

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра электронной техники и технологии

Ф. В. Видмант, Г. М. Шахлевич

***ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ***

Лабораторный практикум
для студентов специальности I-36 04 01
«Электронно-оптические системы и технологии»
дневной формы обучения

Минск 2008

УДК 621.3.032.26(075.8)

ББК 32.96 я 73

В 42

Видмант, Ф. В.

В 42 Технология электронно-оптических систем : лаб. практикум для студ. спец. I-36 04 01 «Электронно-оптические системы и технологии» днев. формы обуч. / Ф. В. Видмант, Г. М. Шахлевич. – Минск : БГУИР, 2008. – 51 с. : ил.

ISBN 978-985-488-225-3

Лабораторный практикум составлен в соответствии с программой по дисциплине «Технология электронно-оптических систем» для специальности «Электронно-оптические системы и технологии». Включает в себя лабораторные работы по исследованию технологических процессов сборки и юстировки оптических систем, методам контроля параметров оптических деталей и сборочных узлов.

Предназначен для закрепления теоретических знаний студентов, полученных ими на лекциях и в процессе самостоятельного изучения дисциплины, а также приобретения практических навыков по специальности.

УДК 621.3.032.26(075.8)

ББК 32.96 я 73

ISBN 978-985-488-225-3

© Видмант Ф. В., Шахлевич Г. М., 2008

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

Содержание

Лабораторная работа №1 ОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ	4
Лабораторная работа №2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРКИ АВТОКОЛЛИМАЦИОННОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКИ	12
Лабораторная работа №3 СБОРКА И КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТИВОВ НАСЫПНОЙ КОНСТРУКЦИИ ...	20
Лабораторная работа №4 КОНТРОЛЬ ПРЕДЕЛА РАЗРЕШЕНИЯ, ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ И КАЧЕСТВА СБОРКИ УЗЛОВ ЭОС	27
Лабораторная работа №5 ЦЕНТРИРОВКА ЛИНЗ. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЦЕНТРИЧНОСТИ	32
Приложение 1 МИРЫ ШТРИХОВЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА РАЗРЕШЕНИЯ.....	40
Приложение 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ МИКРОСКОПА С ОКУЛЯРОМ- МИКРОМЕТРОМ	45
Приложение 3 ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНО-ЮСТИРОВОЧНЫЕ ПРИБОРЫ	46

Лабораторная работа №1

ОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

1.1. Цель работы

1. Ознакомиться с основными геометрическими параметрами оптических деталей и методами их измерения.
2. Изучить состав и устройство основных видов оборудования и приспособлений для измерения параметров оптических деталей.
3. Овладеть навыками измерений толщины, радиуса кривизны, предела разрешения и других параметров линз, пластин и призм.

1.2. Теоретические сведения

Оптические системы приборов включают как отдельные оптические детали, так и узлы из них с различным сочетанием линз, пластин, призм, зеркал и др. Состав конструктивных элементов и их вид определяются в первую очередь назначением узла. Например, пластины могут быть защитными и выравнивающими, плоскопараллельными и клиновыми (с заданным углом между поверхностями), фильтрующими (из цветного стекла или со специальными покрытиями). Зеркальные покрытия могут полностью отражать падающий свет (глухие) или разделять его на проходящий и отраженный (полупрозрачные зеркала).

Для всех оптических деталей общими параметрами являются толщина по оси и по краю, радиус поверхностей, предел разрешения для плоских деталей, в том числе призм и др.

Измерение толщины пластин и линз по центру (t) и косины по краю (Δt), являющееся одним из способов определения децентричности линз и клиновидности пластин, проводят на специальных измерительных приборах, в частности толщиномерах. Обычно такой прибор имеет нижнюю опорную поверхность для установки измеряемых линз и стойку, на которой перемещается индикатор. При измерении t линза устанавливается центром на шариковый упор, Δt – на кольцевую оправу, по краю – на призматический упор. Положение измерительной головки индикатора при измерении t соосно упору, при измерении Δt – с отступлением от края линзы на 5–10 мм.

Вариант простейшего толщиномера на базе микрометра с диапазоном измерений до 25 мм показан на рис. 1.1. Предназначен только для определения толщины линз по центру и пластин в любом сечении.

При измерении мерительные стержни 1 и 2 толщиномера приводятся в соприкосновение и по нониусу 3 делается отсчет (обычно при соприкосновении стержней индекс нониуса стоит на нуле). Затем между стержнями вводится измеряемая деталь и берется второй отсчет. Разность отсчетов дает величину толщины. Обычно делается несколько замеров, а для определения клина в пластинке измеряют ее толщину в различных местах.

Толщиномер, изображенный на рис. 1.1, служит главным образом для контроля деталей в цеховых условиях. Его точность $\pm 0,03$ мм для $L = 25$ мм.

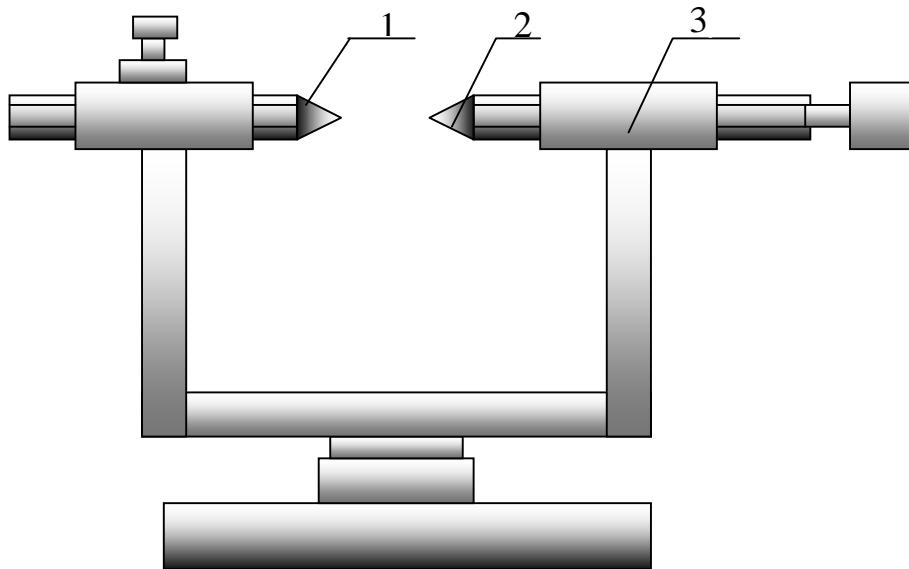


Рис. 1.1. Простейший толщиномер на базе микрометра:

1 – неподвижный; 2 – подвижный стержни; 3 – отсчетное устройство

Точность длинномеров, отсчет в которых проводится специальным механизмом с ценой деления 0,001 мм, оценивается не хуже $\pm 0,01$.

На толщиномерах и длинномерах можно точно измерить и диаметр (сторону) детали, но в производстве для этого используются специальные проходные и непроходные скобы.

Для линз определяющим является радиус кривизны, причем соблюдение заданной точности поверхности контролируется в течение всего технологического процесса их изготовления. Существуют различные способы и средства контроля поверхности на отдельных операциях. Так, отклонения от номинала сферических поверхностей определяются:

1. Методом шаблона – применяется для определения отклонений формы шлифовальных сферических поверхностей. Шаблон (рис. 1.2) представляет собой металлическую пластину с выпуклой или вогнутой измерительной кромкой заданного радиуса.

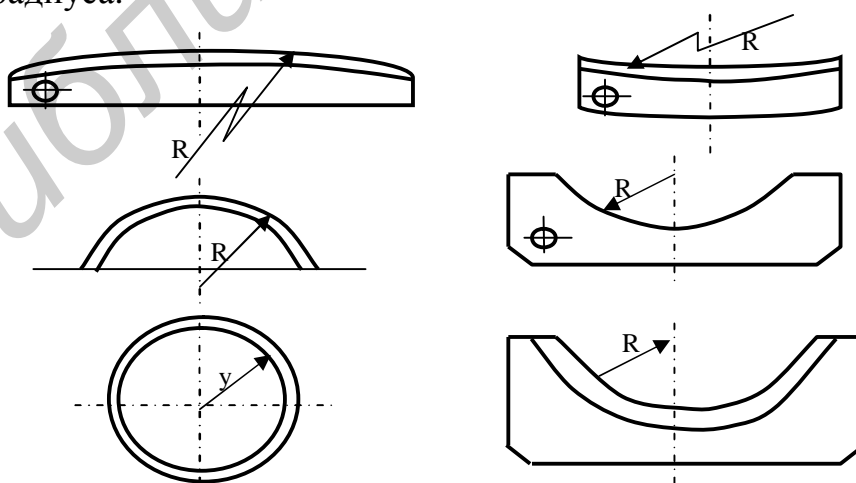


Рис. 1.2. Виды шаблонов:

а, б, г, е – для контроля радиуса кривизны;
в, е – для контроля внутреннего и внешнего диаметров

Сферы измеряют наложением мерительной кромки шаблона А на измеряемую поверхность детали Б (рис. 1.3). В случае отклонения поверхности от шаблона между ними наблюдается зазор или просвет. По величине зазора ΔH оценивают отклонение радиуса кривизны.

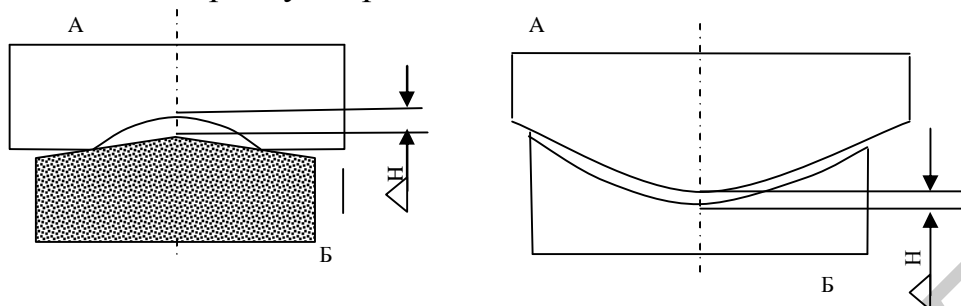


Рис. 1.3. Схема определения сферичности методом фотошаблона

2. С помощью сферометра. Метод основан на том, что поверхность любой сферической детали представляет собой шаровой сегмент. Основными элементами этого сегмента АЕСВ является D, радиус сферы R, высота или стрелка H (рис. 1.4). Связь между этими величинами выражается формулой

$$H = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}. \quad (1.1)$$

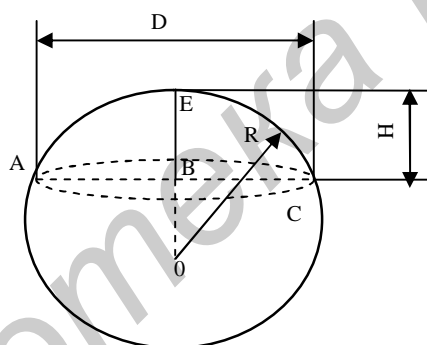


Рис. 1.4. Параметры шарового сегмента

Откуда радиус сферы равен

$$R = \frac{D^3}{8H^2} + \frac{H}{2}. \quad (1.2)$$

Зная диаметр сферической поверхности и измерив стрелку прогиба H, можно определить радиус сферической поверхности с точностью до 0,01 мм.

3. Косвенным методом по измерению радиуса кривизны на кольцевом сферометре. Непосредственно измеряется стрелка прогиба h поверхности по известному диаметру 2r опорного кольца сферометра (рис. 1.5). Для этого на кольцо устанавливают сначала плоскую эталонную поверхность (1), а затем измеряемую (2). В момент касания измерительного стержня (3) поверхности берут отсчеты m_0 и m по шкале измерительного прибора и определяют

$$h = m - m_0.$$

Функциональная зависимость R, h и r имеет вид

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h}. \quad (1.3)$$

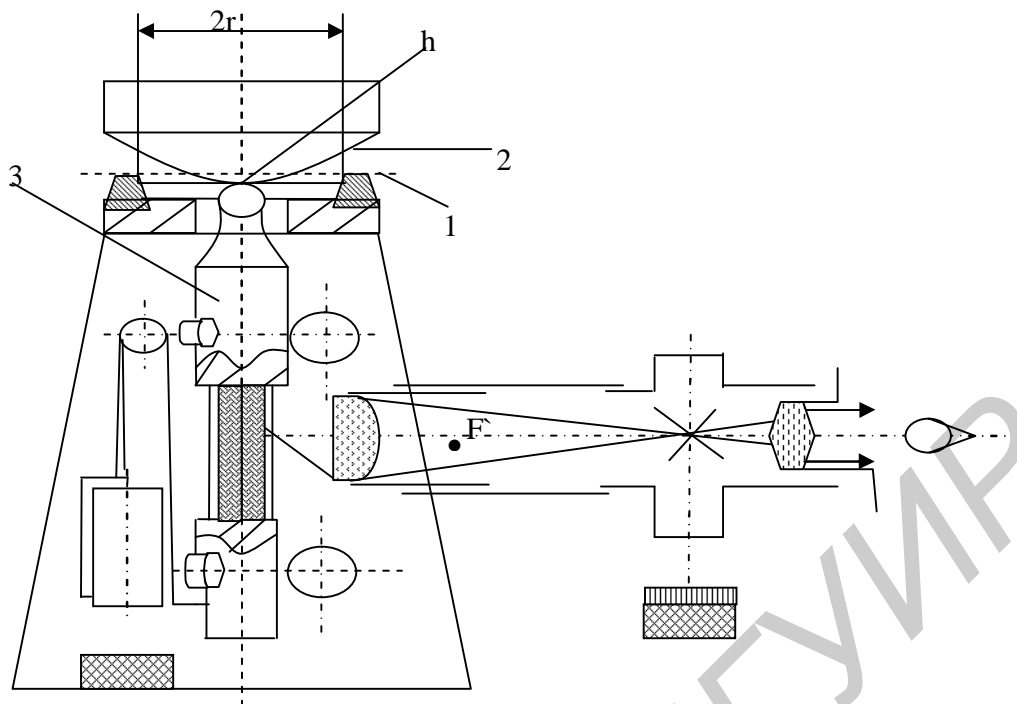


Рис. 1.5. Схема определения сферичности с помощью сферометра

В оптическом производстве измеряется не радиус поверхности, а отклонение от него при наложении пробного стекла с известным R противоположного знака. Количество наблюдаемых колец N и есть отклонение. Контакт пробного стекла (ПС) и поверхности происходит или по центру, или по краю. В первом случае отступление носит название «бугор», характерным признаком которого является увеличение числа наблюдаемых колец при нажатии на ПС. При контакте по краям пары поверхность–ПС отступление называют «ямой» и при нажатии кольца, укрупняясь, сходятся к центру. Для выпуклых поверхностей при бугре $R_{\text{дет}} < R_{\text{ПС}}$, при яме, наоборот, $R_{\text{дет}} > R_{\text{ПС}}$.

Одно кольцо в паре испытуемая поверхность–пробное стекло соответствует зазору $h = 0,25$ мкм, и по количеству колец N можно при необходимости рассчитать R поверхности, зная значение R пробного стекла.

Прямое измерение R пробных стекол возможно только для вогнутой поверхности. Оно осуществляется на продольной измерительной машине с автоколлимационным микроскопом на подвижной каретке по разности двух наводок на запыленную поверхность и центр сферы. При наводке на центр сферы отраженные лучи соберутся в той же плоскости, что и при первой наводке на поверхность. Положительное пробное стекло этого номинального R определяется в результате наложения на измеренное отрицательное. Косвенно $\pm R$ могут быть рассчитаны по измерению стрелки прогиба h на диаметре $2r$ по формуле (1.3).

Возможен контроль $R_{\text{дет}}$ по R пробного стекла. И наряду с описанным ранее методом сферометра можно определять $R_{\text{дет}}$ с помощью микроскопа с измерительной линейкой по методике, приведенной в подразд. 1.4.

В случае плоских ОД отклонения от $R = \infty$ приводят к сферичности поверхности, что влияет на параметры качества.

Качество изображений в оптической системе зависит от разрешающей способности составляющих ее элементов, в частности призм. Под разрешающей способностью понимают наименьший угол, под которым видны раздельно две бесконечно удаленные точки.

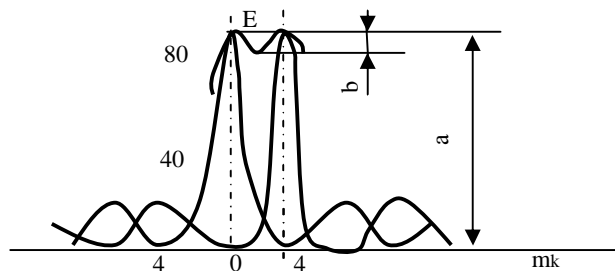


Рис. 1.6. Минимальное расстояние двух раздельных изображений удаленных точечных источников, %

Обычно вследствие дифракции на входном отверстии оптической системы изображение точки представляет собой яркое пятно, окруженное рядом чередующихся светлых и темных колец. Наложение дифракционных изображений двух бесконечно удаленных точек иллюстрируется зависимостью, представленной на рис. 1.6. По оси абсцисс отложен аргумент m_k функции, описывающей распределение света в дифракционном изображении светящихся точек, а по оси ординат – относительное значение освещенности E в плоскости изображения. Глаз может различать две точки, если выполняется соотношение $b \geq 0,18a$.

