

*Специальность 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы
специального назначения»*

Методическое обеспечение дисциплины Б1.О.12 «Прикладная оптика»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

Методическое обеспечение дисциплины

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

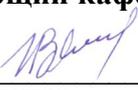
Смоленск – 2024 г.

Методические материалы составил:

К.Т.Н., доцент 
_____ Жбанова В.Л.
подпись Ф.И.О.

«15» апреля 2024 г.

Заведующий кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:


_____ Якименко Игорь Владимирович
подпись Ф.И.О.

«02» мая 2024 г.

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

**Методическое обеспечение лекций
по дисциплине**

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

Смоленск – 2021 г.

Комплект слайдов к лекциям



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

**Лабораторный практикум
по дисциплине**

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

Смоленск – 2021 г.

1. Цели лабораторного практикума

Лабораторный практикум по дисциплине «Прикладная оптика» служит для практического подкрепления лекционного материала и привития навыков оценки соответствия функционирования цифровых оптико-электронных систем требованиям технологии работы конкретных приборов.

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в лаб. А-107 «Лаборатория прикладной оптики и оптических измерений» учебно-лабораторного корпуса филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске.

Цель студента при работе в лаборатории по дисциплине «Прикладная оптика» – отработка навыков работы с оптическими устройствами: гониометром, объективом, зрительной трубой, микроскопом.

2. Теоретическое введение и состав лабораторного оборудования

Целью работы является отработка навыков работы с оптическими устройствами.

В процессе выполнения лабораторной работы производится работа со следующими устройствами:

1. Объективы, линзы, призмы.
2. Микроскоп.
3. Гониометр.
4. Зрительная труба.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Цель лабораторной работы – освоение практических приемов измерения показателя преломления оптических стекол на гониометре и исследование дисперсии преломляющих призм.

Задание:

1. Ознакомиться с установкой. После разрешения преподавателя включить электрическое питание и ознакомиться с системой отсчета углов.
2. Провести поверку и при необходимости отъюстировать установку. Автоколлимационным методом измерить преломляющие углы θ заданных призм.
3. Для заданных призм и указанных спектральных линий λ измерить коллимационным методом углы $\omega_{\min, \lambda}$ наименьшего отклонения лучей и по формуле (1.1) вычислить значения показателя преломления n_{λ} .
Углы $\omega_{\min, \lambda}$ измерять, поворачивая зрительную трубу влево и вправо от оси, а затем усреднять.
4. Построить зависимость $n(\lambda)$ с указанием доверительных интервалов и вычислить коэффициент дисперсии v_e .
5. Установить заданную призму в положение, соответствующее углу наименьшего отклонения для $\lambda_0 = 546,1 \text{ нм}$, закрепить столик и измерить углы отклонения $\omega(\lambda)$ лучей с длинами волн: $\lambda_1 = 404,1 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 623,4 \text{ нм}$.
Вычислить угловую дисперсию призмы $\Delta\omega$ для интервала $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$.
6. Изменяя угол падения лучей ε_1 на первой грани на ± 5 и $\pm 10^\circ$, повторить измерения и вычисления по п. 5.
7. Построить зависимости $\omega(\lambda, \varepsilon_1)$ и $\Delta\omega(\varepsilon_1)$.
8. Сделать выводы по работе и оформить отчет.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Целью лабораторной работы является освоение практических приемов юстировки оптических систем и измерения разрешающей способности объективов и телескопических систем на оптической скамье.

ЗАДАНИЕ

1. Исследование объектива

1. Ознакомиться с установкой, изучить и нарисовать схемы измерений фокусных расстояний и разрешающей способности объективов.

2. Для заданного объектива измерить геометрические параметры и фокусные расстояния.

По результатам измерений построить на одном рисунке эскиз объектива и эквивалентную схему.

4. Измерить разрешаемые углы объектива с заданными светофильтрами для осевой точки предметной плоскости.

Сопоставить полученные результаты с предельным разрешаемым углом, вычисленным по формуле (2.4).

5. Измерить разрешаемый угол объектива с зеленым светофильтром для внеосевых точек предметной плоскости.

6. Вычислить разрешающую способность объектива, сделать выводы по работе и оформить отчет.

2. Исследование телескопической системы

1. Ознакомиться с установкой, изучить и зарисовать схему измерений разрешающей способности телескопической системы.

2. Для заданной телескопической системы измерить световые диаметры и фокусные расстояния объектива и окуляра.

По результатам измерений построить эквивалентную схему с указанием основных параметров.

3. Собрать схему и измерить разрешаемый угол объектива для осевой точки предметной плоскости.

4. Вычислить предельный разрешаемый угол объектива по формуле (2.4) и сопоставить с измеренным.

5. Собрать схему и измерить разрешаемый угол телескопической системы.

Измерения выполнить без и с использованием вспомогательной зрительной трубки.

6. Вычислить полезное увеличение ТОС.

7. Сделать выводы по работе и оформить отчет.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Целью работы является измерение коэффициента пропускания объектива и оценка его цветопередачи, а также исследование факторов, влияющих на эти параметры.

ЗАДАНИЕ

1. Для заданного объектива измерить диаметр D , толщину по оси d и фокусное расстояние f' . Нарисовать эскиз объектива с указанием параметров.

По формулам (3.1) и (3.2) вычислить коэффициент пропускания τ , диафрагменное число K , геометрическую S_r и физическую S_ϕ светосилу исследуемого объектива.

