

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

Л. А. Запрягаева, И.С. Свешникова

# **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

2-е издание, исправленное и дополненное

*ЧАСТЬ II*

Москва  
2009

ББК 22.34я73

З 30

УДК 681.7.002 (075.8)

Рецензенты:

- кафедра «Оптико-электронные приборы научных исследований»  
(Московский государственный технический университет им. Баумана);
- доктор технических наук С.Н. Бездидько (Дом оптики ВНЦ  
«ГОИ им. С.И. Вавилова»)

**Запрягаева Л. А., Свешникова И.С.**

З 30 Расчет и проектирование оптических систем: Учебник для вузов в 2-х частях. Часть II. 2-е издание исправленное и дополненное. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. – 258 с.

ISBN 978-5-91188-018-7

Учебник состоит из двух частей, выходящих в свет одновременно отдельными книгами. Во второй части учебника, по содержанию и методически неразрывно связанной с первой частью и выходящей отдельной книгой, рассмотрен синтез зеркальных и зеркально-линзовых систем, приведены методы и теория синтеза систем с асферическими поверхностями. Указаны особенности абберационного анализа с последующей оптимизацией и оценкой качества изображения по ее результатам, рассмотрен расчет допусков на конструктивные параметры оптических систем, на изготовление и сборку оптических деталей и узлов. Приведены требования к оформлению и пример оформления оптической схемы и оптического выпуска. Для студентов оптических специальностей вузов и магистрантов, обучающихся по направлению «Оптотехника». Представляет интерес для научных и инженерно-технических работников.

УДК 681.7.002 (075.8)  
ББК 22.34я73

ISBN 978-5-91188-018-7

© Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова, 2009  
© Издательство МИИГАиК, 2009

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
Глава 6. РАСЧЕТ ЗЕРКАЛЬНЫХ И ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВЫХ СИСТЕМ .....	4
6.1. Преимущества и недостатки зеркальных и зеркально-линзовых систем перед линзовыми .....	4
6.2. Расчет простых зеркальных систем .....	6
Габаритный и абберационный расчеты одиночного сферического зеркала .....	6
Сферическое зеркало с плоским отражателем .....	10
6.3. Габаритный и абберационный расчеты двухзеркальных систем со сферическими поверхностями .....	13
Двухзеркальные системы для предмета в бесконечности .....	13
Двухзеркальные системы для предмета на конечном расстоянии .....	25
Апланатические двухзеркальные системы .....	33
Двухзеркальные системы с двумя проходами лучей между зеркалами .....	38
6.4. Компенсаторы монохроматических aberrаций .....	41
Афокальные ахроматические компенсаторы .....	42
Неафокальные компенсаторы .....	50
6.5. Параметрический синтез зеркально-линзовых систем с линзовыми компенсаторами различных конструкций .....	55
Синтез систем с двухлинзовым афокальным ахроматическим компенсатором в параллельных пучках .....	55
Синтез зеркально-линзовых систем с афокальным ахроматическим компенсатором в сходящихся пучках лучей .....	61
Синтез зеркальных систем с афокальным ахроматическим компенсатором комы .....	67
Синтез зеркальных систем с мениском Максудова .....	70