Предельный угол разрешения α''_D оптической системы зависит от неоднородности материала ОД по показателю преломления, наличия свилей, двойного лучепреломления, погрешности формы рабочих поверхностей и aberrации

$$\alpha''_D = \frac{K}{D}, \quad (1.4)$$

где $K = 120''$ – для точных систем, в том числе для объективов коллиматоров и зрительных труб; $K = 140''$ – для систем средней точности, в том числе и для призм; D – диаметр входного зрачка оптической системы (мм).

Измерение разрешения плоских ОД проводится с помощью соосно установленных коллиматора и зрительной трубы, в которой диафрагмой можно регулировать диаметр светового пучка, падающего на проверяемую деталь таким образом, чтобы он был не большим ее светового диаметра.

В фокальной плоскости объектива коллиматора установлена штриховая мира – стеклянная пластинка с нанесенной на нее таблицей в виде 25 элементов квадратной формы. Каждый элемент содержит четыре группы светлых полос, разделенных темными промежутками и расположенных под углами 90 и 45° . Ширина темных промежутков убывает от элемента к элементу. Подробная информация о мирах приводится в прил. 1, а для данной работы расшифровку предельно наблюдаемых квадратов мира в угловой мере можно делать по табл. 4 для установки с $f_{\text{кол}} = 400$ мм с учетом зависимости α''_D от $f_{\text{кол}}$ и $N_{\text{миры}}$.

1.3. Состав лабораторного макета

При выполнении работы используются:

1. Направляющая.
2. Коллиматор с мирами и осветителем.
3. Зрительная труба.
4. Индикаторный толщиномер.
5. Микроскоп.
6. Ирисовая диафрагма.
7. Держатели линз и пластин.
8. Образцы линз, пластин и призм Дове, сетка.
9. Штангенциркуль.

1.4. Практическая часть

Для того чтобы измерить **толщину**, необходимо:

1. Настроить толщиномер на диапазон измерения 0–10 мм перемещением индикатора относительно нижнего упора.

2. Из набора деталей взять пару линз, предназначенных для склеивания, т.е. с одинаковым внутренним радиусом. Измерить их суммарную толщину и толщину отдельных линз. У положительных линз толщина по оси наибольшая, у отрицательных – наименьшая. Для данной пары $t_{\text{общ}}$ должно равняться t_1+t_2 .

3. При измерении любой из пластин комплекта значение толщин по центру и краю дает информацию о степени плоскопараллельности рабочих поверхностей детали.

Для того чтобы измерить **радиус кривизны**, необходимо:

1. Взять пару линз, микроскоп, держатели сетки и линз.

2. Установить на направляющую микроскоп и держатель с кольцом. Измерить штангенциркулем внутренний (для посадки выпуклых поверхностей) и внешний (для посадки вогнутых поверхностей) диаметры, а затем найти значение $r_{\text{внут}}$ и $r_{\text{внеш}}$.

3. Установить на удаленную от микроскопа поверхность кольца держателя сетку рисунком внутрь и, наводя на нее микроскоп, снять отсчет L_0 .

4. Установив на кольцо внутренние припудренные поверхности пары линз под клейку, последовательно замерить $L_{\text{полож}}$ и $L_{\text{отр}}$.

5. Рассчитать радиусы обеих поверхностей по формуле $R = \frac{r^2 + h^2}{2h}$, где

$r = r_{\text{внут}}$ или $r_{\text{внеш}}$, а $h = L_{\text{отр}} - L_0$ и $L_0 - L_{\text{полож}}$. Полученные значения R должны практически совпадать (с точностью измерений).

Для того чтобы измерить **предел разрешения** пластин и призм, необходимо:

1. Собрать на направляющей установку (рис. 1.7) в составе коллиматора с набором мир и осветителя, диафрагмы с регулируемым диаметром, зрительной трубы, держателей призм и пластин.

2. Определение предела разрешения проводить на образцах призмы Дове в следующей последовательности:

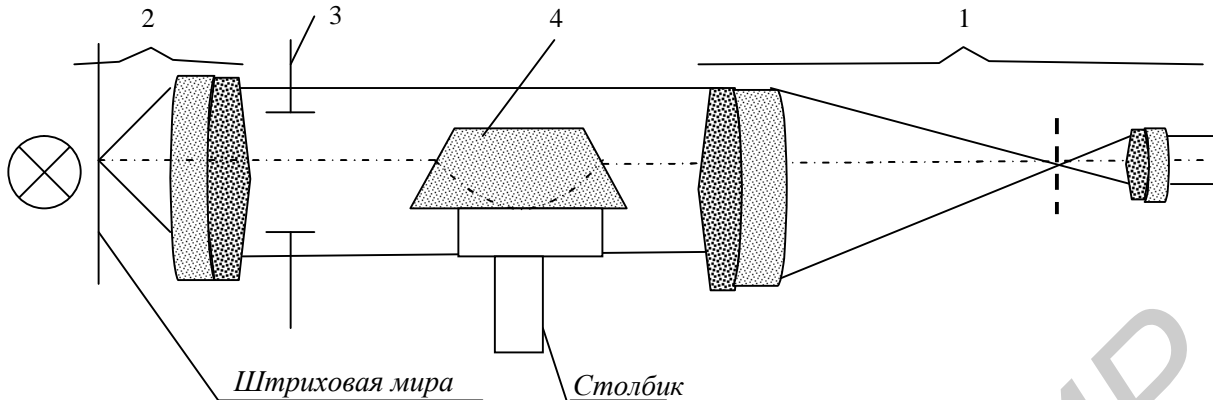


Рис. 1.7. Схема измерения предела разрешения:
1 – зрительная труба, 2 – коллиматор, 3 – диафрагма,
4 – проверяемая призма (пластина)

- измерить диаметр окружности, вписанной во входную грань, т.е. световой диаметр D призмы, и рассчитать теоретический угол α'' разрешения:

$$\alpha'' = \frac{140''}{D};$$

- измерить световые диаметры D объектива коллиматора и зрительной трубы. Определить их дифракционную разрешающую способность:

$$\alpha''_D = \frac{120''}{D};$$

- рассчитать видимое увеличение зрительной трубы Γ_T и окуляра $\bar{\Gamma}_{ок}$:

$$\Gamma_T = \frac{f'_{об}}{f'_{ок}}; \quad \bar{\Gamma}_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}};$$

- определить разрешающую способность зрительной трубы, ограниченную разрешающей способностью глаза

$$\alpha''_{зт} = \frac{\omega}{\Gamma_{зт}},$$

где ω – идеальный угол разрешения глаза, равный $60''$. Проверить, обеспечивает ли объектив зрительной трубы необходимую разрешающую способность, сравнив α''_D и $\alpha''_{зт}$.

3. Определить практические предельные углы разрешения призм ($\alpha''_{призм.практич}$) в следующей последовательности:

- ввести в ход параллельных лучей испытываемую призму, установив ее на столик между коллиматором и зрительной трубой;
- из двух изображений миры в фокальной плоскости окуляра выбрать то, которое получается при прохождении светового пучка через призму Дове. Второе изображение убрать диафрагмой 3;

- добиться четкого изображения миры фокусировкой окуляра зрительной трубы;
 - определить номер последнего элемента миры, штрихи которого разрешаются во всех четырех направлениях. При разрешении всех 25 квадратов установить более мелкую миру;
 - по табл. П.1.3 найти значение предельного угла разрешения α'' , соответствующего номеру этого элемента;
 - проанализировать качество полученного изображения миры.
4. Сделать аналогичную проверку на двух пластинах из комплекта. Изменить пластины с диаметром диафрагмы не более ее светового диаметра.
 5. Полученные результаты занести в таблицу по прилагаемой форме:

№ призмы	α'' теоретическое	№ последнего разрешаемого элемента миры	Качество изображения миры (двоение, окрашенность и т.д.)	α'' табличное

1.5. Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения и методики измерений.
2. Схема экспериментальной установки для измерения α'' и t .
3. Основные расчетные формулы и результаты расчетов.
4. Таблица экспериментальных и расчетных данных.
5. Сравнение теоретической и практической разрешающей способностей.
6. Причины несовпадения измерений $\pm R$ с помощью микроскопа.

1.6. Контрольные вопросы

1. Что такое разрешающая способность?
2. Для чего в лабораторной установке для контроля разрешения призм необходим параллельный ход лучей?
3. Почему мира устанавливается в фокальной плоскости объектива коллиматора?
4. Какие причины вызывают расфокусировку изображения миры?
5. Методы измерения R линз и отклонений от них.
6. Методы измерений толщины и диаметра линз.

Литература

1. Кривовяз, Л. М. Практика оптической измерительной лаборатории / Л. М. Кривовяз, Д. Т. Пуряев, М. А. Знаменская. – М. : Машиностроение, 1974.
2. Креопалова, Г. В. Оптические измерения / Г. В. Креопалова, И. Л. Лазарев, Д. Т. Пуряев. – М. : Машиностроение, 1987.

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРКИ АВТОКОЛЛИМАЦИОННОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБКИ

2.1. Цель работы

1. Ознакомиться с методом автоколлимации и способами его реализации.
2. Изучить конструкцию автоколлимационной трубки.
3. Овладеть навыками проведения юстировочных и контрольных операций в процессе сборки оптических систем.
4. Провести измерения плоскопараллельности методом автоколлимации.

2.2. Теоретические сведения

2.2.1. Метод автоколлимации и его реализация

Метод автоколлимации основан на законе отражения, в частности на равенстве углов падения и отражения. При этом параллельный пучок лучей, направленный перпендикулярно к отражающей поверхности, отражается в обратном направлении. Если отражающая поверхность наклонена под небольшим углом к падающим лучам, то отраженные лучи отклонятся на удвоенный угол, что позволяет в производственных условиях оценить и выставить несколько поверхностей параллельно друг другу и измерить степень плоскопараллельности пластин и малые углы клиньев.

На рис. 2.1 показан источник параллельного пучка лучей – коллиматор и перпендикулярно расположенное к нему зеркало.

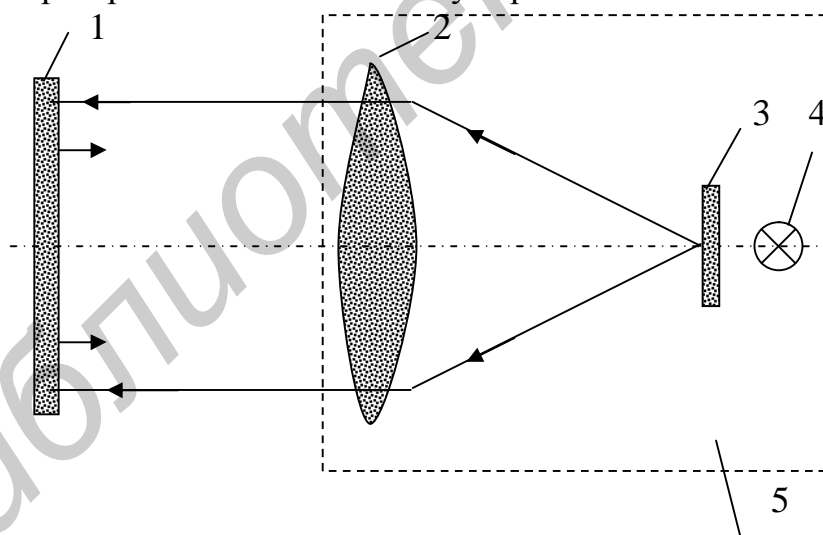


Рис. 2.1. Коллиматор с зеркалом:

- 1 – зеркало; 2 – объектив коллиматора; 3 – сетка;
4 – источник света; 5 – коллиматор в сборе

Плоскость штрихов сетки устанавливают строго в фокальной плоскости объектива 2. Тогда из объектива 2 выйдет параллельный пучок лучей, т.е. коллиматор имитирует бесконечно удаленный источник света.

Если дополнить источник окуляром с сеткой, которая, как и сетка осветителя, располагается в фокальной плоскости объектива, то появится новый прибор – автоколлиматор.

На рис. 2.2 приведена схема наиболее распространенного автоколлиматора с кубиком из двух склеенных призм, одна из которых имеет полупрозрачное покрытие, позволяющее как отражать лучи от осветителя, так и пропускать отраженные лучи к окуляру.

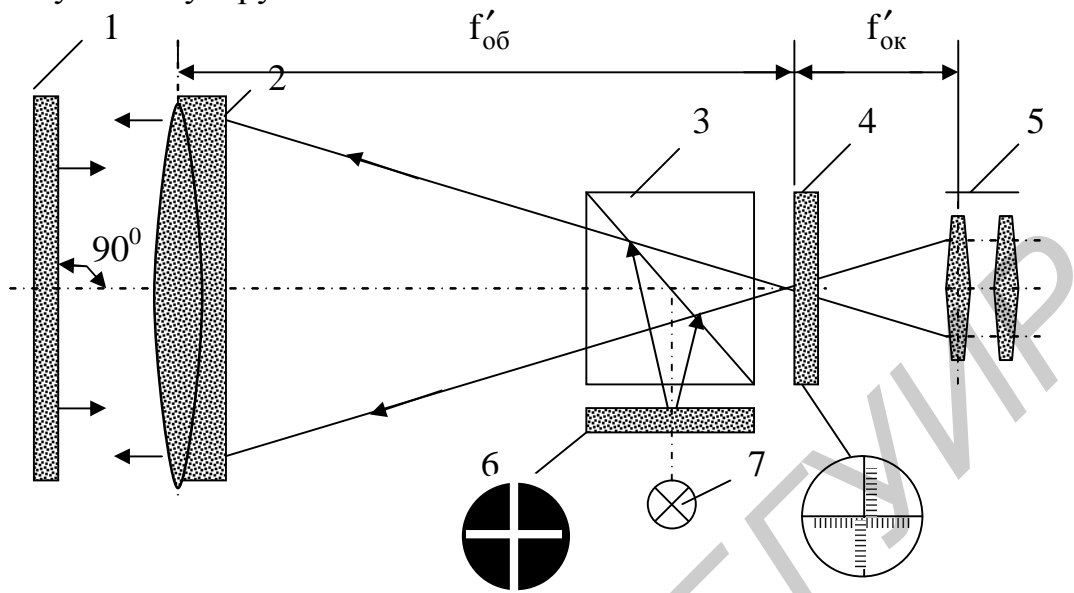


Рис. 2.2. Оптическая схема автоколлиматора с призмой (куб) и двумя сетками:
 1 – зеркало; 2 – объектив; 3 – кубик; 4 – сетка; 5 – окуляр;
 6 – щелевая диафрагма; 7 – осветитель

Ход лучей в таком автоколлиматоре следующий: сетка 6 в виде светлого перекрестья на темном фоне освещается лампочкой 7; световой пучок, отразившийся от полупрозрачной диагональной плоскости стеклянного кубика 3, после выхода из объектива 2 попадает на зеркало 1; отразившись от него, изображение перекрестья сетки 6 должно совместиться с перекрестьем сетки 4, наблюдаемым в окуляр 5. Если отражающая плоскость зеркала не перпендикулярна к визирной оси автоколлиматора, то между перекрестьем на сетке и автоколлимационным бликом будет заметное расхождение, которое определяют по делениям сетки 4 в угловой мере.

2.2.2. Чувствительность метода автоколлимации

Особенностью автоколлимационного метода является его чувствительность к незначительным поворотам зеркала.

Пусть на зеркало I–I (рис. 2.3) под углом u падает луч АВ. Наклоним зеркало на угол τ , не меняя направление луча АВ. В этом случае нормаль СВ переместится на угол t , заняв новое положение C^1B .

Угол падения луча АВ при повороте зеркала на угол ABC^1 равен $u + \tau$. Угол отражения $C^1BA'' = u' - \tau + \varphi$, где φ – угловая величина отклонения отраженного луча A^1B после наклона зеркала на угол τ , откуда $u + \tau = u' - \tau + \varphi$, но $u = u'$, следовательно, $\varphi = 2\tau$.

Чувствительность автоколлимационного метода тем выше, чем больше фокусное расстояние объектива автоколлиматора.

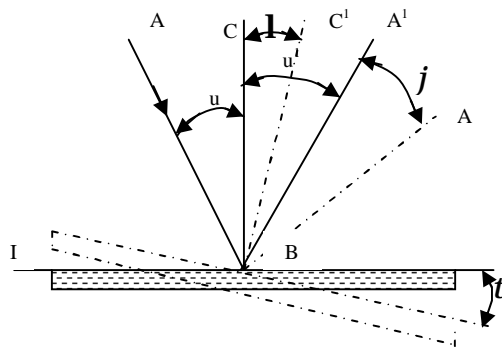


Рис. 2.3. Схема отклонения отраженного луча при повороте зеркала

Пусть через объектив О (рис. 2.4) на сетку падает главный луч под углом β . Ему соответствует отрезок $CB = X$. При изменении угла β на величину $\Delta\beta$ отрезок X соответственно изменяется на величину ΔX . Наблюдаемая линейная величина ΔX тем больше, чем больше $f'_{об}$.