2. Ознакомиться с установкой, органами управления, рабочими режимами оптических и электронных блоков. После разрешения преподавателя включить электрическое питание, установить заданные электрические режимы осветителя и модулятора, отъюстировать и отрегулировать установку.

Зарисовать осциллограмму измерительного сигнала с указанием амплитуды и периода, определить частоту модуляции.

3. Измерить коэффициент пропускания объектива в белом свете и сопоставить полученное значение с рассчитанным (см. п.1).

4. Измерить коэффициент пропускания объектива в красном, зеленом и синем спектральных диапазонах и составить отношения: $\tau_c:\tau_3$, $\tau_k:\tau_3$ и $\tau_3:\tau_3$.

Построить зависимость $\tau:\tau_3 = f(\lambda)$.

Оценить качественно изменение спектрального состава и цветности пропущенного излучения.

5. Сделать выводы по работе и оформить отчет.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Целью работы является изучение принципов построения оптических систем (ОС) визуальных приборов, а также освоение практических приемов измерения видимого увеличения, углового и линейного полей, размеров и положения входного и выходного зрачков и других параметров зрительных труб и микроскопов.

ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться со стендом, исследуемыми приборами и измерительными приспособлениями. Нарисовать схемы установок для измерения параметров зрительной трубы.

После разрешения преподавателя включить электрическое питание стенда.

2. Собрать установки по составленным схемам и измерить угловое поле, диаметры входного и выходного зрачков, удаление (вынос) выходного зрачка зрительной трубы.

Зарисовать наблюдаемые при измерениях поля.

3. Вычислить видимое увеличение зрительной трубы, фокусные расстояния объектива и окуляра, угловое поле окуляра и диаметр полевой диафрагмы.

Нарисовать схему зрительной трубы с указанием апертурной и полевой диафрагм, входного и выходного зрачков, апертурного и полевого лучей.

4. Нарисовать схемы установок для измерения параметров микроскопа.

5. Собрать установки по составленным схемам и измерить линейное поле, видимое увеличение, диаметр и удаление выходного зрачка микроскопа.

Зарисовать наблюдаемые при измерениях поля.

6. По результатам измерений вычислить параметры объектива микроскопа, диаметр полевой диафрагмы и др.

Нарисовать схему микроскопа с указанием апертурной и полевой диафрагм, входного и выходного зрачков, апертурного и полевого лучей.

7. Сделать выводы по работе и оформить отчет.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Целью работы является изучение принципов действия оптических световодов и исследование их геометрических параметров и оптических характеристик.

ЗАДАНИЕ

1. Собрать схему для исследования геометрических параметров световодов. Выполнить исследования структуры торцов заданных световодов и измерить их геометрические параметры.

Нарисовать эскизы торцов с указанием размеров. Оценить разрешающую способность жгутов-световодов.

2. Собрать схему для исследования состояния поляризации излучения и измерить степень поляризации излучения лазера на входе и выходе световода.

3. Собрать схему для измерения коэффициента пропускания световода. Измерить коэффициент пропускания и вычислить показатель ослабления излучения на единицу длины.
4. Собрать схему для измерения распределения силы света на выходе световода. Измерить силу света, формируемую световодом по разным направлениям пространства, и построить индикатрису распределения.
По результатам измерений определить угловую апертуру световода.
5. Оценить критически полученные результаты, сделать выводы и оформить отчет.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Целью настоящей работы является изучение принципов построения телескопических систем и исследование их основных характеристик методами математического моделирования.

ЗАДАНИЕ

Моделирование телескопической системы Кеплера

1. Включить компьютер и загрузить программу «LAB-TOS». Ознакомиться с инструкцией – выводится на дисплей.
2. Для заданных видимого увеличения, диаметра, выноса входного зрачка, углового поля телескопической системы и фокусного расстояния первой линзы вычислить конструктивные и оптические параметры линз и системы.
3. Построить эквивалентные схемы линз и схему телескопической системы Кеплера с указанием световых диаметров линз и расстояний между оптическими поверхностями.
Построить на схеме ТОС траектории идеальных апертурного и полевого лучей.
4. Рассчитать ход 3-х действительных лучей с относительными координатами на входном зрачке $\rho = 0,1; 0,7; 1$ для трех длин волн λ_e, λ_F и λ_C и построить зависимости угловой аберрации вышедших лучей в системе координат $\Delta\alpha_a(\rho)$.
Построить на схеме ТОС траекторию действительного апертурного луча для длины волны λ_e .
5. Изменить расстояние между компонентами d_{23} на ± 2 мм и повторить для длины волны λ_e расчет согласно п. задания 4.
6. Оценить результаты исследований угловой аберрации лучей. Сделать выводы и оформить отчет по работе.

Моделирование телескопической системы Галилея

Работа выполняется согласно заданию (2.1), где видимое увеличение ТОС задают положительным.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Целью лабораторной работы является решение одной из задач анализа оптических систем – получению количественных данных об остаточных аберрациях оптического компонента. Целью работы является приобретение навыков применения методов математического моделирования для решения задач проектирования оптических систем (ОС).

ЗАДАНИЕ

1. Нарисовать эскиз заданного компонента с указанием основных размеров и подготовить исходные данные для ввода.
2. По разрешению преподавателя включить компьютер и запустить программу.

3. Ввести исходные данные и согласно указаниям, выводимым на дисплей, выполнить расчетные исследования.
Результаты расчетов аберраций представить в таблицах и на рисунках.
4. По результатам расчетов нарисовать эквивалентную схему компонента, совместив ее с эскизом.
5. Вычислить хроматизм положения и сферохроматизм.
6. Оформить оптический выпуск и сделать выводы о качестве исправления аберраций.

