторов .....	176
6.3. Светоделительные амплитудные анализаторы .....	178
6.4. Амплитудно-фазовые анализаторы .....	182
6.5. Фазовые анализаторы изображения .....	187
6.6. Частотные анализаторы .....	189
6.7. Времяимпульсные (фазоимпульсные) анализаторы .....	191
6.8. Многоэлементные приемники излучения как анализаторы изображений.....	195
6.9. Спектр сигнала на выходе многоэлементного анализатора изображений.....	201
<b>Глава 7. Сканирование в оптико-электронных приборах.....</b>	<b>205</b>
7.1. Назначение и роль сканирования. Методы сканирования.....	205
7.2. Параметры и характеристики сканирующих систем.....	210
7.3. Механические и оптико-механические сканирующие системы .....	217
7.4. Фотоэлектронные сканирующие системы.....	224

<b>Глава 8. Модуляция и демодуляция сигналов в оптико-электронных приборах</b> .....	226
8.1. Назначение, классификация и особенности модуляции потока излучения .....	226
8.2. Демодуляция сигналов .....	233
8.3. Потери мощности сигнала при модуляции .....	238
8.4. Общая характеристика способов модуляции сигнала в оптико-электронных приборах .....	239
8.5. Модуляторы оптических сигналов, применяемые в оптико-электронных приборах.....	242
8.6. Пространственно-временные модуляторы (динамические транспаранты) .....	249
<b>Часть II. Основы теории приема сигналов в применении к оптико-электронным приборам</b> .....	253
<b>Глава 9. Основные методы приема оптических сигналов</b> .....	253
9.1. Краткая классификация основных методов приема оптических сигналов .....	253
9.2. Гетеродинный прием оптических сигналов .....	255
9.3. Динамический метод приема (метод счета одноэлектронных импульсов) .....	260
<b>Глава 10. Обобщенные структурные схемы оптико-электронных приборов</b> .....	264
10.1. Структурная схема оптико-электронной измерительной и следящей системы .....	264
10.2. Структурная схема оптико-электронной системы визуализации и обработки изображений.....	267
10.3. Оптическая система как линейный фильтр.....	272
10.4. Передаточная функция среды распространения излучения.....	277
10.5. Передаточная функция оптико-электронной системы.....	282
<b>Глава 11. Фильтрация сигналов в оптико-электронных приборах</b> .....	287
11.1. Спектральная оптическая фильтрация.....	287
11.2. Пространственная фильтрация в некогерентных оптических системах .....	292
11.3. Фильтрация сигналов в электронном тракте.....	297
11.4. Оптическая корреляция.....	304

<b>Часть III. Методики расчета и выбора некоторых основных параметров и характеристик опико-электронных приборов .....</b>	<b>311</b>
<b>Глава 12. Энергетические расчеты опико-электронных приборов .....</b>	<b>311</b>
12.1. Критерии качества опико-электронных приборов.....	311
12.2. Обобщенная методика энергетического расчета.....	312
12.3. Расчет значений потоков и облученностей на входе опико-электронного прибора.....	315
12.4. Расчет потерь потока в оптической системе .....	325
12.5. Расчет коэффициента полезного действия системы первичной обработки информации.....	326
<b>Глава 13. Расчет показателей эффективности работы опико-электронных приборов .....</b>	<b>329</b>
13.1. Расчет вероятностей обнаружения сигнала на фоне помех.....	329
13.2. Расчет отношения сигнал-шум на выходе системы первичной обработки информации.....	334
13.3. Расчет пороговой чувствительности опико-электронного прибора .....	339
13.4. Расчет дальности действия опико-электронных приборов .....	342
13.5. Основные этапы точностного расчета опико-электронных приборов .....	346
13.6. Общая методика расчета инструментальных погрешностей.....	349
<b>Глава 14. Расчет и выбор ряда конструктивных параметров опико-электронных приборов .....</b>	<b>351</b>
14.1. Расчет основных конструктивных параметров оптической системы.....	351
14.2. Выбор и расчет основных параметров источника излучения.....	353
14.3. Выбор и расчет основных параметров приемника излучения.....	355
14.4. Сравнительная оценка различных видов модуляции оптических сигналов. Выбор рабочих частот модуляции и ширины полосы пропускания.....	358
14.5. Краткие сведения об испытаниях опико-электронных приборов .....	364
<b>Список литературы .....</b>	<b>373</b>