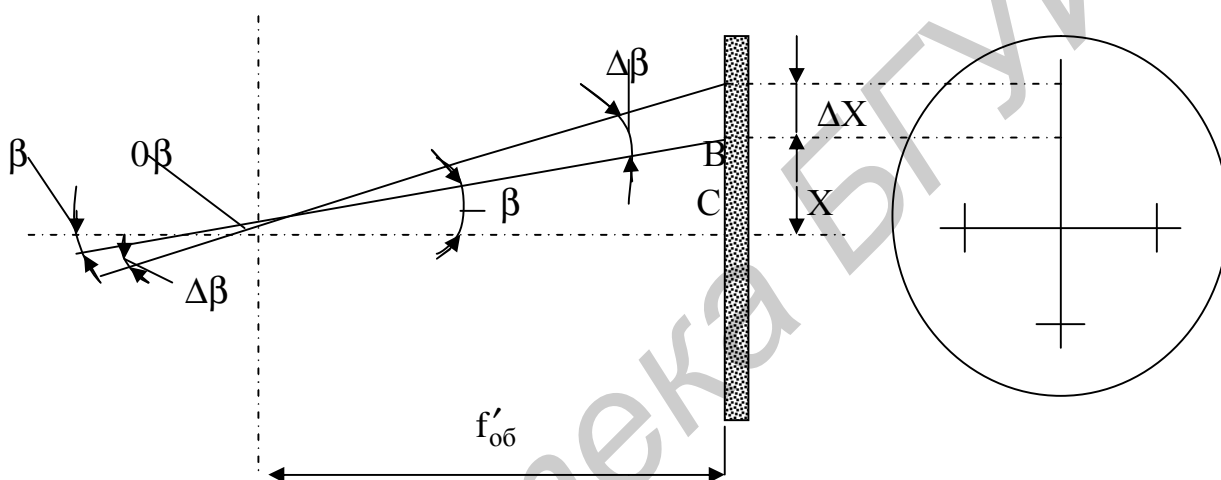


Рис. 2.4. Чувствительность автоколлимационного метода

Из рис. 2.4 следует, что $x = f'_{об} \cdot \text{tg}\beta$. Обычно автоколлимационные трубы имеют небольшие углы зрения (до 2°). Дифференцируя формулу и переходя к небольшим конечным приращениям, получаем $x = f'_{об} \cdot \frac{\Delta\beta}{\beta}$.

Чувствительный и точный автоколлимационный метод широко используется при контроле плоскостности, взаимной перпендикулярности и параллельности отражающих плоскостей. Автоколлиматоры, так же как зрительные трубы и коллиматоры, входят составным узлом во многие оптико-измерительные приборы. Кроме того, автоколлиматор можно использовать при выключенном осветителе в качестве зрительной трубы, а при наблюдении со стороны объектива – как коллиматор.

В машино- и приборостроении автоколлиматоры применяются для контроля: горизонтальности, плоскостности и перпендикулярности двух и более плоскостей; прямолинейности направляющих поверхностей; соосности осей бабок и прямолинейности движения суппорта станка; величины осевого перемещения вала (осевой игры); взаимной параллельности ножей; параллельности внутренней торцевой плоскости детали относительно торцовых наружных по-

верхностей; размера отверстий небольшого диаметра; взаимного расположения плоскостей в пространстве и др.

В процессах изготовления оптических деталей и сборки автоколлимационные зрительные трубки и микроскопы используют для контроля плоскопараллельности, углов призм, измерения радиусов кривизны, центрировки линз отдельно и в оправах, измерения фокусного расстояния.

2.2.3. Устройство автоколлимационной трубки

Имеется большое число различных схем и конструкций автоколлимационных труб как визуальных, так и фотоэлектрических (автоматических с обратной связью). Визуальные трубы отличаются в основном устройством автоколлимационных окуляров. Известны автоколлимационные окуляры Аббе, Гаусса, Линника, Захарьевского и др. В рассматриваемой трубке (рис. 2.5) использован автоколлимационный окуляр с разделительной куб-призмой и двумя сетками – основной и вспомогательной.

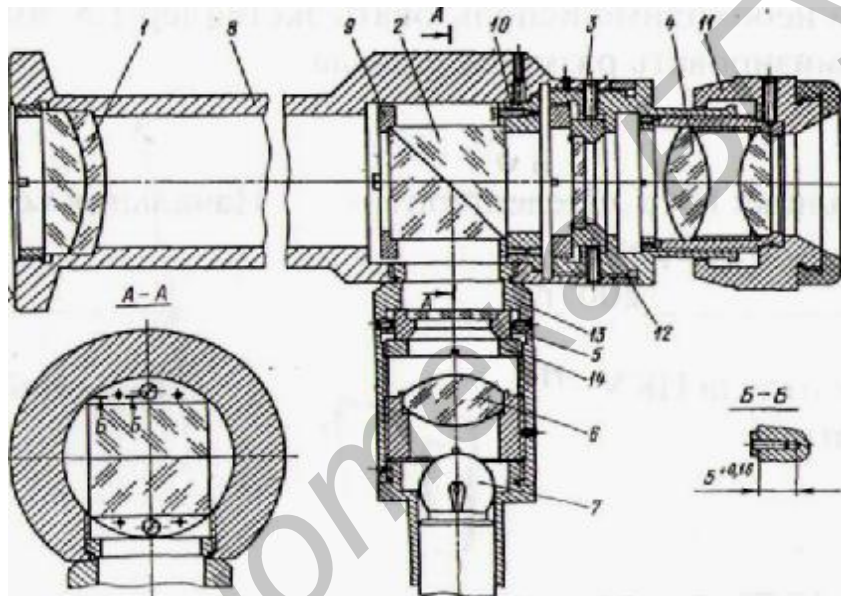


Рис. 2.5. Торцовая автоколлимационная трубка:

- 1 – объектив; 2 – куб-призма; 3, 5 – сетки; 4 – прокладное кольцо;
- 6 – конденсор; 7 – источник света; 8 – тубус; 9 – стопор; 10 – мостик;
- 11 – объектив; 12 – параллаксное кольцо; 13 – переходное кольцо;
- 14 – корпус осветителя

2.2.4. Технические требования к сборке автоколлимационной трубки

1. Сетки 3 и 5 должны быть установлены строго в фокальной плоскости объектива 1.

2. Визирная ось автоколлимационной трубки должна быть строго перпендикулярна переднему торцу корпуса.

3. Качество изображения должно быть высоким.

Для выполнения вышеперечисленных требований при сборке трубы предусмотрены перемещения деталей и специальные устройства – юстировочные компенсаторы. Для трубки, изображенной на рис. 2.5, это:

– кольцо параллаксное 12, позволяющее путем изменения его толщины, например подрезкой, уменьшить расстояние между объективом 1 и сеткой 3.

Этим устраняется параллакс между этой сеткой и автоколлимационным изображением сетки 5 (от плоского зеркала перед объективом) и обеспечивается точная установка сеток в фокальную плоскость объектива 1;

– регулировочные конические стопоры (по четыре через каждые 90°) для сдвига сеток 3 и 5 в любом направлении поперек оси объектива 1;

– мостик 10, разворачивающийся вместе с куб-призмой вокруг оси объектива и закрепляющийся в нужном положении по отношению к плоскости сетки 5 тремя стопорами через 120° друг к другу. При этом попутно устраняется и наклон изображения сетки 5 по отношению к сетке 3.

Имеются *две важные особенности* схемы автоколлимационной трубы, снабженной окуляром с двумя сетками и разделительным кубиком.

1. *Параллакс сеток.* Известно, что автоколлимационный метод установки труб на бесконечность – один из наиболее точных и простых, он вдвое точнее обычного неавтоколлимационного метода фокусировки. Для его реализации требуется лишь точное плоское зеркало. Поэтому вполне естественно при устранении параллакса между сетками 3 и 5 трубки воспользоваться именно автоколлимационным методом контроля фокусировки.

Приложим плоское зеркало к торцу трубы и, осветив сетку 5, получим в плоскости сетки 3 автоколлимационное изображение штрихов сетки 5. Это изображение в общем случае не будет резким точно в плоскости сетки 3. Взаимное положение основной сетки 3 и изображения сетки 5 можно определить, зная фокусное расстояние окуляра. Легко вычислить и необходимую величину подрезки или увеличения толщины прокладного кольца 4 и, сместив сетку 3 в нужное положение, устранить параллакс между сетками.

Для выполнения первого технического требования о совпадении обеих сеток с фокусом объектива 1 необходимо предварительно хотя бы одну из них, например основную сетку 3, совместить строго с этим фокусом. Для этого можно воспользоваться автоколлимационным методом, но сначала нужно превратить окуляр с кубиком в окуляр Гаусса. С этой целью следует за окуляром поместить наклонную прозрачную пластинку, с ее помощью лампочкой 7 осветить штрихи сетки 3 и через ту же пластинку наблюдать сетку 3 и ее же автоколлимационное изображение от плоского зеркала, стоящего перед объективом 1. Если резкое изображение сетки 3 строго совпадает с плоскостью штрихов самой сетки, то сетка 3 будет находиться в фокусе объектива. Добиться этого можно подгонкой толщины параллаксного кольца 4. Только после установки основной сетки 3 в фокальную плоскость объектива 1 можно установить в ту же плоскость и сетку 5, перемещая ее вдоль оси за счет изменения размеров прокладного кольца.

2. *Визирная ось автоколлимационных труб* или коллиматоров – это прямая, которая в пространстве изображений проходит через центр перекрестия сетки и заднюю узловую точку объектива. У коллиматора с кубиком имеется не одна, а две сетки, и при определении понятия «визирная ось автоколлимационной трубы» они обе должны быть учтены. Если приложить к торцу трубы плоское зеркало, то в плоскости сетки 3 увидим автоколлимационное изображение сетки 5. Предположим, что это изображение вполне резкое в плоскости штри-

хов основной сетки 3, но центр изображения сетки 5 не совпадает с центром основного перекрестия. Действуя винтами сетки 3 (или винтами сетки 5), можем совместить оба центра перекрестий.

При освещении лампочкой 7 через конденсор 6 сетка 5 отобразится от отражающей гипотенузной грани куб-призмы 2, предположим, ниже оси объектива (рис. 2.5). Это первичное изображение сетки 5 через окуляр 11 видно не будет, его можно было бы увидеть, если смотреть в трубу через объектив. Отразившись в плоском зеркале, приложенном к торцу объектива, сетка 5 вторично изобразится сквозь куб-призму в плоскости основной сетки 3 и будет видна через окуляр. Предположим, что стопорами 8 мы совместим центр сетки 3 с центром вторичного изображения сетки 5.

Визирной осью автоколлиматора с двумя сетками и разделительной куб-призмой в данном случае и следует назвать прямую, которая проходит через заднюю узловую точку объектива и через точку, лежащую посередине между центрами перекрестий первичного изображения сетки 5 и изображения сетки 3 через куб-призму в обратном ходе лучей. Именно эта прямая будет перпендикулярна зеркалу, приложенному к торцу трубы, когда центры перекрестий обеих сеток 5 и 3 будут совмещены друг с другом.

Визирная ось в указанном определении не будет видна через окуляр. Ее можно «визуализировать», т.е. сделать видимой, если перекрестие 3, а также первичное изображение перекрестия 5 поместить на указанную прямую. Для этого следует окуляр с кубиком вновь превратить в окуляр Гаусса, установив за окуляром наклонную прозрачную пластинку и осветив через нее сетку 3. Если отраженное от плоского зеркала, приложенного к торцу объектива, изображение сетки 3 с помощью стопоров 8 точно совместить с самой сеткой 3, то последняя окажется на визирной оси автоколлиматора в соответствии с данным выше определением. После этого останется лишь совместить центр изображения перекрестия сетки 5 с центром основной сетки 3, воспользовавшись для этого регулировочными стопорами 9 при сетке 5. В пределах точности выполнения двух последних операций по регулировке сеток 3 и 5 визирные оси обеих ветвей (основной – с сеткой 3 и вспомогательной – с сеткой 5) будут совпадать с визирной осью автоколлимационной трубы.

2.3. Состав лабораторного макета

1. Эталонная автоколлимационная трубка с ценой деления 1'.
2. Разбираемая автоколлимационная трубка.
3. Диоптрийная трубка.
4. Микrometer.
5. Образцы плоскопараллельных деталей и клиньев, зеркало.

2.4. Практическая часть

2.4.1. Сборка автоколлимационной трубы

Порядок сборки трубы (см. рис. 2.5):

1. Закрепить в оправе сетки 3 и 5 конденсор 6, собрать окуляр 4 и закрепить куб-призму 2 на мостике 10, 9.

2. Вычистить куб-призму и установить мостик 10 в трубу 8, закрепив предварительно 3 стопорами. Вычистить и установить в патрубок 13 оправу с сеткой 5, закрепив ее кольцом 14. Развернуть куб-призму так, чтобы ее грань, обращенная к сетке 5, установилась параллельно опорной плоскости оправы этой сетки в патрубке 13. Проверку можно осуществить вспомогательной автоколлимационной трубкой – автоколлимационные изображения от указанной грани призмы и от сетки 5 (последнее изображение может быть невысокого качества ввиду широких допусков, задаваемых на изготовление поверхности заготовок сеток) должны совпадать друг с другом.

3. Совместить вышеописанным способом сетку 5 с фокусом объектива 1. Сетка 5 будет находиться в фокусе объектива только в том случае, когда ее автоколлимационное изображение совпадает с самой сеткой. Этого можно добиться смещением объектива 1 или сетки 5 (например прокладным кольцом переменной толщины).

4. Установить стопорами 9 центр перекрестия 5 на визирную ось автоколлиматора способом, который был описан выше.

5. Совместить сетку 3 с фокусом объектива 1, подрезая при необходимости кольцо 4. Контроль можно осуществить автоколлимационным способом, вновь превратив окуляр с кубиком в окуляр Гаусса. При выполнении переходов 3 и 5 необходимо следить за правильным расположением штрихов сеток 5 и 3 – их вертикальные штрихи не должны быть наклонными.

6. Совместить стопорами центр перекрестия 3 с автоколлимационным изображением центра перекрестия 5 от плоского зеркала, приложенного к торцу трубы.

7. Установить ноль диоптрийной шкалы окуляра с помощью диоптрийной трубки, развернув втулку 1 (кордовое кольцо), отжав три стопора 8 и затем закрепив ими шкалу в правильном положении. Наконец, следует проверить, хватает ли расхода диоптрийной установки окуляра в обоих направлениях от нуля не менее ± 5 диоптрий.

Цена деления трубки определяется в угловой мере по значениям фокусного расстояния объектива и ширине наименьшего интервала сетки 3, причем для режима наблюдения она в 2 раза больше, чем для режима автоколлимации. Проверить или определить цену деления можно измерением клиновидной детали с известным углом клина, наблюдая количество делений между двумя отраженными от поверхностей бликами. При этом трубку надо развернуть вокруг своей оси таким образом, чтобы блики расположились на одной из координатных осей сетки 3.

2.4.2. Задание по работе

1. С использованием образцовой трубки:

- измерить плоскопараллельность или клин трех–четырёх образцов из набора. По величине Δt двух клиновидных образцов определить их клиновидность и отразить в отчете результаты измерения трубкой и расчета по Δt . Сверить расчетную цену деления с фактической, указанной на сетке 3;

- измерить диоптрийный расход при установке окуляра в двух крайних положениях с помощью диоптрийной трубки, окуляр которой выставить на резкое изображение сетки диоптрийной трубки по глазу наблюдателя; результаты измерений отразить в отчете.

- убедиться в правильности фокусировки трубки по идентичности наводки окуляра на плоскость штрихов сетки 3 и автоколлимационного изображения сетки 5 от плоской поверхности.

2. С использованием рабочей (разбираемой) трубки из набора:

- разобрать трубку на узлы, определить базовые элементы и юстировочные зазоры с учетом п. 3 в 2.2.4 и описанного ранее процесса сборки. Указать в отчете, какие юстировочные операции с их помощью выполняются;

- определить точность ее фокусировки и описать, как она изменится при выдвигании объектива 1 по резьбе на 0,5 и 1 оборот. Сделать вывод о требуемой юстировке и ее способе на основании контроля работоспособности трубки после повторной сборки.

2.5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основы метода автоколлимации.
3. Конструкции автоколлимационной трубки.
4. Схема измерения параллельности.
5. Схема сборки и юстировки автоколлимационной трубки с разделительным кубиком.
6. Результаты измерений.
7. Выводы.

2.6. Контрольные вопросы

1. Принцип работы автоколлиматора.
2. Оптическая схема автоколлиматора.
3. Схема, поясняющая чувствительность автоколлимационного метода.
4. Типовые случаи контроля с применением автоколлиматоров.
5. Основные узлы торцевой автоколлимационной трубки.
6. Регулировочные элементы в автоколлимационной трубке.
7. Методика юстировки автоколлимационной трубки.

Литература

1. Оптические приборы в машиностроении : справочник. – М. : Машиностроение, 1974.
2. Афанасьев, В. А. Автоколлимационные приборы / В. А. Афанасьев, А. М. Жилкин, В. С. Усов. – Л. : Недра, 1982.
3. Кривовяз, Л. М. Практика оптической измерительной лаборатории / Л. М. Кривовяз, Д. Т. Пуряев, М. А. Знаменская. – М. : Машиностроение, 1974.