3. Перечень лабораторных работ и методические рекомендации по выполнению рабочего задания

Лабораторный практикум включает 7 лабораторных работ:

Рабочее задание на лабораторный практикум:

Семестр 5:

Лабораторная работа №1. Измерение показателя преломления стекол и угловой дисперсии призм на гониометре.

Лабораторная работа №2. Измерение разрешающей способности объективов и телескопической системы.

Лабораторная работа №3. Измерение коэффициента пропускания объективов.

Лабораторная работа №4. Исследование визуальных оптических приборов.

Семестр 6:

Лабораторная работа №5. Исследование характеристик световодов.

Лабораторная работа №6. Моделирование на ЭВМ телескопической оптической системы.

Лабораторная работа №7. Исследование на ЭВМ остаточных аберраций оптического компонента.

Гавриленков В.А. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Прикладная оптика". Смоленск, ГОУ ВПО СФМЭИ (ТУ), 2009- 40 с.

Защита лабораторных работ.

3. Контрольные вопросы

Лабораторная работа №1:

1. Как определить марку стекла, из которого изготовлена призма?
 2. Нарисовать схемы измерения угла призмы и угла наименьшего отклонения лучей.
 3. Какую оптическую деталь называют преломляющей призмой? Области применения преломляющих призм.
 4. Чему равна погрешность измерения показателя преломления стекла? Соответствует ли она литературным данным?
 5. Как и почему изменяется угол отклонения лучей ω при изменении угла падения ε_1 ?
 6. От каких параметров призмы зависит ее угловая дисперсия?
 7. Как и почему изменяется угловая дисперсия призмы при изменении угла падения ε_1 ?
1. Как устроены зрительная труба и коллиматор гониомера-спектрометра? Нарисовать их оптические схемы.
 2. В чем заключается и как осуществляется юстировка гониометра-спектрометра перед измерениями?
 3. Как считывают показания угла поворота зрительной трубы или предметного столика?

4. Что понимают под "углом отклонения" и "углом наименьшего отклонения" лучей в призме?

Как находят и измеряют угол наименьшего отклонения лучей призмой?

5. Как реализуются коллимационный и автоколлимационный методы измерения угла наименьшего отклонения?

Лабораторная работа №2:

2. Почему при измерении разрешающей способности ТОО рекомендуется применять вспомогательную зрительную трубку?

3. Как и почему изменяется разрешающая способность ОО для разных точек поля?

5. Как видимое увеличение окуляра влияет на разрешающую способность ТОО?

6. Дать оценку исследуемой ОО с точки зрения ее качества.

7. Что понимают под разрешающей способностью ОО и компонентов?

8. Что понимают под полезным увеличением телескопической оптической системы?

1. Что понимают под разрешающей способностью объектива?

Как оценивают разрешающую способность?

2. Какие элементы и узлы оптической скамьи применяют при измерениях разрешающей способности объектива?

Как устанавливают эти элементы относительно друг друга?

3. Какие элементы и узлы оптической скамьи применяют при измерениях разрешающей способности телескопической системы?

4. Какие операции, и в какой последовательности выполняют на стадии подготовки той или иной измерительной схемы?

6. Каким требованиям должен удовлетворять измерительный микроскоп и его объектив?

7. Каким требованиям должна удовлетворять вспомогательная зрительная труба?

Лабораторная работа №3:

1. От каких параметров (конструктивных, схемных и др.) зависит интегральный коэффициент пропускания и его спектральное распределение?

2. Что понимают под цветопередачей объектива?

3. Привести краткую характеристику исследуемого объектива с точки зрения его энергетических параметров.

4. В каком соотношении (почему) находятся рассчитанное и измеренное значения коэффициента пропускания?

5. Что понимают под геометрической и физической светосилой оптической системы?

6. В каком соотношении (почему) находятся коэффициенты пропускания линз и компонента в целом?

7. Изменится ли цветность изображения, получаемого при помощи данного объектива?

1. Как определяют коэффициент пропускания ОО расчетным путем?

2. Как измеряют коэффициент пропускания ОО?

3. Какие блоки содержит измерительный стенд? Их назначение?

4. Почему при измерениях диаметр светового пучка на выходе коллиматора должен быть меньше диаметра входного зрачка объектива?

5. Какие операции и в какой последовательности выполняют при подготовке стенда к работе?

Лабораторная работа №4:

1. Соответствуют ли результаты измерений теоретическим предпосылкам?

2. Как объяснить результаты измерений параметров зрительной трубы (микроскопа) с объективами и окулярами разного увеличения?

3. Изменяется ли видимое увеличение микроскопа при изменении расстояния accommodation глаза от бесконечности до 250 мм?
4. Как изменяются угловое поле, видимое увеличение, диаметр и удаление выходного зрачка зрительной трубы при ее перефокусировке на конечное расстояние?
5. Как изменяются линейное поле, видимое увеличение, диаметр и удаление выходного зрачка микроскопа при изменении длины тубуса?
6. Каким образом обеспечивается возможность наблюдения в визуальные приборы аметропическим глазом?
7. Что понимают под числовой апертурой микроскопа? Какой компонент ее определяет?
1. Какие компоненты содержит ОС микроскопа (зрительной трубы)?
 2. Где в микроскопе (зрительной трубе) располагаются и что определяют апертурная и полевая диафрагмы?
 3. Что понимают под входным и выходным зрачками микроскопа (зрительной трубы)? Где они расположены?
 4. Для чего применяют прибор Юдина, динаметры Рамсдена и Чапского, широкоугольный коллиматор? Как они устроены?
 5. Как измеряют диаметр и удаление выходного зрачка микроскопа (зрительной трубы)?
 6. Как измеряют диаметр входного зрачка зрительной трубы?