Синтез объектива типа Кассегрена с линзой Манжена в качестве компенсатора на вторичном зеркале .....	80
6.6. Параметрический синтез линзовых систем с отражающей поверхностью .....	83
Синтез зеркала Манжена .....	83
Синтез двухлинзовых компонентов-отражателей .....	88
Глава 7. РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С АСФЕРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ .....	97
7.1. Применение асферических поверхностей в оптических системах .....	97
7.2. Общие свойства асферических поверхностей .....	99
Уравнение профиля асферической поверхности .....	99
Уравнение асферической поверхности .....	102
Коэффициент деформации и его определение .....	103
Радиусы кривизны асферической поверхности .....	105
7.3. Расчет центрированных оптических систем с асферическими поверхностями в области аббераций третьего порядка .....	107
Коэффициенты аббераций третьего порядка оптических систем с асферическими поверхностями .....	107
Влияние деформации асферической поверхности на абберации третьего порядка бесконечно тонкого компонента .....	110
Перенос деформации с одной поверхности оптической системы на другую .....	111
Исправление сферической абберации деформированием поверхности в простейших оптических системах .....	113
Расчет двухзеркальных апланатических систем .....	118
Расчет линз конечной толщины при условии исправления четырех аббераций третьего порядка .....	120
Расчет трехзеркальной системы с асферическими поверхностями .....	124
7.4. Анаберрационные и анастигматические поверхности и системы .....	128
Анаберрационные преломляющие поверхности и линзы .....	128
Анаберрационные отражающие поверхности .....	133
Анаберрационные поверхности и линзы, не имеющие параксиальной области .....	136
Расчет анаберрационных линз .....	137
Расчет анаберрационных зеркальных систем .....	139
Анастигматические поверхности и линзы .....	140
Применение условия точечного изображения к расчету сложных систем. Метод дифференциальных уравнений .....	143
Особенности расчета системы Шмидта .....	145
7.5. Исправление аббераций высших порядков введением малых деформаций .....	148
7.6. Технологические характеристики асферической поверхности. Определение радиуса ближайшей сферы для поверхностей второго порядка .....	150

Глава 8. АБЕРРАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ИСХОДНОГО ВАРИАНТА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ .....	154
8.1. Аберрационный анализ исходного варианта. Методы коррекции аббераций .....	154
8.2. Метод проб .....	157
8.3. Автоматизированная коррекция аберраций оптических систем. Универсальные программы для коррекции аберраций в оптических системах любых типов и любой степени сложности .....	165
Математические методы автоматизированной коррекции .....	167
Приемы автоматизированной коррекции оптических систем .....	172
Глава 9. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	176
9.1. Исходные принципы оценки качества изображения .....	176
9.2. Разрешающая способность оптических систем .....	179
Дифракционное изображение светящейся точки .....	179
Дифракционная разрешающая способность оптических систем .....	182
Разрешающая способность геометрически-ограниченных реальных оптических систем .....	184
9.3. Критерий Штреля и волновые критерии оценки качества изображения .....	186
Критерий Штреля .....	186
Волновая аберрация и ее связь с геометрическими аберрациями ..	186
Волновая аберрация для точки на оси .....	188
Волновые критерии оценки качества изображения .....	190
9.4. Требования, предъявляемые к универсальному критерию оценки качества изображения .....	194
9.5. Функции рассеяния точки и линии. Определение освещенности в произвольной точке изображения .....	196
9.6. Оптическая передаточная функция. Функция передачи модуляции и функция передачи фазы (ФПМ и ФПФ) .....	198
Представление предмета в виде спектра гармонических составляющих .....	198
Определение функции ОПФ .....	200
Модуль и аргумент ОПФ. ФПМ и ФПФ .....	201
ФПМ и передача контраста оптическими системами .....	204
9.7. ОПФ — автокорреляция зрачковой функции .....	206
Зрачковая функция оптической системы .....	206
Связь комплексной амплитуды изображения со зрачковой функцией .....	207
Определение функции ОПФ .....	208
9.8. Расчет ОПФ .....	211
Расчет дифракционных ОПФ .....	211
Расчет ОПФ для оптической системы с аберрациями и с постоян- ным пропусканием по площади зрачка .....	212
9.9. Полихроматические функции ФРТ и ОПФ .....	213

Глава 10. ОТКЛОНЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АБЕРРАЦИИ И ПАРАКСИАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....	216
10.1. Расчет влияния изменения параметров на аберрации .....	216
Расчет влияния изменения параметров в оптических системах с большим увеличением .....	221
Расчет влияния изменения параметров в телескопических системах .....	222
10.2. Оценка чувствительности оптических систем к погрешности изготовления .....	222
10.3. Влияние децентрировки на аберрации оптической системы .....	225
Глава 11. РАСЧЕТ ДОПУСКОВ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	230
11.1. Расчет допусков на изготовление и сборку оптических деталей и узлов .....	230
11.2. Расчет допусков на оптические поверхности и детали .....	233
Глава 12. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА РАСЧИТАННУЮ ОПТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ .....	242
12.1. Требования к оформлению принципиальной оптической схемы .....	242
12.2. Требования к оформлению оптического выпуска на оптическую систему .....	243
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	251