Лабораторная работа №3

СБОРКА И КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТИВОВ НАСЫПНОЙ КОНСТРУКЦИИ

3.1. Цель работы

1. Изучить технологию соединения оптических и механических деталей с обеспечением требований к их взаиморасположению.
2. Ознакомиться с особенностями сборки объективов насыпной конструкции.
3. Определить характеристики собираемых объективов.
4. Овладеть навыками контроля качества сборки.

3.2. Теоретические сведения

3.2.1. Назначение, конструкции и виды объективов

Назначение объективов – это создание изображения, наблюдаемого глазом или фиксируемого на светочувствительном приемном устройстве. При этом получаются (в зависимости от параметров объектива и его положения в оптической схеме) как увеличенные, так и уменьшенные изображения предметов в заданных плоскостях, а также сосредоточение падающего на объектив потока в плоскости приемника.

Объектив представляет собой центрированную оптическую систему, т.е. систему, в которой оптические центры всех составляющих ее линз лежат на одной прямой линии, и эта система преломляет падающие на нее лучи в направлении к центру, т.е. «собирает» их.

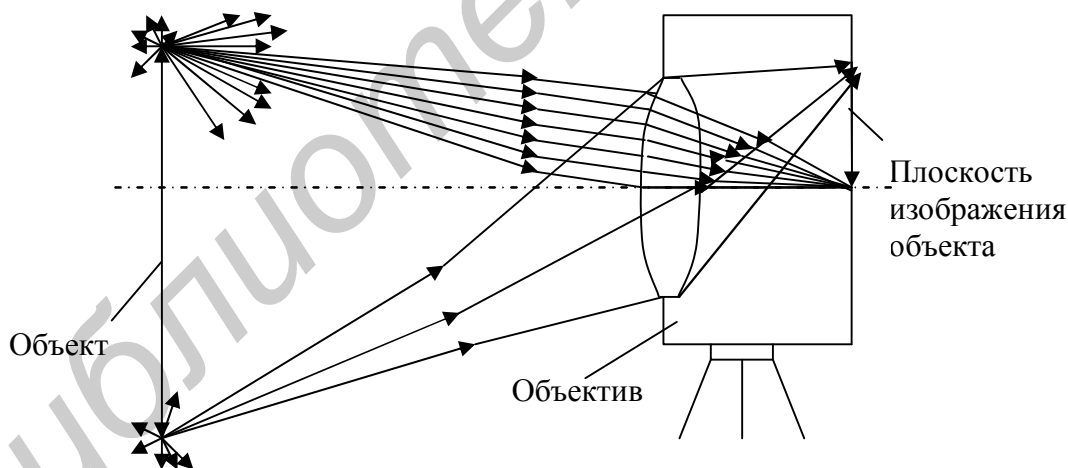


Рис. 3.1. Образование изображения объективом

Воображаемая прямая линия, соединяющая центры линз, называется оптической осью объектива. Образование изображения объективом, который работает как обыкновенная положительная линза, показано на рис. 3.1. Часть отраженных от объекта лучей попадает на переднюю поверхность объектива (или линзы) и, преломившись, образует его полное изображение. Плоскость изображения называется фокальной, а точка ее пересечения с оптической осью – точкой фокуса объектива (рис. 3.2). Положение фокальной плоскости и точки фокуса для каждого объектива строго постоянное.

Фокусное расстояние отсчитывается по оптической оси до точки фокуса, но не от задней линзы, а от некоторой воображаемой точки, положение которой строго постоянное в каждом объективе (хотя она и воображаемая).

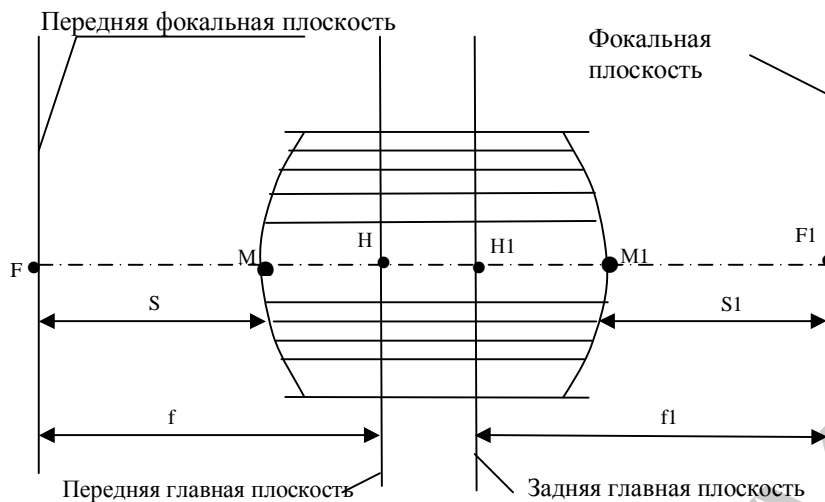


Рис. 3.2. Постоянные точки и плоскости объектива:

F – точка переднего фокуса; F1 – точка фокуса; H и H1 – передняя и задняя главные точки; f и $f1$ – фокусное расстояние; S и $S1$ – передний и задний отрезки; M и M1 – центральные точки поверхностей крайних линз

По оптическим схемам объективы различаются количеством линз и компонентов, входящих в систему, а также конфигурацией линз и их расположением вдоль оптической оси относительно диафрагмы (симметричные и несимметричные). Эти признаки определяют степень коррекции объективов (апохроматы, апланаты, анастигматы и т.д.). Кроме того, по указанным признакам группы объективов получают условное название. Например: 4-линзовый 3-компонентный нормальный анастигмат «Индустар», 6-линзовый 4-компонентный светосильный «Гелиос» и т.д.

По оптическим характеристикам (величине относительного отверстия, углу поля зрения и фокусному расстоянию) объективы делятся на светосильные, широкоугольные, нормальные, длиннофокусные. Иногда одна характеристика сочетается с другой, например объектив широкоугольный светосильный.

Современные фотообъективы представляют собой сложные оптические системы, состоящие из нескольких (до 8–10) как положительных, так и отрицательных линз. Часть линз может быть склеена между собой, составляя группы, другие же линзы стоят отдельно; причем все линзы центрированы, т.е. объектив имеет общую, единую оптическую ось.

Подбор и расположение линз в объективе и даже выбор материала для склейки линз производятся с учетом исправления aberrаций. Все aberrации полностью устранить невозможно. От того, какие из aberrаций в какой мере исправлены, зависит характер изображения. Объективы насыпной конструкции типа «Триплет» (рис. 3.3, а) и «Индустар» (рис. 3.3, б), как правило, состоят из небольшого числа линз, устанавливаемых непосредственно в корпус. Воздушные промежутки между линзами обеспечиваются специальными кольцами. Примеры конструктивного оформления двух объективов типа «Индустар» даны на рис. 3.4.

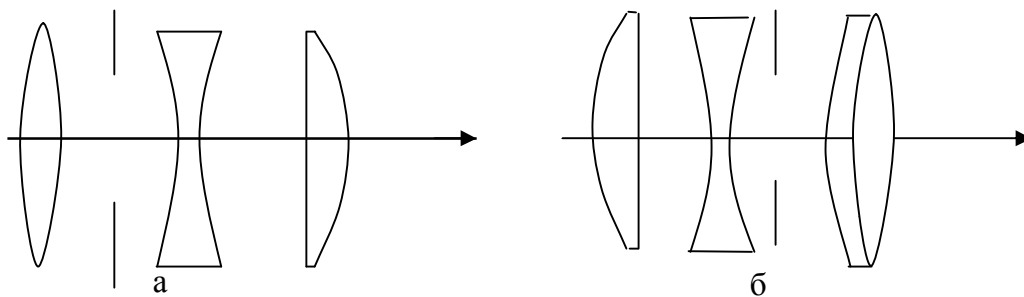


Рис. 3.3. Схемы объективов:
а – «Триплет», б – «Индустар»

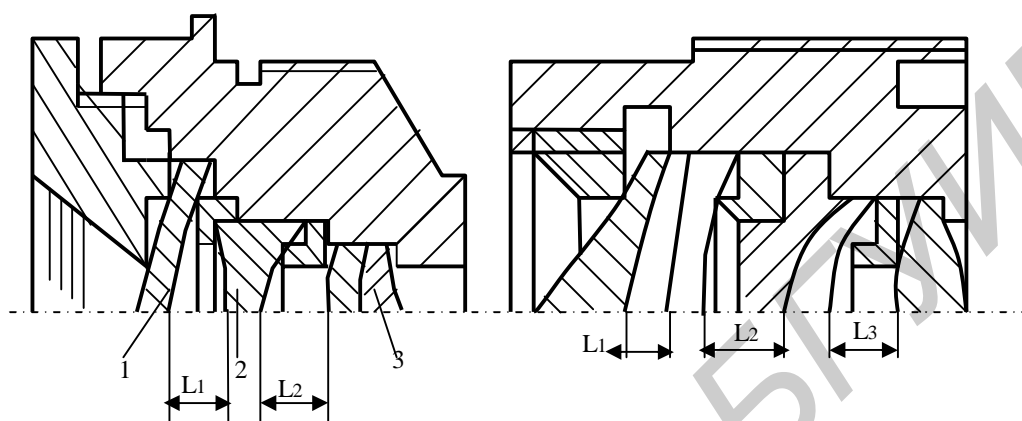


Рис. 3.4. Конструктивное оформление двух объективов типа «Индустар»:
1,2,3 – линзы; L_1 , L_2 и L_3 – воздушные промежутки по оптической оси

В более сложных и высококачественных объективах насыпной конструкции линзы предварительно собираются и центрируются автоколлимационным методом с минимальным зазором по диаметру и точно выдержанными воздушными промежутками, а затем устанавливаются и закрепляются в корпусе.

3.2.2. Технические требования к сборке объективов

Содержание и объем механической и оптической сборки зависят в первую очередь от конструкции объектива.

Механическая сборка представляет собой процесс соединения деталей с определенной точностью. Она включает промывку деталей и покрытие их трущихся поверхностей смазкой. При массовом производстве все детали взаимозаменяемы и никаких их подгонок и доделок в процессе сборки не производится. Сборка в этом случае наиболее проста.

Оптическая сборка узлов заключается в соединении оптических и механических деталей. Типовой ТП включает следующие операции: очистка оптических деталей; их закрепление в оправе и юстировка для обеспечения требуемых свойств узла; чистка наружных поверхностей оптических деталей; контроль параметров узла.

При оптической сборке должны обеспечиваться:

- правильное положение детали в оправе в соответствии с чертежом (например, крон наружу при сборке линз, плоскость штрихов сетки наружу);
- заданные свойства узла (например точность центрировки линз в оправе или допускаяемый угол наклона изображения при сборке призм);

- надежность крепления детали (не должна поворачиваться и смещаться в оправе);
- отсутствие натяжений в оптических деталях;
- чистота рабочих (полированных) поверхностей оптических деталей и оправ;
- герметичность узла (если требуется) и др.

Сборка узлов завершается контролем их свойств в соответствии с техническими условиями.

3.2.3. Параметры, характеризующие качество сборки

В процессе сборки должно быть обеспечено выполнение не только ранее указанных требований, но и выдержаны выходные параметры узла, в частности фокусное расстояние в пределах $\pm 1\%$ от номинала и разрешающая способность.

Все эти параметры качественно или количественно могут быть измерены на установке, схема которой дана на рис. 3.5, где диафрагма 3 может заменяться точечным отверстием или мирой, которые устанавливаются в револьверной головке коллиматора 4.

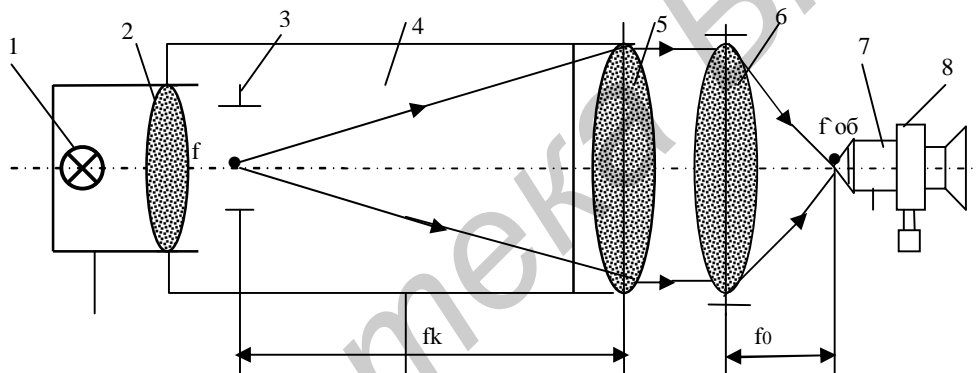


Рис. 3.5. Схема установки для контроля характеристик объективов по дифракционной точке

В фокальной плоскости коллиматора 4 с длиннофокусным объективом 5 вначале помещают точечную диафрагму 3, которую освещают с помощью лампы 1 через конденсор 2. Проверяемый объектив 6 укрепляют в держателе и устанавливают между коллиматором и наблюдательным микроскопом 7, снабженным винтовым окулярным микрометром 8. Дифракционное изображение точки образуется в фокальной плоскости объектива 6.

Заключение о качестве изображения, создаваемого объективом, можно сделать, наблюдая в микроскоп изображение точки как непосредственно в фокусе объектива, так и вне его (рис. 3.6).

При наличии сферической аберрации большей $0,25\lambda$ яркость первого, второго и последующих светлых колец возрастает, а яркость центрального ядра уменьшается. При расфокусировке микроскопа на одинаковые расстояния от плоскости, в которой пятно рассеяния имеет минимальные размеры, наблюдается значительное различие в распределении энергии от центра к краю в обоих изображениях.



Рис. 3.6. Возможные изображения дифракционной точки

Разрывы колец как в сфокусированном, так и в расфокусированном изображениях, деформация колец и ядра, слияние ядра и частей светлого кольца свидетельствуют о пережатии оптических деталей в своих оправках, локальных дефектах оптических поверхностей, неоднородности стекла.

При наличии децентрировки оптических деталей в изображении точки наблюдается одновременно и кома, и астигматизм. Незначительный астигматизм в центре поля зрения легко обнаруживается в расфокусированном изображении точки, фигура рассеяния принимает форму овала. Перефокусировка изображения приводит к повороту большой оси вала на 90^0 .

С помощью микроскопа можно оценить разрешающую способность по тому квадрату ее изображения, в котором при наблюдении в микроскоп отдельно

видны черно-белые штрихи во всех четырех группах квадрата. Здесь возможен пересчет в линии/мм по формуле

$$\frac{R_{об}}{R_{кол}} = \frac{f_{кол}}{f_{об}} \quad \text{или} \quad R_{об} = \frac{f_{кол} R_{миры_кол}}{f_{об}},$$

где $R_{миры}$ берется из прил. 1 (для последнего разрешаемого квадрата).

Измеряя изображения базы миры v с помощью микроскопа с окуляр-микрометром, цена деления которого определяется согласно прил. 2, $f_{об}$ можно определить по формуле

$$\frac{f_{кол}}{f_{об}} = \frac{V}{v}.$$

Дефекты децентрировки исправляются разворотом линз, пережатие устраняется крепежным кольцом, точность выдерживания воздушных промежутков измеряется с помощью индикаторного толщиномера, имеющего соосный с индикатором точечный (шариковый) упор.

Замерив расстояние между центрами кривизны сопрягаемых поверхностей линз 1–2 и 2–3 с последующим вычетом толщины верхней линзы, получают осевое значение воздушных промежутков (L_1 и L_2), которые сравниваются, с диапазоном допусковых значений, приведенных на рис. 3.7.

3.3. Состав лабораторного макета

1. Вертикальный коллиматор $f = 500$ мм по схеме (см. рис. 3.5) с мирой №3, точкой и микроскопом с окуляр-микрометром, имеющим при увеличении объектива 8^x цену малого деления шкалы $0,00084$ мм;
2. Блок питания коллиматора;
3. Толщиномер с индикатором на базу $0-10$ мм;
4. Эталонный объектив «Триплет»;
5. Собираемый объектив «Триплет» в виде набора деталей;
6. Плоские оптические детали известной толщины для настройки толщиномера и увеличения диапазона измерений (>10 мм);
7. Эскизы линз и схема объектива «Триплет» (рис. 3.7).

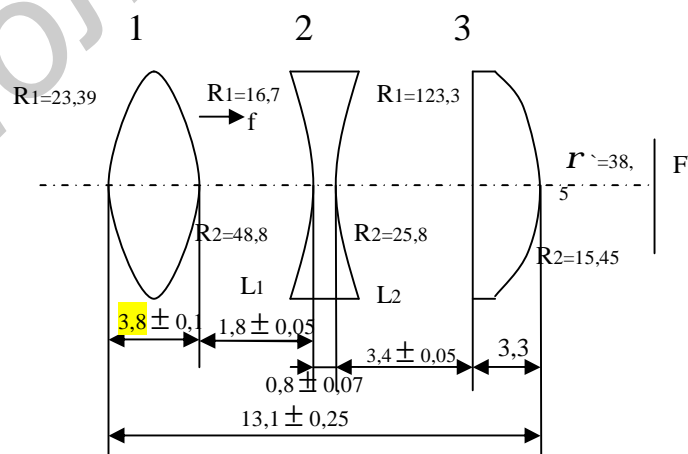


Рис. 3.7. Эскизы линз и схема объектива «Триплет»

3.4. Практическая часть

1. Включить прибор и, рассматривая сфокусированное изображение, даваемое эталонным объективом, определить квадрат миры, в котором еще разрешаются все 4 направления штрихов. Затем по изображению точки оценить качество сборки объективов.