Лабораторная работа №5:

1. Какие оптические детали называют световодами?
2. По каким признакам и на какие группы классифицируют световоды?
3. Какие факторы определяют потери света в световодах?
4. Какие факторы определяют деполяризацию света в световодах?
5. Какие параметры жгутов-световодов определяют их разрешающую способность?
6. Какие факторы определяют угловую апертуру световода?
7. Какие факторы определяют форму кривой силы света световода?
8. Почему сердцевина и оболочка моноволокна имеют не одинаковую яркость?
9. С учетом каких факторов выбирают диаметр сердцевины и толщину оболочки световода?
10. Как измеряют и какие модули, оптические компоненты и механические узлы используются при измерениях:
геометрических параметров световодов?
коэффициента пропускания световодов?
степени поляризации излучения на входе и выходе световода?
индикатрисы направленности пропущенного потока?
11. Как определяют угловую апертуру световода?
12. Какие требования предъявляются к фотоприемной части установки?

Лабораторная работа №6:

1. Какие aberrации влияют на ход осевых и полевых лучей в ТОС?
2. Как оценить хроматическую aberrацию?
3. Как изменяется волновой фронт пучка осевых лучей, проходящих через идеальную и реальную телескопические системы?
4. Как изменяется ход лучей при изменении расстояния между компонентами?
5. Какие значения aberrаций лучей в телескопической системе можно считать допустимыми?
6. Как исправляют aberrаций осевых лучей?
1. Для чего в оптике вводят правила знаков? Как определяют знаки отрезков и углов?
2. Как включить и выключить компьютер? Как загрузить программу?

4. Какую ОС называют телескопической? Чем отличаются телескопические системы Кеплера и Галилея?

7. Какие величины определяют в результате расчета?

Лабораторная работа №7:

1. Сформулировать определения монохроматических и хроматических aberrаций.
2. Перечислить типы монохроматических aberrаций и сформулировать их определения.
3. Перечислить типы хроматических aberrаций и сформулировать их определения.
4. Что понимают под aberrациями 3-го порядка и остаточными? В каком соотношении они находятся?
5. Как исправляют сферическую aberrацию? хроматизм положения? другие aberrации?
6. Как оценить качество коррекции aberrаций компонента?
7. Какие элементы включает оптический выпуск?
9. Как изображают остаточные aberrации на графиках?
10. Для чего в оптике вводят правила знаков? Как определяют знаки отрезков и углов?
11. Как включить и выключить компьютер? Как загрузить программу?
12. Как начать, приостановить, а затем продолжить выполнение программы?
13. Какие параметры компонента относят к исходным данным?
14. Какие величины определяют в результате расчета?

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

**Методические рекомендации к практическим занятиям
по дисциплине**

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

Смоленск – 2021 г.

1. Цели и задачи, объем практических занятий по дисциплине

Цель практических занятий по дисциплине «Прикладная оптика» – закрепление лекционного материала дисциплины, обучение студентов практической стороне компетенций, закрепленных за дисциплиной.

Для достижения поставленной цели на практических занятиях решаются следующие задачи:

- анализ устройств прикладной оптики;
- синтез устройств прикладной оптики;
- расчет оптических устройств прикладной оптики;
- работа с оптическим оборудованием прикладной оптики.

Объем практических занятий – в соответствии с рабочей программой дисциплины «Прикладная оптика».

2. Задания на практические занятия по дисциплине

Цель практических занятий по дисциплине – закрепление лекционного материала дисциплины, обучение студентов практической стороне компетенций, закрепленных за дисциплиной.

Задания на практические занятия по дисциплине

Семестр 5

В биологическом микроскопе могут быть установлены ахроматические объективы: а) 4 x 0,12; б) 10 x 0,25; в) 40 x 0,65; г) 100 x 1,25 МИ (иммерсия) и окуляры с увеличением: $\Gamma_{ок}^x=4; 10; 16; 20; 25$. Определить полезное увеличение микроскопа для каждого объектива и указать рекомендуемые окуляры.

В металлографическом микроскопе, длина тубуса которого равна бесконечности, могут быть установлены объективы: а) $f'=40$ мм, $NA=0,10$; б) $f'=25$ мм, $NA=0,20$; в) $f'=10$ мм, $NA=0,5$; г) $f'=4$ мм, $NA=0,85$ и окуляры с увеличением $\Gamma_{ок}^x=6,3; 10; 16; 20; 25$. Определить полезное увеличение микроскопа для каждого объектива и указать рекомендуемые окуляры, если фокусное расстояние тубусной линзы $f'_{тл}=250$ мм.

В биологическом микроскопе установлены объектив 40x0,65, окуляр $\Gamma_{ок}=10^x$ и полевая диафрагма $D_{пл}=18$ мм. Определить линейное поле и диаметр выходного зрачка.

Для наблюдения объекта используется лупа с $f'_л=25$ мм. Определить видимое увеличение лупы, если зрачок глаза расположен: а) в задней фокальной плоскости; б) на расстоянии 10 мм; в) на расстоянии 30 мм.