2. Замерить фокусное расстояние эталонного объектива. С данными по фокусному расстоянию и разрешению эталонного объектива будет проводиться сравнение аналогичных данных двух собираемых объективов.

3. Отвернуть резиновой прокладкой наружное кольцо объектива и в процессе его разборки с помощью толщиномера измерить толщины линз и воздушные промежутки L между ними (L_1 и L_2). L определяется по формуле

$$L = A_2 - A_1 - d,$$

где A_1 – отсчет до верхней поверхности измеряемой линзы; d – ее толщина; A_2 – отсчет до наружной поверхности следующей линзы от той же базы.

При разборке обращать внимание на положение линз и колец в объективе, а полученные значения d_1, d_2, d_3 и L_1, L_2 сравнить со значениями на рис. 3.7.

4. Собрать 2 объектива и провести измерения, указанные в п. 1 и п. 2 и сравнить с данными эталонного объектива. Проанализировать причины отклонений (при их наличии) и оценить качество сборки. При больших отклонениях проверить правильность установки линз в корпусе.

3.5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Особенности конструкции, достоинства и недостатки насыпных объективов.
3. Результаты сборки и сравнение характеристик собранного объектива с эталонным.
4. Анализ результатов и выводы.

3.6. Контрольные вопросы

1. Какая информация об объективе содержится в дифракционном изображении точки?
2. Методика измерений предела разрешения и фокусного расстояния.
3. Причины неудовлетворительных результатов сборки объективов.
4. Пути улучшения качества сборки объективов насыпной конструкции.

Литература

1. Креопалова, Г. В. Оптические измерения / Г. В. Креопалова, И. Л. Лазарев, Д. Т. Пуряев. – М. : Машиностроение, 1987.
2. Справочник конструктора опико-механических приборов / под ред. В. М. Панова. – М. : Машиностроение, 1980.

Лабораторная работа №4

КОНТРОЛЬ ПРЕДЕЛА РАЗРЕШЕНИЯ, ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ И КАЧЕСТВА СБОРКИ УЗЛОВ ЭОС

4.1. Цель работы

1. Ознакомиться с параметрами оптических узлов, по которым проверяется правильность их сборки.
2. Изучить методику оценки качества сборки по дифракционному изображению точечного источника.
3. Получить навыки определения фокусного расстояния и предела разрешения оптических систем.

4.2. Теоретические сведения

В комплект КД входят оптические схемы всего изделия и его отдельных узлов, для которых указываются значения вершинных и фокусных расстояний. Требования к качеству изображения зависят от назначения изделия и могут включать визуальную разрешающую способность, предел разрешения системы объектив–приемник, частотно-контрастную характеристику и т.п. Для вершинных и фокусных расстояний допуск обычно не превышает $\pm 1\%$ от номинала. Визуальная разрешающая сила, как и предел разрешения системы объектив–приемник, задается для максимального рабочего диаметра объектива. Величину диаметра можно определить по награвированному значению относительного отверстия. Например 2/50. Здесь 50 мм – величина фокусного расстояния, а 2 – относительное отверстие объектива, равное отношению диаметра входного зрачка к фокусному расстоянию следовательно, диаметр входного зрачка равен $\frac{50}{2} = 25$ мм. На практике теоретическое значение предела разрешения не достигается. Его снижение обусловлено остаточными aberrациями (сферическая, хроматическая, астигматизм, кома), дефектами оптического материала и производственными погрешностями, в частности децентрировкой и пережатием оптических деталей в узле. О наличии или отсутствии указанных отклонений от номинала можно судить по дифракционному изображению точки, тем более что любое изображение создается сочетанием точек в фрагментах передачи контраста в самом объекте.

Для всего комплекса контрольных операций используется общая схема измерений. Установка, собранная на общей направляющей по этой схеме (рис. 4.1) включает:

- осветительную систему, состоящую из источника света 1, конденсора 2, матового стекла 3 и светофильтра 4;
- коллиматор 6, в фокальной плоскости которого помещены штриховые миры и точки;
- объективодержатель 8, в котором устанавливается проверяемый объектив 7 или окуляр;
- микроскоп 9 с окуляром-микрометром 10, перемещение которого отсчитывают по шкале 11 и микроскопическому винту с ценой деления 0,01 мм.

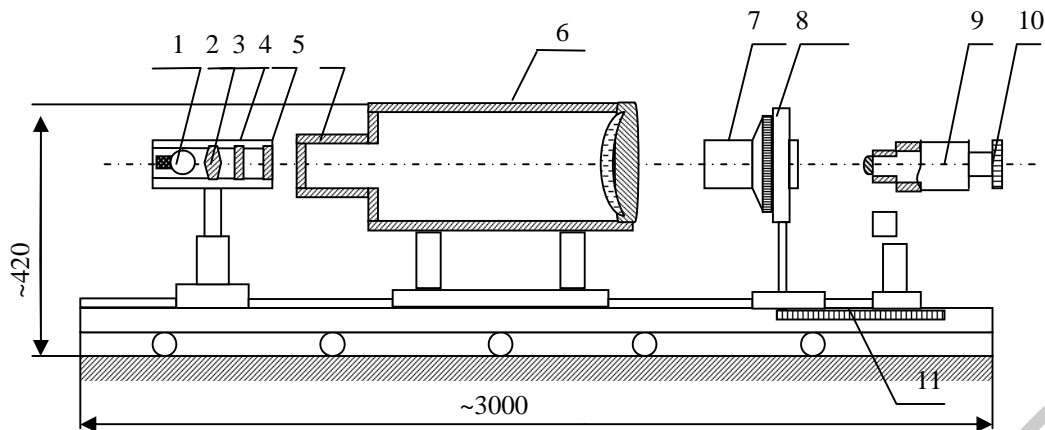


Рис. 4.1. Установка для поверки объективов:
 1,2,3,4,5 – осветительная система; 6 – коллиматор;
 7,8 – объектив в держателе; 9,10 – микроскоп с окуляр-микрометром;
 11 – микрометрический винт со шкалой

Обычно в револьверной головке коллиматора, находящейся в фокальной плоскости его объектива, находятся миры и точечные диафрагмы. Фокусное расстояние объектива коллиматора должно составлять не менее трех фокусных расстояний проверяемого объектива, а его световой диаметр должен быть больше диаметра входного отверстия проверяемого объектива.

Вершинные отрезки – это разница двух наводок на точку фокуса и припудренную вершину задней линзы (при измерении заднего отрезка) и первой в перевернутом относительно коллиматора положении измеряемого объекта. Фокусировка производится перемещением микроскопа по шкале 11.

Для измерения фокусного расстояния надо знать $f_{\text{кол}}$, N используемой миры и размер ее базы, т.е. расстояние между двумя линиями за системой квадратов, и увеличение микрообъектива, которым определяется цена деления окуляра-микрометра микроскопа. $f_{\text{кол}}$ указано на самом коллиматоре. Базы штриховых мир приведены в прил. 1.

$\frac{f_{\text{сист}}}{f_{\text{кол}}} = \frac{B'}{B}$, т.е. после измерения изображения базы миры, даваемого измеряемой системой, можно вычислить ее фокусное изображение.

Изображение базы миры наблюдается в микроскопе с окуляром-микрометром. Он имеет внутреннюю шкалу из 10 делений, барабан, делящий деление на 100, и сетку в виде креста, перемещающуюся параллельно внутренней шкале. Цена деления микроскопа зависит от используемого объектива и может быть определена как отношение базы миры к числу делений ее изображения (см. прил. 2).

База изображения миры измеряется не менее трех раз и в расчет берется среднее значение. В тех случаях, когда измеряется фокусное расстояние объективов, на которых указаны их фокусные расстояния, фактическое значение должно быть в диапазоне $\pm 1\%$ номинала. Если заменить в коллиматоре миру на точечное отверстие и сфокусировать на нее нить лампы осветителя, то по

изображению точки можно оценить степень исправления остаточных aberrаций после расчета системы и дать оценку качества сборки узла.

Изображение точечной диафрагмы, образованное в виде пятна рассеяния, рассматривают и измеряют с помощью микроскопа 7 с окуляром-микрометром или окуляром 10^x . Измерения выполняют при наилучшей резкости изображения центрального кружка пятна рассеяния. Диаметр точечной диафрагмы (если наблюдения ведутся при $\lambda = 555 \text{ нм}$) $d_1 \leq \frac{0,000677f_k}{D}$, где f_k – фокусное расстояние объектива коллиматора; D – его световой диаметр.

Нужный угловой диаметр матового стекла 3 берется из соотношения

$$\gamma = (1 \div 2) \cdot 140 / D_{\text{исп. системы}}$$

Например, для $f_k = 1000 \text{ мм}$ и $D_{\text{сист}} = 60 \text{ мм}$,

$$\gamma = (2 \cdot 140 / 60) \cdot 1000 \cdot (1 / 200\,000) = 0,023 \text{ мм, т.е.} - 0,02 \text{ мм.}$$

При помощи конденсора 2 нить лампы 1 проецируется в плоскость 3. Изображение должно быть на оси микроскопа 7, 8, чтобы исключить влияние его aberrаций. Пучок лучей после коллиматора должен полностью и равномерно покрывать входной зрачок 6 во избежание влияния диафрагмирования. Выходной зрачок всей системы – светлый кружок за окуляром микроскопа – должен иметь диаметр $\approx 0,5 \text{ мм}$ (виден на матовом экране). При этом лучше проявляются дефекты изображения. Диаметр выходного зрачка зависит от увеличений объектива и окуляра микроскопа. Апертура объектива должна быть не меньше апертуры исследуемой системы, а увеличение окуляра подбирается из условия получения изображения размером $\approx 0,5 \text{ мм}$.

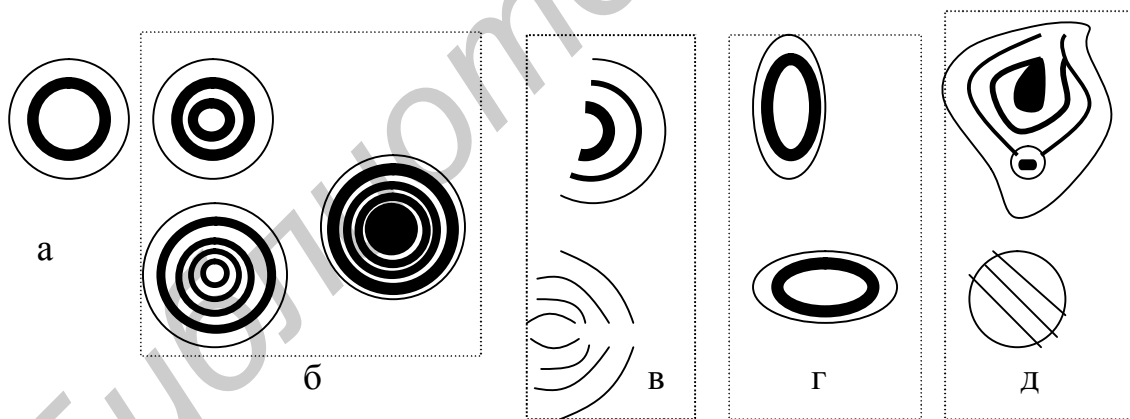


Рис. 4.2. Примеры дифракционного изображения точки:

- а – правильный кружок; б – при остаточной сферической aberrации;
в – при децентрировке; г – при астигматизме; д – при пережатии линз
в оправе

4.3. Описание лабораторного макета

1. Коллиматор с $f = 600 \text{ мм}$, мирами №2, 3, 4, 5 и точечным источником света.
2. Трансформатор 220/8 В и осветитель с лампой СЦ-61.

3. Микроскоп с объективом 8^x , окуляр-микрометр МОВ-1-15 x .
4. Объективодержатель (призмный) и направляющая.
5. Объективы и окуляры для измерений.

4.4. Практическая часть

1. Собрать установку по схеме (см. рис. 4.1) и измерить с использованием в качестве объекта миры №2(3) цену деления окуляра-микрометра.

2. Для подлежащих измерению узлов последовательно проводятся измерения по методике, приведенной в подразд. 4.2:

- заднего вершинного отрезка (2–3 образца);
- фокусного расстояния (2–3 образца);
- визуального разрешения в лин/мм по оси (все образцы объективов);
- оценки качества сборки по дифракционной точке (все образцы).

3. Полученные значения фокусного расстояния сравниваются с номинальными, выгравированным на объективе. В случае окуляров, для которых указывается увеличение, например 10^x , перевести его в фокусное расстояние

$$V^x = \frac{250}{f} \text{ или } f = \frac{250}{V^x},$$

где 250 мм – расстояние наилучшего видения.

Как и в случае плоскопараллельных пластин, угловая визуальная разрешающая способность объективов для желто-зеленой части спектра определяется по формуле

$$\varphi = \frac{140''}{d_{зр}},$$

где $d_{зр}$ определяется из соотношения $\frac{f}{d} = A$ – относительное отверстие объек-

тива, гравированное как $\frac{A}{f}$. Например, для $\frac{2}{50}$ $d_{зр} = 25$ мм, $\frac{2,8}{78}$ $d_{зр} = 28$ мм.

Перевод в лин/мм, которыми характеризуется разрешающая способность объективов с учетом соотношения $\varphi = \frac{140''}{d_{зр}}$ и перевод его в линейное разреше-

ние дают $\sigma = f' \cdot \frac{140''}{d} = 1475 \frac{d}{f} = \frac{1475 \text{ лин}}{A \text{ мм}}$

4.5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Описание лабораторного макета и методики измерений.
4. Результаты измерений в табличном виде.
5. Анализ результатов измерений и возможных причин отклонения измеренных величин и дефектов сборки.
6. Выводы.

4.6. Контрольные вопросы

1. Параметры узлов, создающих и рассматривающих изображение.
2. Состав измерительной установки и назначение основных ее узлов.
3. Причины отклонений фактических параметров объективов и окуляров от расчетных (номинальных) значений.
4. Как оценивается качество сборки объективов и окуляров по дифракционному изображению точечного источника.

Литература

1. Кривовяз, Л. М. Практика оптической измерительной лаборатории / Л. М. Кривовяз, Д. Т. Пуряев, М. А. Знаменская. – М. : Машиностроение, 1974.
2. Креопалова, Г. В. Оптические измерения / Г. В. Креопалова, И. Л. Лазарев, Д. Т. Пуряев. – М. : Машиностроение, 1987.

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №5

ЦЕНТРИРОВКА ЛИНЗ. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕЦЕНТРИЧНОСТИ

5.1. Цель работы

1. Изучить основные виды отклонений формы линз.
2. Ознакомиться с требованиями к центрировке линз и методами измерения их децентричности.
3. Получить навыки практических измерений децентричности и других отклонений формы оптических деталей.

5.2. Теоретические сведения

В простых линзах различают две основные оси: оптическую и геометрическую. Оптической осью называют линию, соединяющую центры кривизны сферической поверхности линзы. Геометрическая ось является осью симметрии боковой поверхности линзы. В правильно изготовленной линзе геометрическая и оптическая оси совпадают. Такие линзы называют центрированными (рис. 5.1, а, б). В децентрированной линзе оптическая и геометрическая оси не совпадают и могут занимать различное положение одна относительно другой (рис. 5.1, в, г, д). Величину децентрировки линз оценивают как по углу α между осями линзы, так и по величинам Δ_0 , Δ_1 и Δ_2 , которые определяют расстояние от оптической до геометрической оси в точках O , C_1 и C_2 (см. рис. 5.1, в, г, д, е). Точку O называют центром линзы, или главной точкой линзы, и определяют как точку пересечения геометрической оси с главной плоскостью линзы, полагая при этом, что передняя H и задняя H' главные плоскости совмещены друг с другом. Точки C_1 и C_2 являются центрами кривизны сферических поверхностей линзы.

Контроль децентрировки линз осуществляют в проходящем или отраженном свете. В первом случае проверяют смещение главной точки, во втором – центров кривизны поверхностей линзы.

Рассмотрим схемы установок для контроля децентрировки в проходящем свете. Децентрированную линзу можно представить как бы состоящей из правильно центрированной линзы и дополнительного клина, образованного сферическими поверхностями. Дополнительный клин меняет направление оптической оси правильно центрированной линзы, вносит хроматизм и кому, а при больших углах также и заметный астигматизм на оси.

При исследовании линз на децентрировку определяют смещения главной точки или центров кривизны относительно геометрической оси. Связь между этими величинами можно определить, пользуясь элементарными геометрическими соотношениями, очевидными из рис. 5.1, в–е. В частном случае (см. рис. 5.1, е), когда геометрическая ось проходит через центр кривизны одной из сферических поверхностей линзы, получим

$$\Delta_0 = \frac{r_2 \Delta_1}{|r_1| \pm |r_2|}.$$

В знаменателе этой формулы знак «плюс» следует брать для двояковыпуклых и двояковогнутых линз, «минус» – для менисковых линз.

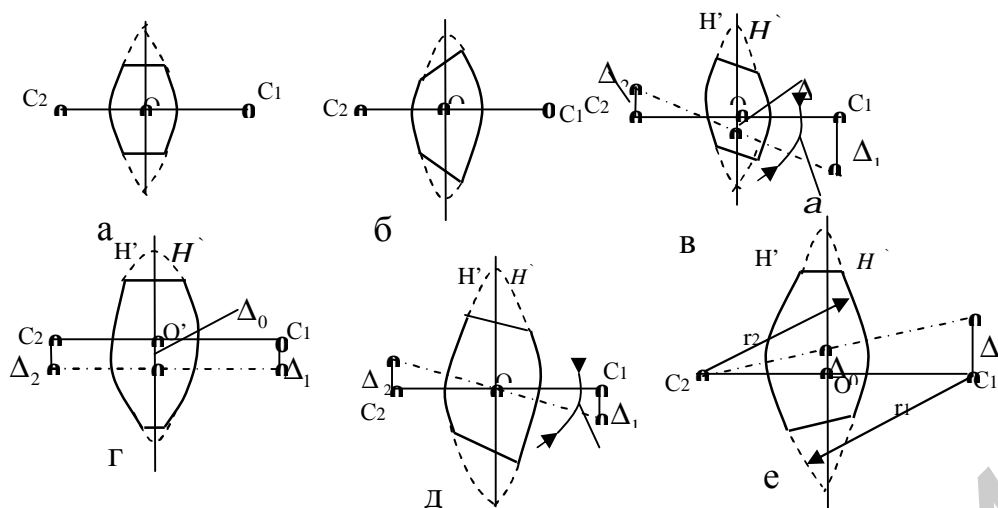


Рис. 5.1. К определению децентрировки линз:

а, б – центрированные линзы; в, г, д, е – децентрированные линзы (в – взаимный наклон осей; г – параллельный сдвиг осей; д – пересечение осей в центре линзы; е – геометрическая ось проходит через центр кривизны одной поверхности линзы)

5.3. Методы контроля децентричности

5.3.1. Контроль с помощью коллиматора и микроскопа

Изображение перекрестия пластинки 2 (рис. 5.2), расположенной в фокальной плоскости объектива коллиматора 3 и освещенной источником света 1, образуется в фокальной плоскости контролируемой линзы 4. Его рассматривают в микроскоп 5–8. Линза 4 устанавливается на одну из сферических поверхностей, а боковой цилиндрической поверхностью поджимается к упору. Если при вращении линзы изображение перекрестия не смещается относительно какого-либо штриха сетки 7 микроскопа, то линза хорошо центрирована. При несовпадении главной точки с геометрической осью линзы изображение перекрестия в поле зрения микроскопа будет двигаться по кругу. Децентрировку главной точки определяют по формуле

$$\Delta_0 = \frac{ma'}{2\beta},$$

где m – число делений сетки микроскопа, укладываемое в диаметре круга, по которому перемещается изображение; a' – линейная цена деления сетки микроскопа; β – линейное увеличение объектива микроскопа.

Для совмещения предметной плоскости микроскопа с фокусом контролируемой линзы его необходимо перемещать в вертикальной плоскости.

По этой схеме можно проверять в основном положительные линзы. Диапазон фокусных расстояний контролируемых линз зависит от величины возможного перемещения микроскопа и конструкции прибора. Точность измерений определяется ценой деления сетки микроскопа и обычно составляет 0,005–0,01 мм.

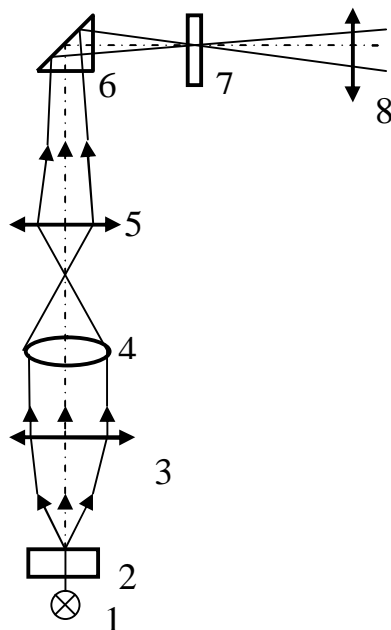


Рис. 5.2. Схема контроля децентрировки линз в проходящем свете с помощью коллиматора и микроскопа

5.3.2. Контроль с помощью зрительной трубы

Изображение перекрестия пластинки 3 (рис. 5.3), освещенной источником света 1 через конденсор 2, формируется объективом 4 в фокальной плоскости контролируемой линзы 5. Его рассматривают в зрительную трубу 6, установленную на бесконечность. Линза 5 располагается в центрирующем устройстве и может вращаться вокруг своей оси. Для совмещения изображения перекрестия с фокальной плоскостью линзы 5 объектив 4 перемещают вдоль оси по всему интервалу между пластинкой 3 и держателем линзы 5. Благодаря этому объектив 4 может изображать перекрестия во всех плоскостях пространства, начиная от плоскости, отстоящей вправо от пластинки на расстояние, равное четырём фокусным расстояниям объектива 4 ($f' = 30$ мм), до плоскости, расположенной на $+\infty$. Мнимое изображение можно получить влево от пластинки 3, $-\infty$. Если фокусное расстояние линзы 5 попадает в интервал, начинающийся от пластинки и заканчивающийся вправо от неё на расстоянии, равном четырём фокусным расстояниям объектива 4, то можно передвинуть вдоль оси на небольшое расстояние весь узел прибора, состоящий из источника света 1, конденсора 2 и пластинки 3.

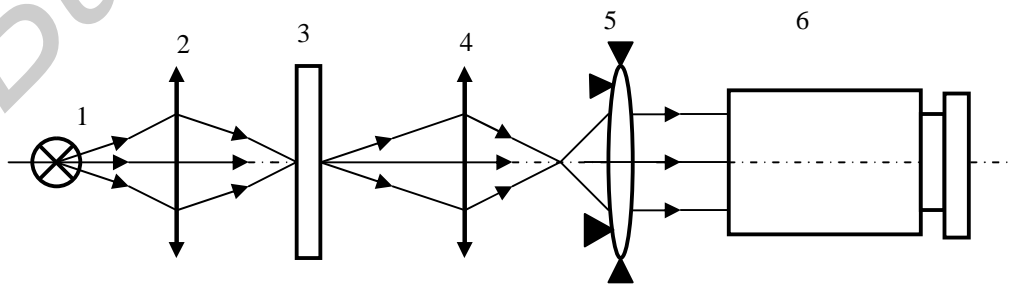


Рис. 5.3. Схема контроля децентрировки линз в проходящем свете с помощью зрительной трубы

Таким образом, по этой схеме можно измерить децентрировку как положительных, так и отрицательных линз. Угловая цена деления сетки зрительной трубы в существующей конструкции прибора составляет для малого деления $0,7'$ ($0,0002$ радиан), для большого деления $3,4'$ ($0,001$ радиан).

При вращении контролируемой линзы изображение перекрестия начинает описывать круг, угловой размер которого можно оценить по сетке зрительной трубы. Децентрировку определяют по формуле

$$\Delta_0 = \frac{\alpha f'}{2} = 0,0001 m f',$$

где α – угловой размер круга биения изображения; f' – фокусное расстояние контролируемой линзы; m – число малых делений сетки зрительной трубы, укладывающихся в круге биения изображения.

Важное значение имеет применение в контролирующих приборах специального держателя, состоящего из опорного кольца и системы рычагов 2 на двух шарнирах (рис. 5.4). Такой держатель обеспечивает приведение геометрической оси контролируемой линзы 1 на одно и то же место по отношению к оси микроскопа при смене линз.

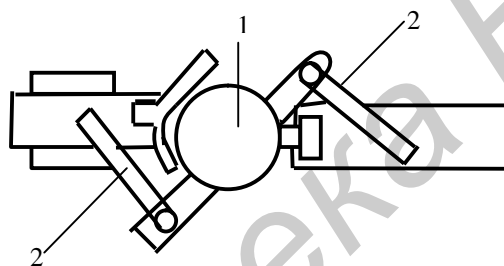


Рис. 5.4. Специальный держатель линз для контроля децентрировки:
1 – контролируемая линза; 2 – система рычагов

5.3.3. Контроль с помощью автоколлимационного микроскопа

Другой метод определения децентричности – измерения в отраженном свете с использованием автоколлимационного микроскопа. Здесь возможен контроль наружной поверхности с точностью в 2 раза большей, чем при коллимационных методах, а базовая поверхность автоматически устанавливается на оси вращения. Остаточная клиновидность линзы измеряется по биению центра кривизны второй поверхности по величине, равной учетверённому значению децентричности, и соответственно учитываемой в цене деления сетки микроскопа.

Свет от источника 1 (рис. 5.5) конденсором 2 направляется на перекрестие 3 и далее, отразившись от полупрозрачной призмы-куба 4, собирается сложным объективом 5–6 в центре кривизны контролируемой поверхности. Отраженные от контролируемой поверхности лучи образуют изображение перекрестия 3 в плоскости сетки 7. Сетку 7 и изображение перекрестия 3 рассматривают в окуляр 8. Смещение изображения перекрестия 3 относительно перекрестия сетки 7, которое получают при вращении линзы в упорном кольце, характеризует смещение центра кривизны верхней поверхности линзы относительно ее геометрической оси.

Сложный объектив 5–6 состоит из объективов постоянного 5 и переменного 6 увеличения, которое обеспечивается за счет изменения воздушного промежутка между линзами.

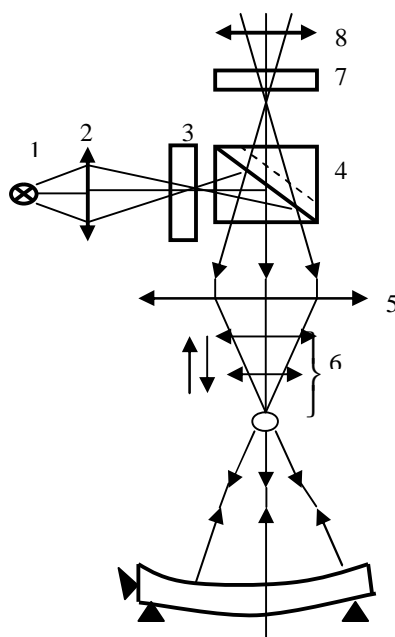


Рис. 5.5. Схема контроля децентрировки линз в отраженном свете с помощью автоколлимационного микроскопа

На такой установке можно контролировать линзы с радиусом $+230$ мм $(+\infty)$ и $(-\infty) - (-321)$ мм. Для перекрытия этих диапазонов применяется 8 сменных объективов с фокусными расстояниями: $+40,7$; $+100,0$; $+116$; $+214$; $-49,4$; -100 , -150 и -257 мм, которые устанавливаются вместо объектива 6.

Угловая децентрировка центра кривизны верхней поверхности

$$\alpha = \frac{0,1A \cdot 3438}{2\beta r_1},$$

где β – линейное увеличение объективов 5 и 6; A – величина смещения изображения центра верхней поверхности линзы, выраженная в малых делениях сетки окуляра (цена деления $0,1$ мм); r_1 – радиус верхней поверхности линзы.

5.3.4. Контроль децентрировки на автоколлимационном микроскопе А. А. Забелина

Этот микроскоп представляет собой универсальный автоколлимационный прибор (рис. 5.6), который преимущественно применяется для контроля децентрировки линз. С помощью источника 10, конденсора 9 и зеркала 8 освещается перекрестие, процарапанное в алюминиевом слое зеркала 4. Объективы 5 и 6 проектируют это перекрестие в центр кривизны наружной поверхности контролируемой линзы 7. После отражения от нее лучи идут в обратном направлении, создавая изображение перекрестия в том же центре кривизны. Это изображение рассматривается с помощью объективов 5 и 6 и микроскопа 1–3.

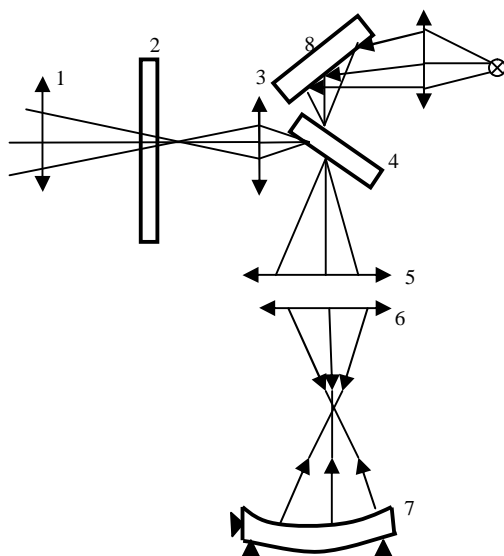


Рис. 5.6. Схема контроля центрировки линз прибором А. А. Забелина

Прибор позволяет поверять центрировку линз с любыми радиусами кривизны от $-\infty$ до $+\infty$. Перемещая объективы 5 и 6 или весь микроскоп, находят автоколлимационное изображение от верхней поверхности линзы 7, затем, вращая линзу в упорном кольце, измеряют величину биения изображения по сетке 2 микроскопа. Цена ее деления зависит от положения объектива 5 и 6, которое связано с величиной радиуса верхней поверхности линзы 7. В рассматриваемой конструкции цена одного деления сетки зависит от радиуса контролируемой линзы и изменяется в пределах 0,003–0,06 мм.

На практике широко используется построенный по этому принципу центрировочный прибор СТ-41, описание которого приводится далее.

5.4. Состав лабораторного макета

1. Центрировочный прибор СТ-41.
2. Трансформаторы 220/8 В для питания источников света.
3. Образцы линз.
4. Чертежи линз и схемы расположения автоколлимационных точек.

5.5. Практическая часть

5.5.1. Методика контроля децентричности линз

В чертежах линз допуск на центрировку задается как биение центра кривизны одной поверхности при базировке на вторую и диаметр.

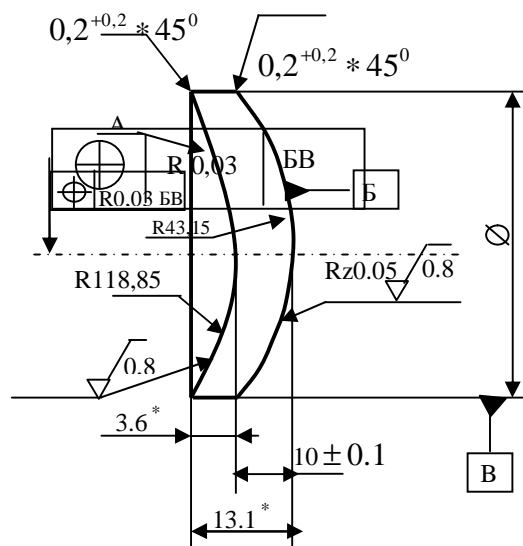


Рис. 5.7. Эскиз линзы с допусками на центровку

На приведенном эскизе (рис. 5.7) данный знак означает, что относительно поверхностей Б ($R43,15$) и диаметра В ($54f9$) центра кривизны поверхности А может иметь отклонение от удельного положения оптической оси линзы, проходящей через оба центра кривизны, не более чем на $0,03$ мм.

Контроль центровки указанным способом заключается в определении диаметра биения центра кривизны наружной поверхности при установке на кольцо второй поверхностью и диаметром на призменный упор, что обеспечивает надежное базирование при вращении линзы. При этом центр кривизны базовой поверхности автоматически устанавливается на ось вращения, а измеряемой поверхности – описывает окружность, величина которой тем больше, чем выше децентричность линзы. Чтобы измерить децентричность, надо настроиться на центр кривизны. Автоколлимационный микроскоп СТ-41 позволяет совместить точечное изображение своего источника с автоколлимационной точкой сферической поверхности, которая дает отраженное от поверхности изображение помещенного в нее источника в ту же плоскость, где она находится.

Степень несовпадения равна удвоенной величине децентричности, а вращение линзы позволяет еще в два раза увеличить ее значение.

Автоколлимационная точка вогнутой поверхности совпадает с центром ее кривизны. Для выпуклой необходимо рассчитывать ее удаление от поверхности. Положения автоколлимационных точек приводятся в КД на линзы и могут быть определены с помощью прибора СТ-41.

Чтобы повысить точность измерения децентричности прибором СТ-41, на микроскопе выставляется различная цена деления и выбирается величина в 3–5 раз меньшая допускового значения.

5.5.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить описание прибора СТ-41 (прил. 4).
2. Определить базировку линз, подлежащих измерению, выбрать и установить цену деления микроскопа.

3. Установить последовательно линзы на кольцо и отрегулировать упор относительно их диаметра.

4. Включить источник света СТ-41 и, наблюдая в окуляр вертикального микроскопа, поймать изображение светящейся автоколлимационной точки и измерить величину децентричности.

5. Переустановить линзу на другую поверхность и измерить ее децентричность. Допускается выполнить измерения без переустановки, используя горизонтально расположенный микроскоп.