Определить предел разрешения микроскопа при использовании объективов: а) 10 x 0,30; б) 25 x 0,50; в) 60 x 0,85, если $\lambda=0,55$ мкм.

В микроскопе используются объектив 10 x 0,30 и окуляр с $\Gamma_{ок}=10^x$ и угловым полем $2\omega_{ок}=30^\circ$. Определить увеличение микроскопа и линейное поле.

Определить угловой предел разрешения зрительной трубы с $\Gamma_T=8^x$ и диаметром выходного зрачка $D'=4$ мм, определяемый: а) дифракцией; б) возможностями глаза.

В зрительной трубе с $\Gamma_T=10^x$, $2\omega=6^\circ$ и $D'=2$ мм используется окуляр с $f'_{ок}=25$ мм; входной зрачок располагается перед объективом $a_p=-0,7 \cdot f'_{об}$. Определить диаметр тонкого объектива, обеспечивающего: а) $\kappa_{\omega}=1$; б) $\kappa_{\omega}=0,5$.

Зрительная труба с $\Gamma_T=8^x$, угловым полем $\omega=6^\circ$ и $D'=5$ мм используется для наблюдения предметов, удаленных на расстояние $p=3$ км. Определить размеры линейного поля и предел разрешения, определяемый возможностями глаза.

Определить угловое поле и данные для конструирования зрительной трубы Галилея при заданных: $\Gamma_T=4^x$; $D'=5$ мм; $D=40$ мм; $D: f'=1:4$; глаз удален от окуляра на расстояние 20 мм.

Зрительная труба Кеплера имеет $\Gamma_T = -8^x$, $l_{\text{тос}} = 225$ мм; $s'_{F_{\text{ок}}} = 0,4 \cdot f'_{\text{ок}}$; $s'_p = 11$ мм. Определить расстояние от тонкого объектива до входного зрачка.

Зрительная труба с линзовой оборачивающей системой имеет: $\Gamma_T = 12^x$; $f'_{\text{ок}} = 25$ мм; $s'_{F_{\text{ок}}} = 15,2$ мм; $s_{F_{\text{ок}}} = 7,5$ мм; $D' = 4$ мм; $l_{\text{тос}} = 300$ мм; $K_{\omega} = 0,8$; $2\omega_1 = 5^\circ$; $a_p = -15$ мм. Определить конструктивные параметры.

Определить конструктивные параметры зрительной трубы Галилея по заданным: $\Gamma_T = 2,5^x$; $2\omega_1 = 5^\circ$; $D' = 3$ мм; $a'_p = 15$ мм; $l_T = 36$ мм.

Определить конструктивные параметры зрительной трубы Кеплера с симметричной линзовой оборачивающей системой по заданным: $\Gamma_T = 10^x$; $2\omega_1 = 5^\circ$; $D' = 4$ мм; $l_{\text{тос}} = 400$ мм; $\kappa_{\omega} = 0,8$; $t = -12$ мм; $f'_{\text{ок}} = 20$ мм; $s'_{F_{\text{ок}}} = 9,3$ мм; $s_{F_{\text{ок}}} = -6,7$ мм.

Зрительная труба с ЭОП имеет: $\Gamma_T = 5^x$; $\beta_3 = -0,6^x$; $D_{\text{фк}} = 20$ мм; $l_{\text{эоп}} = 36$ мм; $l_{\text{тос}} = 260$ мм; $a_p = 0$; $a'_p = 12$ мм; $D = 30$ мм. Определить $f'_{\text{об}}$, $f'_{\text{ок}}$, $2\omega'$, 2ω , $D_{\text{об}}$ и $D_{\text{ок}}$.

Определить основные характеристики и данные для конструирования двухлинзового телеобъектива, если заданы: $f'_T = 100$ мм; $\kappa_T = 0,8$; $2\omega = 10^\circ$; $D: f' = 1:4$; $\kappa_{\omega} = 1$; оптическая сила отрицательной линзы минимальна.

Семестр 6

Указать положение апланатических точек вогнутой сферической поверхности ($r = -100$ мм), разделяющей оптические среды: а) $n = 1,5$; $n' = 1$; б) $n = 1$; $n' = 1,5$.

Вычислить второй радиус апланатического мениска при условии, что $s_1 = 0$; $n_1 = n_3 = 1$; $n_2 = 1,5$; $\beta_{\text{ам}}^x = n_2$. Определить s'_2 и показать, какие aberrации 3-го порядка отсутствуют в этом мениске.

Вычислить радиусы апланатического мениска при условии, что $s_1 = -50$ мм; $n_1 = n_3 = 1$; $n_2 = 1,5$; $\beta_{\text{ам}}^x = n_2$; $d_{\text{ам}} = 5$ мм. Определить s' и показать, какие aberrации 3-го порядка отсутствуют в мениске.

Рассчитать апланатический мениск с исправленным астигматизмом 3-го порядка при условии, что $s_1 = -50$ мм; $n_1 = n_3 = 1$; $n_2 = 1,5$; $d_{\text{ам}} = 5$ мм; $\beta_{\text{ам}}^x = 1$.

Определить основные параметры P , W и суммы Зейделя S_1, \dots, S_5 сферического зеркала при условии: $s_1 = \infty$; $r = -50$ мм; $t = 0$; $h_1 = f' = 1$.

Вычислить aberrации 3-го порядка сферического зеркала при условии: $s_1 = \infty$; $r = -50$ мм; $D: f' = 1:5$; $2\omega = 6^\circ$; $\beta_1 = 1$; $h_1 = f' = 1$, если: а) $t = 0$; б) $t = -50$ мм.