6. Перевести замеренные значения децентричности в угловую меру для каждой из поверхностей и определить, зависит ли оценка децентричности от методики измерения.

5.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Требования к центрировке линз.
3. Методы контроля децентричности.
4. Результаты измерений и выводы по работе.

5.7. Контрольные вопросы

1. Что является признаками децентрировки линз?
2. Как влияет децентричность на качество изображения?
3. Методы измерения децентричности.
4. Зачем в СТ-41 задействованы два микроскопа?
5. Чем объясняется повышенная точность автоколлимационного метода контроля центрировки?

Литература

1. Справочник технолога-оптика. – М. : Политехника, 2004.
2. Кривовяз, Л. М. Практика оптической измерительной лаборатории / Л. М. Кривовяз, Д. Т. Пуряев, М. А. Знаменская. – М. : Машиностроение, 1974.

МИРЫ ШТРИХОВЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА РАЗРЕШЕНИЯ

1. Штриховая мира состоит из элементов с различным количеством штрихов одинаковой длины, ширина которых изменяется по закону геометрической прогрессии.

2. Набор мир состоит из шести мир (пластинок), различающихся между собой размерами и масштабом нанесенного на них рисунка. Миров набора нумеруются в порядке увеличения масштаба рисунка.

3. Каждая мира состоит из 25 отдельных пронумерованных, как показано на рис. П1.1 и П1.2, элементов и двух пар параллельных равно отстоящих друг от друга отметок (знаков базы). Расстояние между серединами этих отметок называется базой мира и определяет масштаб последней.

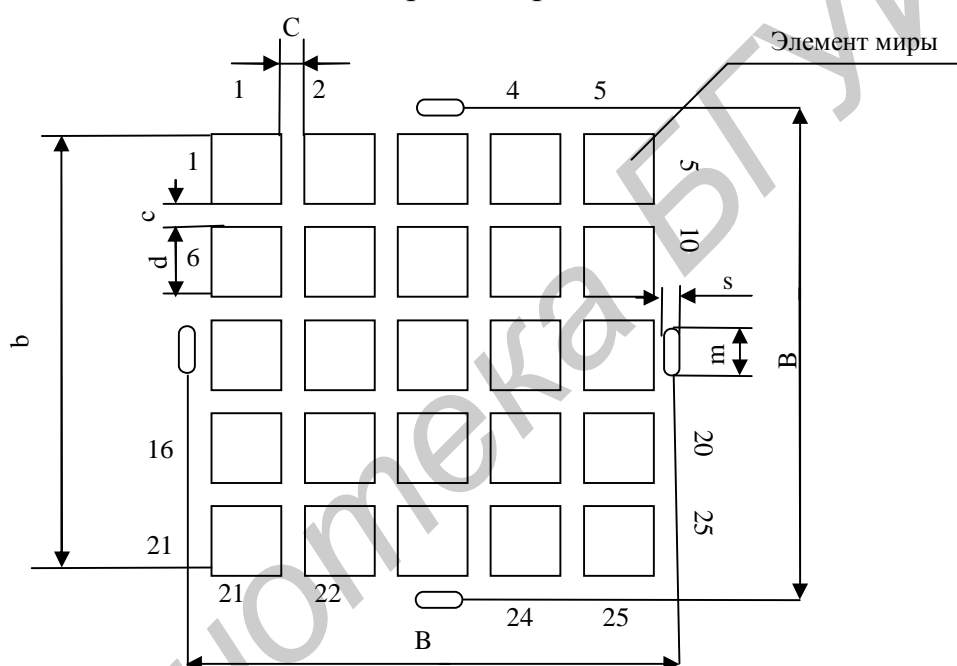


Рис. П1.1. Расположение элементов и геометрические характеристики мира

4. Длина базы B и другие размеры мир набора должны соответствовать указанным в табл. П1.1.

Таблица П1.1

Обозначения размеров	Миры, №						Пред. отклонение, %
	1	2	3	4	5	6	
B	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	38,4	$\pm 0,25$
d	0,219	0,438	0,877	1,75	3,51	7,02	± 5
c	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	0,32	± 10
b	1,14	2,27	4,55	9,07	18,2	36,4	± 10
m	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	± 10
s	0,005	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	± 20

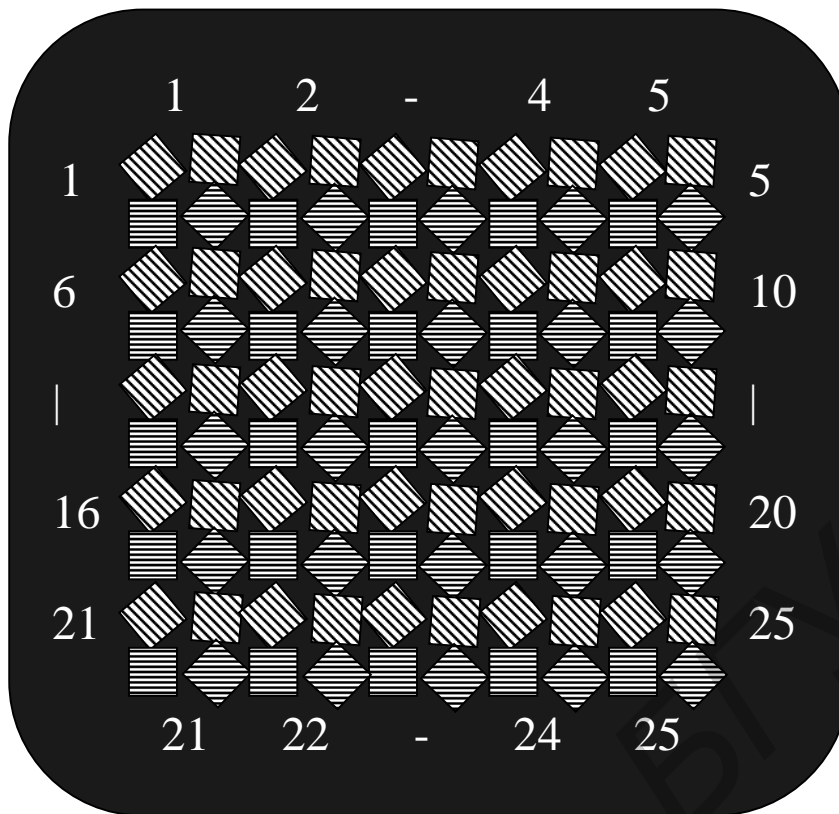


Рис. П1.2. Общий вид миры

5. Каждый элемент миры состоит из четырех групп, равных по ширине и длине параллельных штрихов, расположенных, как показано на рис. П1.3. Ширина промежутков между штрихами равняется ширине штрихов.

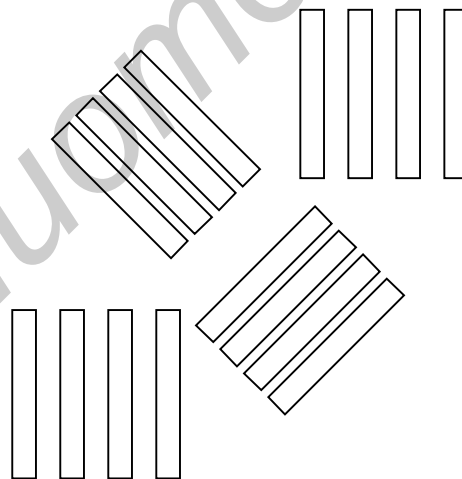


Рис. П1.3. Структура элементов миры

6. Ширина штрихов каждой миры убывает от элемента №1 к элементу №25 по закону геометрической прогрессии со знаменателем

$$\frac{1}{\sqrt[12]{2}} \approx 0,94.$$

7. Угловое расстояние между серединами соседних темных (или светлых) штрихов каждого элемента миры (α'') в секундах равно

$$\alpha'' = \frac{2a}{f'} 206\,265,$$

где a – ширина штриха, мм; f' – фокусное расстояние коллиматора, мм.

8. Число штрихов на 1 мм (R_N) для любого номера элемента миры

$$R_N = \frac{60}{B} K_N,$$

где B – длина базы миры, мм; K_N – коэффициент, зависящий от номера элемента ($K_N \sim 1,06^{N-1}$); N – номер элемента миры.

9. Значения коэффициента K_N элементов миры приведены в табл. П1.2.

Таблица П1.2

Номер элемента (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_N	1	1,06	1,12	1,19	1,26	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9

Продолжение табл. П1.2

Номер элемента (N)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
K_N	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4

10. Число штрихов в каждой группе элементов миры, их ширина и длина приведены в табл. П1.3.

Таблица П1.3

Номер элемента миры	Число штрихов в группе элемента	Миры, №					
		1	2	3	4	5	6
		Ширина штрихов, мкм при длине штрихов, мм					
		0,09	0,18	0,36	0,72	1,44	2,88
1	2	3	4	5	6	7	8
1	4	10,0	20,0	40,0	80,0	160,0	320
2	4	9,4	18,9	37,8	75,5	151,0	301
3	4	8,9	17,8	35,6	71,3	142,6	285
4	5	8,4	16,8	33,6	67,3	134,6	269
5	5	7,9	15,9	31,0	63,5	127,0	253
6	5	7,5	15,0	30,0	59,9	119,8	240
7	6	7,1	14,1	28,3	56,6	113,2	227
8	6	6,7	13,3	26,7	53,4	106,8	214
9	6	6,3	12,6	25,2	50,4	100,8	202
10	7	5,9	11,9	23,8	47,6	95,2	189
11	7	5,6	11,2	22,5	44,9	89,9	180
12	8	5,3	10,6	21,2	42,4	84,8	170
13	8	5,0	10,0	20,0	40,0	80,0	160,0
14	9	4,7	9,4	18,9	37,8	75,5	151,0
15	9	4,5	8,9	17,8	35,6	71,3	142,6
16	10	4,2	8,4	16,8	33,6	67,3	134,6
17	11	4,0	7,9	15,9	31,0	63,5	127,0
18	11	3,7	7,5	15,0	30,0	59,9	119,8
19	12	3,5	7,1	14,1	28,3	56,6	113,2
20	13	3,3	6,7	13,3	26,7	53,4	106,8

1	2	3	4	5	6	7	8
21	14	3,1	6,3	12,6	25,2	50,4	100,8
22	14	3,0	5,9	11,9	23,8	47,6	95,2
23	15	2,8	5,6	11,2	22,5	44,9	89,9
24	16	2,6	5,3	10,6	21,2	42,4	84,8
25	17	2,5	5,0	10,0	20,0	40,0	80,0

11. Значение углового расстояния α'' и числа штрихов R_N в зависимости от фокусного расстояния коллиматора приведены в табл. П1.4.

Таблица П1.4

Миры, №						Ширина штриха мкм	Число штрихов на 1мм R_N	Угловое расстояние между серединами соседних штрихов α'' при фокусном расстоянии коллиматора f' , мм						
1	2	3	4	5	6			600	1000	1200	1600	2500	3000	5000
Номера элементов								9	10	11	12	13	14	15
25						2,5	200	1,72	1,03	0,88	0,64	0,41	0,34	0,20
24						2,6	190	1,82	1,09	0,91	0,68	0,44	0,36	0,22
23						2,8	180	1,93	1,16	0,96	0,72	0,46	0,38	0,23
22						3,0	170	2,04	1,23	1,02	0,76	0,49	0,40	0,25
21						3,1	160	2,16	1,30	1,08	0,81	0,52	0,43	0,28
20						3,3	150	2,29	1,38	1,15	0,86	0,55	0,46	0,29
19						3,5	140	2,43	1,46	1,22	0,91	0,58	0,49	0,31
18						3,7	130	2,58	1,54	1,29	0,96	0,62	0,51	0,33
17						4,0	125	2,73	1,63	1,37	1,02	0,65	0,54	0,35
16						4,2	120	2,89	1,73	1,45	1,08	0,70	0,57	0,37
15						4,5	110	3,06	1,83	1,53	1,15	0,74	0,61	0,38
14						4,7	105	3,24	1,94	1,62	1,22	0,78	0,65	0,41
13	25					5,0	100	3,44	2,06	1,72	1,29	0,82	0,69	0,44
12	24					5,3	95	3,64	2,18	1,82	1,36	0,87	0,73	0,46
11	23					5,6	90	3,86	2,31	1,93	1,44	0,92	0,77	0,49
10	22					5,9	85	4,08	2,45	2,04	1,52	0,98	0,82	0,52
9	21					6,3	80	4,32	2,60	2,16	1,62	1,04	0,87	0,55
8	20					6,7	75	4,58	2,76	2,29	1,72	1,10	0,92	0,58
7	19					7,1	70	4,86	2,92	2,43	1,82	1,16	0,97	0,62
6	18					7,5	65	5,16	3,08	2,58	1,92	1,24	1,02	0,66
5	17					7,9	63	5,46	3,26	2,73	2,04	1,32	1,08	0,70
4	16					8,4	60	5,78	3,46	2,90	2,16	1,40	1,14	0,74
3	15					8,9	56	6,12	3,65	3,06	2,30	1,48	1,22	0,78
2	14					9,4	53	6,48	3,88	3,24	2,44	1,56	1,30	0,82
1	13	25				10,0	50	6,88	4,12	3,44	2,58	1,64	1,38	0,87
	12	24				10,6	47	7,28	4,35	3,64	2,72	1,74	1,46	0,92
	11	23				11,2	45	7,72	4,62	3,86	2,88	1,84	1,54	0,98
	10	22				11,9	42	8,16	4,90	4,08	3,04	1,96	1,64	1,04
	9	21				12,6	40	8,64	5,20	4,32	3,24	2,08	1,74	1,10
	8	20				13,3	38	9,16	5,52	4,58	3,44	2,20	1,84	1,16
	7	19				14,1	35	9,72	5,84	4,86	3,64	2,32	1,94	1,24
	6	18				15,0	33	10,3	6,16	5,16	3,84	2,48	2,04	1,32
	5	17				15,9	32	10,9	6,52	5,46	4,08	2,64	2,16	1,40
	4	16				16,8	30	11,5	6,92	5,80	4,32	2,80	2,28	1,48
	3	15				17,8	28	12,2	7,32	6,12	4,60	2,96	2,41	1,56
	2	14				18,9	26	12,9	7,76	6,48	4,88	3,12	2,60	1,64
	1	13	25			20,0	25	13,7	8,24	6,88	5,16	3,28	2,76	1,74
		12	24			21,2	24	14,5	8,72	7,28	5,44	3,48	2,92	1,84
		11	23			22,5	22	15,4	9,24	7,72	5,76	3,68	3,08	1,96
		10	22			23,8	21	16,3	9,80	8,16	6,08	3,92	3,28	2,08
		9	21			25,2	20	17,2	10,40	8,64	6,48	4,16	3,48	2,20

Окончание табл. П1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		8	20			26,7	19	18,3	11,04	9,16	6,88	4,40	3,68	2,32
		7	19			28,3	18	19,4	11,68	9,72	7,28	4,64	3,88	2,48
		6	18			30,0	17	20,6	12,32	10,28	7,64	4,96	4,08	2,64
		5	17			31,7	16	21,8	13,04	10,92	8,16	5,28	4,32	2,80
		4	16			33,6	15	23,1	13,84	11,60	8,64	5,60	4,56	2,96
		3	15			35,6	14	24,4	14,61	12,24	9,20	5,92	4,88	3,12
		2	14			37,8	13	25,9	15,52	12,96	9,76	6,24	5,20	3,28
		1	13	25		40,0	12,5	27,5	16,48	13,76	10,32	6,56	5,52	3,48
			12	24		42,4	12		17,44	14,56	10,88	6,96	5,84	3,68
			11	23		44,9	11		18,48	15,44	11,52	7,36	6,16	3,92
			10	22		47,6	10,5		19,60	16,32	12,16	7,84	6,56	4,16
			9	21		50,4	10		20,80	17,28	12,96	8,32	6,94	4,4
			8	20		53,4	9,4		21,9	18,3	13,70	8,8	7,4	4,7
			7	19		56,6	9		23,3	19,4	14,5	9,3	7,9	4,9
			6	18		59,9	8,4		24,6	20,7	15,4	9,9	8,3	5,2
			5	17		63,5	8		26,18	21,8	16,3	10,5	8,8	5,6
			4	16		67,3	7,4		27,7	23,2	17,2	11,1	9,3	5,9
			3	15		71,3	7		29,4	24,7	18,3	11,8	9,8	6,2
			2	14		75,5	6,6		31,1	25,9	19,4	12,4	10,4	6,6
			1	13	25	80,0	6,3		32,9	27,4	20,5	13,2	11,0	7,0
				12	24	84,8	6					14,0	11,7	7,4
				11	23	89,8	5,5					14,8	12,4	7,8
				10	22	95,2	5,2					15,7	13,2	8,3
				9	21	100,8	5					16,6	13,9	8,8
				8	20	106,8	4,7					17,6	14,7	9,4
				7	19	113,2	4,5					18,7	15,6	9,8
				6	18	119,8	4,2					19,7	16,5	10,5
				5	17	127,0	4					20,9	17,5	11,1
				4	16	134,6	3,7					22,1	18,6	11,8
				3	15	142,6	3,5					23,5	19,7	12,5
				2	14	151	3,3					24,9	20,8	13,2
				1	13	160	3,1					26,4	22,1	14,0
					12	170	2,9							14,8
					11	180	2,8							15,6
					10	189	2,7							16,7
					9	202	2,5							17,7
					8	214	2,3							18,7
					7	227	2,2							19,8
					6	240	2,0							20,8
					5	253	1,97							22,2
					4	269	1,86							23,5
					3	285	1,75							24,8
					2	301	1,66							26,4
					1	320	1,56							

12. Значения углового расстояния между отметками базы В миры в зависимости от фокусного расстояния коллиматора приведены в табл. П1.5.