Вычислить хроматизм положения плоскопараллельной пластинки толщиной $d = 30$ мм, если она выполнена из стекла: а) К8; б) Ф1; в) ТФ5.

Вычислить значения P и W тонкой линзы при разных значениях n : а) 1,6; б) 1,8; в) 2,0; г) 2,2; д) 2,4. Построить зависимости $P_{\text{мин}} = f(n)$ и $W = f(n)$.

Показать, что хроматические aberrации 1-го порядка тонкой линзы не зависят от формы линзы.

Вычислить хроматизм положения 1-го порядка тонкой линзы из стекла К8 ($f' = 50$ мм) при условии: а) $s_1 = -100$ мм; б) $s_1 = -\infty$ мм

Вычислить основные параметры P и W плосковыпуклой линзы, если: а) $n = 1,5$; б) $n = 2$.

Вычислить радиусы тонкого однолинзового конденсора, рассчитанного на минимум сферической aberrации, при условии: $s_1 = -50$ мм; $\beta_0^x = -2$; $n = 1,5$.

Вычислить радиусы тонкого двухлинзового конденсора, рассчитанного на минимум сферической aberrации, если: $s_1 = \infty$; $f' = 50$ мм; $n = 1,75$.

В двухлинзовом склеенном объективе ($f'_{\text{об}} = 100$ мм) первая линза изготовлена из стекла К8, а вторая – из стекла Ф1. Вычислить оптические силы линз, обеспечивающие минимально возможный хроматизм положения.

Построить зависимости $n(r)$ для ступенчатого и градиентного световодов, если: $2a=50$ мкм; $2b = 125$ мкм; $n_o = 1,46$; $n_a = 1,42$; $n_c = 1$.

Найти расстояние, на котором оптическая мощность излучения уменьшится в 10 раз при распространении в волокнах с коэффициентами потерь: а) 2000 дБ/км; б) 20 дБ/км; в) 0,2 дБ/км.

Оптическая мощность излучения $\Phi(z)$ при прохождении в световоде расстояния z выражается через показатель ослабления потока α формулой: $\Phi(z) = \Phi_o \exp(-\alpha \cdot z)$. Найти соотношения между α , выраженными в $[м^{-1}]$ и $[дБ/км]$. Вычислить значения α в $[м^{-1}]$ для волокон по условию задачи 9.2.

Вычислить числовую апертуру NA и углы θ_a для ступенчатых волокон: а) $n_o = 1,47$; $n_a = 1,455$; $n_c = 1$; б) $n_o = 1,46$; $n_a = 1,40$; $n_c = 1$; в) $n_o = 1,46$; $n_a = n_c = 1$.

Показатель преломления сердцевины волокна изменяется по параболическому закону (9.1).

Определить расстояние между точками фокусировки на оси световода параксиальных лучей, выходящих из точечного источника излучения, расположенного в осевой точке торца световода, если: а) $2a=20$ мкм, $\Delta' = 0,01$; б) $2a=40$ мкм, $\Delta' = 0,01$; в) $2a = 60$ мкм, $\Delta' = 0,01$.

При измерениях потерь потока излучения в волокне "методом обламывания" на выходе световода длиной $l=1$ км получили поток $\Phi_1=1$ мВт, а на выходе световода длиной $l=0,5$ км получили поток $\Phi_2=1,9$ мВт. Определить показатель ослабления потока в $[м^{-1}]$ и $[дБ/км]$.

Вычислить числовую апертуру NA , нормированную частоту v и число мод N ступенчатого волокна: $n_o=1,46$; $n_a=1,42$; $2a=50$ мкм; $\lambda = 0,85$ мкм.

На входной торце зеркального фокона падает пучок параллельных лучей. Построить оптическую развертку фокона и вывести формулы:

а) для расчета входной линейной апертуры элементарных пучков лучей, испытывающих одно, два и т.д. число отражений;

б) для расчета углов отклонения этих лучей на выходе фокона.

Вычислить эти параметры, если заданы световые диаметры D_1 и D_2 и длина l фокона: $D_1=30$ мм; $D_2=6$ мм; $l=136$ мм.

1. Гавриленков В.А. Сборник задач по "Прикладной оптике" и "Оптическим измерениям". - Смоленск, 2001. - 48 с.
2. Гавриленков В.А., Старостин Е.М. Теория и расчет оптических систем. [Текст]: учебное пособие /В.А. Гавриленков, Е.М. Старостин; под ред. В.А. Гавриленкова.- Смоленск: РИО филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске, 2010.- 120 с.

3. Технология проведения практических занятий

Для студенческой группы на занятии выдается задание, общая формулировка которого приведена в разделе 2 настоящих методических указаний.

Алгоритм проведения практических занятий по дисциплине предполагается следующий:

- после выдачи задания в первые 30 мин. занятия студенты анализируют исходные данные, записывают математические выражения (при необходимости) и составляют структурную схему системы электропривода или ее составляющей;

- один из студентов группы вызывается «к доске» и демонстрирует группе вариант решения задания со своими числовыми данными;

- организуется интерактивное обсуждение результатов с разграничением функциональных обязанностей студентов при выполнении задания по моделированию – анализ исходных данных, проработка схемы построения модели, выбор технологии моделирования, расчет параметров регу-

ляторов и контуров регулирования, возможная оптимизация. В итоге, совместными усилиями формируется и корректируется функциональная схема системы электропривода или ее составляющей;

- в последние 30 мин. занятия каждый студент предъявляет преподавателю вариант математической модели, соответствующей разработанным структурной и функциональной схемам.

4. Примерные вопросы, выносимые на экзамен по дисциплине, по темам практических занятий

5 семестр

1. Кардинальные элементы идеальной оптической системы.
2. Оптическая система глаза. Параметры и характеристики.
3. Эквивалентная схема ОС глаза, аккомодированного на бесконечность.
4. Эквивалентная схема ОС глаза, аккомодированного на ближнюю точку ясного видения.
5. Функция зрения. Принципы коррекции аметропии глаза (миопии и гиперметропии).
6. Погрешности ОС глаза. Характеристики редуцированного глаза.
7. Видимое увеличение и разрешающая способность оптического прибора совместно с глазом.
8. Оптическая схема микроскопа и его основные характеристики.
9. Разрешающая способность микроскопа
10. Глубина изображаемого пространства микроскопа
11. Разрешающая способность телескопической системы.
12. Фокусировка окуляра телескопической системы
13. Расчет зрительной трубы Кеплера
14. Принципы построения ТС Галилея.
15. Содержание и методика решения задач синтеза ТС

6 семестр

1. Задачи, содержание и методика габаритного расчета ОС.
2. Задачи, содержание и методы абберационного расчета ОС.
3. Методика абберационного расчета сферических линз.
4. Методика абберационного расчета конденсора из линз одинаковой оптической силы.
5. Методика абберационного расчета двух линзового объектива.
6. Принципы построения, задачи и методика габаритного расчета ТОС Кеплера.
7. Принципы построения, задачи и методика габаритного расчета ОС микроскопа.
8. Принципы построения, задачи и методика габаритного расчета телеобъектива.
9. Задачи и методика абберационного расчета 2-х зеркального объектива.

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

**Методические рекомендации к расчетно-графической работе
по дисциплине**

ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

Смоленск – 2021 г.

1. Цели и задачи, объем расчетно-графической работы по дисциплине

Цель расчетно-графической работы по дисциплине «Прикладная оптика» – закрепление соответствующего лекционного материала самой дисциплины «Прикладная оптика».

Тема расчетно-графической работы (РГР) «Синтез телескопической оптической системы Галлея/Кеплера».

Для достижения поставленной цели при выполнении РГР студентами решаются следующие задачи:

1. Анализ технического задания.
2. Синтез структурной схемы.
3. Формирование методов расчета основных параметров ТОС.
4. Синтез ТОС в тонких компонентах.
5. Моделирование ТОС на ЭВМ.
6. Анализ аберраций системы.

На выполнение расчетно-графической работы предполагается 0.25 з.е., 9 часов (из числа часов, выделяемых в учебном плане на самостоятельную работу студентов) в 5 и 6 семестрах программы «Оптотехника».

2. Задание на расчетно-графическую работу по дисциплине

1. Анализ технического задания.
2. Обоснование структурной схем.
3. Обоснование расчетной схем.
4. Синтез телескопической системы в тонких компонентах.
5. Моделирование телескопической системы на ЭВМ.
6. Анализ аберраций системы.

3. Указания по выполнению индивидуальных заданий

Габаритный расчет начинают с анализа технических требований, предъявляемых к разрабатываемой ОС и определяющих ее тип, функциональное назначение и условия эксплуатации. Эти требования можно классифицировать на четыре группы.

К первой группе относятся требования к относительному отверстию системы, к величине входного или выходного зрачков (если их не определяют по результатам энергетического расчета), к полю зрения.

Ко второй группе относятся требования к продольным и поперечным габаритам и форме (конфигурации) ОС.

К третьей группе относятся требования к качеству изображения (разрешающей способности, ФПМ и т.п.).

К четвертой группе относятся специальные требования (например, требования к вибро-, ударопрочности, морозостойкости и т.п.).

В общем случае известно обширное многообразие ОС, выполняющих разнообразные функции. Поэтому требования, предъявляемые к ним, также разнообразны и зависят от назначения прибора и типа ОС. Специалист в области оптического приборостроения должен знать принципы построения ОС разного назначения и уметь обосновывать требования к ним.

Завершается первый этап работы обоснованием структурной и функциональной схем ОС и выбором исходных данных для расчета.

На втором этапе согласно теории данной группы (класса) ОС определяют фокусные расстояния и взаимное положение компонентов. Рассчитывают ход апертурного и полевого лучей и определяют световые диаметры компонентов, их угловые или линейные поля, уточняют положение и размеры апертурной, полевой и виньетирующей диафрагм.

При решении этой задачи реальную ОС заменяют идеальной, состоящей из тонких компонентов, для которых справедливы формулы идеальной ОС. Зеркала и призмы, имеющиеся в ОС, но не влияющие на структуру световых пучков, на данном этапе не учитывают.

Практическая реализация сформулированных общих положений габаритного расчета ОС разных типов (телескопических, проекционных, микроскопа, ОС ОЭП и др.) может иметь существенные особенности, обусловленные назначением, принципом действия и элементной базой ОС.

Получаемые в результате габаритного расчета данные о фокусных расстояниях, относительных отверстиях и полях (угловых или линейных) компонентов являются исходными данными для их абберационного расчета- следующего этапа оптического расчета.

Пример 1. Габаритный расчет ОС зрительной трубы Кеплера

Расчетная схема зрительной трубы Кеплера показана на рис. 1. Заданы следующие оптические характеристики: $\Gamma_T = -6$, $L = d = 140$ мм, $D' = 5$ мм, $2\omega = 8^\circ 30'$. Апертурной диафрагмой и входным зрачком в зрительной трубе Кеплера является оправа объектива

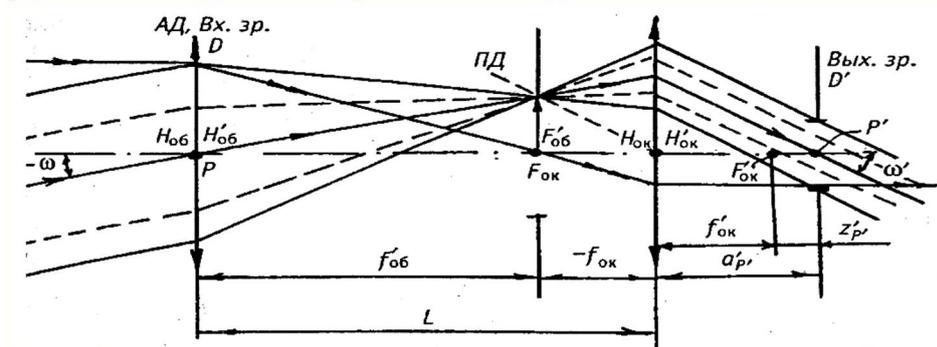


Рис. 11.3. Оптическая схема зрительной трубы Кеплера

Решение.

1. Видимое увеличение определяется соотношением $\Gamma_T = -f_1'/f_2'$; длина системы: $L = f_1' + f_2'$. Из решения этих двух уравнений находим фокусное расстояние объектива $f_1' = L \Gamma_T / (\Gamma_T - 1) = 140 (-6) / (-6 - 1) = 120$ мм.

2. Из формулы: $\Gamma_T = D / D'$ находим диаметр входного зрачка: $D = D' \Gamma_T = 5 \cdot 6 = 30$ мм.

3. Из формулы: $\Gamma_T = \text{tg} \omega' / \text{tg} \omega$ находим угловое окуляра $2\omega' = 2\omega_{ок} = 2 \arctg [\Gamma_T \cdot \text{tg} \omega] = 2 \arctg [(-6) (-0,07431)] = 2 \arctg (0,44588) = 48,06^\circ$.

4. Вычисляем диаметр полевой диафрагмы, установленной в плоскости действительного изображения: $D_{пд} = 2 |y'| = 2 |f_1' \text{tg} \omega| = 2 \cdot 120 \cdot 0,07431 = 17,83$ мм.

5. Вычисляем удаление выходного зрачка (расстояние от бесконечно тонкого окуляра до плоскости выходного зрачка): $a'_{P'} = f_2' + z'_{P'}$. Здесь $z'_{P'}$ определим по формуле Ньютона: $z'_{P'} = z'_{P'2} = -f_2'^2 / z_{P2} = f_2'^2 / f_1' = -f_2' / \Gamma_T$. Тогда после преобразований находим: $a'_{P'} = f_2' - f_2' / \Gamma_T = f_2' (1 - 1/\Gamma_T) = f_2' (\Gamma_T - 1) / \Gamma_T$, но $f_2' = -L / (\Gamma_T - 1)$, поэтому $a'_{P'} = -L / \Gamma_T = -140 / (-6) = 23,33$ мм.

6. Вычисляем световой диаметр окуляра $D_{ок} = D' + 2 a'_{P'} \text{tg} \omega = 5 + 2 \cdot 23,33 \cdot 0,44586 = 25,8$ мм.

7. Вычисляем перемещение окуляра для коррекции аметропии глаза наблюдателя в пределах ± 5 дптр, $\Delta = \pm f_2'^2 \cdot A / 1000 = \pm 5 \cdot 20^2 / 1000 = \pm 2$ мм.

И так, в результате вычислений получили:

для объектива $f_1' = 120$ мм, $D / f_1' = 1:4$, $2\omega = 8,5^\circ$;

для окуляра $f_2' = 20$ мм, $D' = 5$ мм, $2\omega' = 48,06^\circ$.

В качестве объектива можно выбрать двухлинзовый склеенный объектив, а в качестве окуляра – окуляр Кельнера. Схема зрительной трубы с этими компонентами показана на рис. 2.

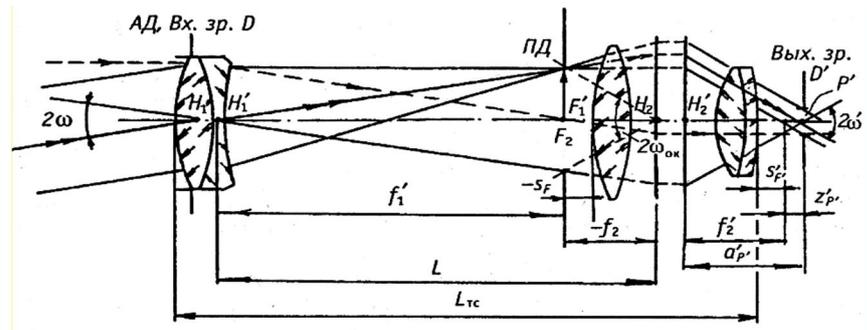


Рис. 2. Телескопическая система Кеплера

3. Примеры вопросов к защите расчетно-графической работы

1. Разрешающая способность телескопической системы.
2. Фокусировка окуляра телескопической системы
3. Расчет зрительной трубы Кеплера
4. Принципы построения ТС Галилея.
5. Содержание и методика решения задач синтеза ТС