Таблица П1.5

Миры, №	Угловое расстояние между отметками базы В миры при фокусном расстоянии коллиматора f' , мм						
	600	1000	1200	1600	2500	3000	5000
1	6'52"	4'7	3'26"	2'35"	1'39"	1'22"	49'30"
2	13 45	8 15	6 52	5 10	3 18	2 45	1 39
3	27 30	16 30	13 45	10 20	6 36	5 30	3 18
4		33 00	27 30	20 40	13 12	11 00	6 36
5					26 24	22 00	13 12
6							26 24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ МИКРОСКОПА С ОКУЛЯРОМ-МИКРОМЕТРОМ

Для определения цены деления микроскопа-микрометра применяют объект-микрометр (шкалу с ценой деления 0,01 мм).

Схема расположения элементов при определении цены деления микроскопа-микрометра приведена на рис. П2.1

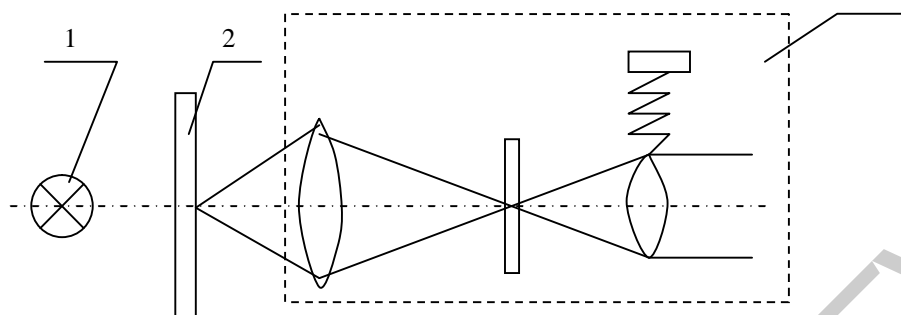


Рис. П2.1. К определению цены деления микроскопа-микрометра:
1 – источник света; 2 – объект-микрометр; 3 – микроскоп с окулярным микрометром

Последовательность операций:

1. Шкалу (объект-микрометр) освещают рассеянным светом.
2. Микроскоп фокусируют на четкое изображение шкалы.
3. Перекрестие шкалы окулярного микрометра последовательно совмещают с крайними штрихами выбранного интервала шкалы объект-микрометра (не менее десяти штрихов), вращая барабанчик окулярного микрометра.
4. Снимают отсчеты (не менее 5) по оцифрованной шкале, а затем по барабанчику окулярного микрометра – соответствующие совмещению перекрестия окулярного микрометра с крайними штрихами выбранного интервала шкалы объект-микрометра. Вычисляют среднее арифметическое значение разности полученных отсчетов ΔN .
5. Определяют цену деления микроскопа-микрометра по формуле

$$C = \frac{nC_1}{\Delta Nt},$$

где C_1 – цена деления объект-микрометра; n – число делений в выбранном интервале шкалы объект-микрометра; t – цена деления барабанчика окулярного микрометра (без объектива микроскопа).

Для окуляра-микрометра типа МОВ-1-15 по ГОСТ 7865-56 цена деления $t = 0,01$ мм.

ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНО-ЮСТИРОВОЧНЫЕ ПРИБОРЫ

Контрольно-юстировочные приборы применяются для контроля и юстировки оптических систем. Во многих случаях одни и те же приборы служат для решения обеих задач. Например, при помощи диоптрийной трубки юстируют, а также контролируют нуль диоптрий прибора и параллакс прибора со стороны окуляра.

Несмотря на большое разнообразие оптико-механических приборов по видам и конструкции, существуют некоторые общие методы юстировки и контроля. Соответственно приборы общего назначения служат для юстировки и контроля свойств, являющихся общими для всех приборов данного вида. Специальные приборы служат для юстировки и контроля свойств, присущих одному какому-либо прибору, и закрепляются за ним. Кроме того, специальные контрольно-юстировочные приборы широко применяются в серийном производстве и обычно комплектуются из приборов общего назначения. Для удобства пользования и повышения производительности техпроцесса как контрольно-юстировочные, так и испытываемые изделия устанавливают на специальных подставках, стойках и т.п.

Контрольно-юстировочные приборы большей частью являются оптическими приборами – это зрительные трубы, коллиматоры, микроскопы и т. п.

Точность юстировки зависит от чувствительности контрольно-юстировочных приборов. В свою очередь чувствительность зависит от свойств самих приборов, а в визуальных приборах – от свойств глаза.

Многие определения в процессе юстировки основаны на установке и наблюдении резкого изображения объекта. Нерезкость изображения зависит от остаточных погрешностей (аббераций), допущенных при расчете и сборке контрольных приборов. У контрольно-юстировочных приборов абберации должны быть ничтожно малы.

В области видимых лучей чувствительность глаза очень высокая. При юстировке используется чувствительность глаза к продольной и поперечной наводке. Установка глаза на определенное расстояние при продольной наводке подобна фокусировке приборов и происходит благодаря аккомодационной способности глаза. Глубина резко видимого пространства, выраженная в диоптриях, называется остротой аккомодации. При диаметре зрачка глаза 2 мм численное значение остроты аккомодации равно примерно 0,2 диоптрии.

При нормальной освещенности в процессе юстировки и контроля приборов диаметр зрачка глаза равен 2–3 мм и его разрешающая способность составляет 60". При большем диаметре зрачка разрешающая способность падает, так как увеличиваются абберации глаза и изображение ухудшается.

Точность поперечных установок при наблюдении невооруженным глазом зависит от вида шкал и объектов наблюдения. Так, при наведении нити на край солнечного или лунного диска точность установки равна 30–60". При совмещении концов штрихов шкалы в одну линию (отсчет шкалы по нониусу) чувствительность глаза составляет 10", т.е. в 6 раз выше.

Линейная точность при расстоянии наилучшего зрения в 250 мм равна $250 \cdot 10 \cdot 0,000005 = 0,012$ мм. Острота поперечных установок называется нониальной остротой. Она всегда выше разрешающей способности глаза.

Если видимое расстояние между штрихами шкалы ≥ 1 мм, то можно оценить положение индекса, лежащего между штрихами с точностью до 0,1 деления шкалы.

Глаз обладает свойством хорошо различать весьма малые одиночные объекты, например, тонкие черные нити на светлом фоне, светлые штрихи на темном фоне. Это свойство глаза используется при проверке чистоты оптических деталей. Через окуляр прибора на сетке видны точки и царапины, размеры которых составляют несколько мкм.

Вследствие адаптации глаз плохо чувствует абсолютное изменение освещенности, но он чрезвычайно чувствителен к разности освещенности двух рядом стоящих полей. Чувствительность глаза в этом случае составляет 3 %. На этом свойстве глаза основаны способ проверки качества изображения по миру и фотометрический способ наводки на резкость.

Зрительные трубки

Для повышения общего увеличения системы применяют *дополнительную зрительную трубку* (рис. ПЗ.1), представляющую собой телескопическую систему, состоящую из объектива 1, сетки 2 и окуляра 3. Трубки изготавливают с разными увеличениями от 3-х до 6-ти.

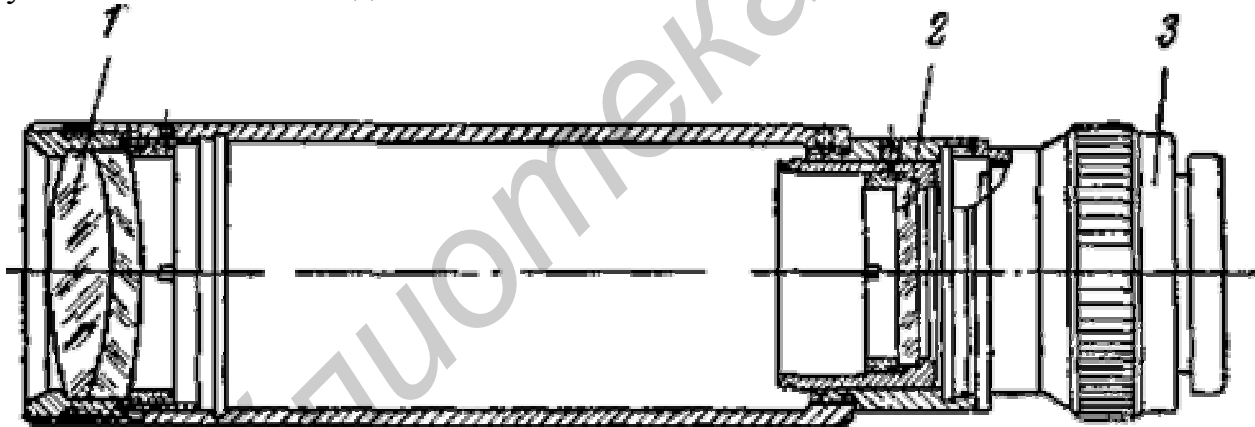


Рис. ПЗ.1. Дополнительная зрительная трубка

Фокусное расстояние объектива трубки, показанной на рис. ПЗ.1, равно 88 мм – увеличение 4^{\times} . Сетка 2 расположена в задней фокальной плоскости объектива 1 и обычно имеет перекрестие или штрихи и шкалы в зависимости от назначения трубки. Качество изображения трубок должно быть достаточно высоким. Окуляр трубки имеет диоптрийную наводку для установки на резкость изображения сетки 2 по глазу наблюдателя. Дополнительная трубка удерживается в руках за окуляром проверяемого прибора. При необходимости трубку устанавливают на специальной стойке, которая дает необходимые перемещения трубки.

Диоптрийная трубка (рис. ПЗ.2) применяется для определения сходимости входящих в нее пучков, диоптрийности систем, правильности установки нулевого деления диоптрийной шкалы окуляра, проверки цены делений шкалы и опреде-

ления параллакса в диоптриях со стороны окуляра прибора. Фокусировка трубки осуществляется перемещением объектива относительно неподвижного окуляра с сеткой. Перемещением объектива добиваются резкого изображения исследуемого объекта на неподвижной сетке.

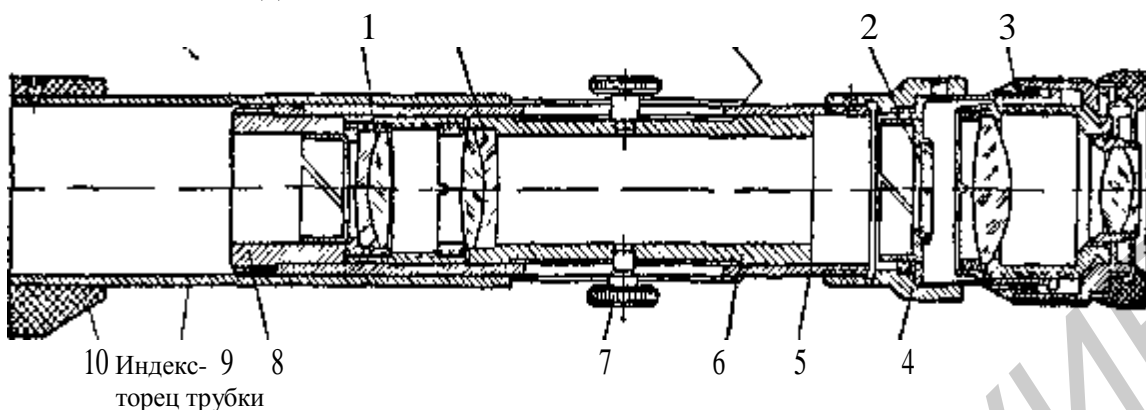


Рис. ПЗ.2. Диоптрийная трубка

Диоптрийная трубка (см. рис. ПЗ.2) представляет собой телескопическую систему 4-кратного увеличения и состоит из объектива 1, сетки 2 и окуляра 3 (фокусное расстояние объектива 80 мм, фокусное расстояние окуляра 20 мм, увеличение окуляра $12,5^x$). Окуляр имеет диоптрийную наводку в пределах ± 5 диоптрий для установки на резкость изображения сетки по глазу наблюдателя. Корпус окуляра с сеткой посредством переходного кольца 4 соединен с трубкой 5. Внутри этой трубки перемещается вдоль оси тубус 6 с закрепленным в нем объективом 1. Для измерения перемещения объектива в трубке 5 сделано окно со шкалой в диоптриях, а на трубке 6 нанесен индекс. Цена деления шкалы 0,25 диоптрий, предел измерения $\pm 2 D$ (или $\pm 2,5 D$) соответственно; наименьшее расстояние до предмета, на который может быть сфокусирована диоптрийная трубка, 500 или 400 мм. При нулевом положении продольной диоптрийной шкалы трубка служит для наблюдения удаленных предметов. Два винта 7 служат поводками и направляющими для перемещения тубуса объектива.

Расчет шкалы диоптрийной трубки производят по формуле

$$n = \frac{f'^2}{\frac{1000}{N_D} - \Delta + f'}$$

где n – линейные размеры делений шкалы, мм при N_D в диоптриях; Δ – расстояние, мм от торца трубки 5 до передней поверхности объектива трубки, когда объектив установлен на нулевой отсчет по шкале диоптрийной трубки; f' – фокусное расстояние объектива диоптрийной трубки.

Шкала диоптрийной наводки получается неравномерной: плюсовые диоптрийные деления от нуля убывают, а минусовые возрастают. Диоптрийная трубка должна показывать «+» диоптрий, когда объектив приближается к окуляру, и «-» диоптрий, когда объектив удаляется от окуляра. Установка дополнительного объектива 1 превращает трубку в микроскоп – *динаметр*, т.е. в прибор, служащий для измерения размеров зрачков выхода и удаления зрачка выхода от наружной поверхности окуляра.

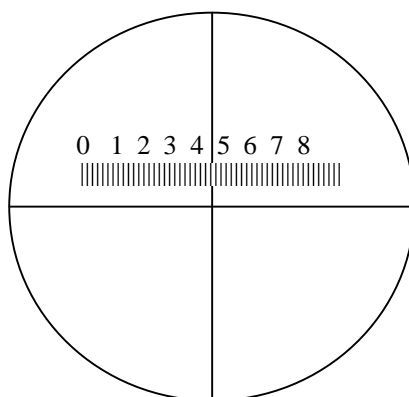


Рис. П3.3. Сетка диоптрийной трубки
(перекрестия – трубка, шкала – динаметр)

Для этого в тубус 6 ввинчивают оправу 8 со вторым объективом 1. Дополнительная линза превращает телескопическую систему в микроскоп, увеличение объектива микроскопа составляет 1^x , а общее увеличение микроскопа равно увеличению окуляра – $12,5^x$.

Для определения размера выходных зрачков сетка трубки имеет шкалу от 0 до 8 мм с ценой делений 0,1 мм (рис. П.3.3). Для проверки удаления выходного зрачка на трубке 5 установлена трубка 9 с насадкой 10, служащей для упора в проверяемый окуляр. На трубке 5 с противоположной стороны диоптрийной шкалы нанесена шкала с делениями от 0 до 70 мм через один миллиметр.

Коллиматоры для проверки разрешающей силы и качества изображения

Для определения предела разрешения и качества изображения приборов применяются коллиматоры, в которых вместо сетки установлена мира – штриховая испытательная таблица, в которой расстояние между штрихами меняется по определенному закону. Параметры мир см. в прил.1.

Мира должна быть равномерно освещена.

Во многих случаях качество изображения объективов и приборов проверяют по дифракционному изображению светящейся точки. Для этого в коллиматоре вместо сетки устанавливают станиолевую пластинку, в которой прокалывают небольшое отверстие. Светящаяся точка называется искусственной звездой.

Для получения дифракционного изображения светящейся точки ее диаметр в угловой мере должен быть менее разрешающей силы объектива коллиматора, т. е. должно быть обеспечено неравенство

$$\frac{d206000}{f_k} \leq \frac{138}{D_k}, \text{ откуда } d \leq \frac{138f_k}{206000D_k},$$

где d – диаметр отверстия в станиолевой пластинке; f_k – фокусное расстояние объектива коллиматора; D_k – диаметр свободного отверстия объектива коллиматора.

Искусственная звезда должна быть ярко освещена; в данном случае ее нельзя освещать рассеянным светом (через матовую пластинку). На отверстие в станиолевой пластинке следует проектировать нить накаливания электролампочки, для чего применяют конденсор.

Широкоугольные коллиматоры применяются для проверки угла поля зрения приборов, отсчетов и мертвых ходов механизмов при небольших углах визирования, эксцентриситета и цены деления сеток.

На рис. ПЗ.4 показан широкоугольный коллиматор с объективом «Индустар» И-51. Угол поля зрения объектива $2\beta = 45^\circ$, фокусное расстояние объектива равно 210 мм, относительное отверстие 1:4,5. Коллиматор состоит из объектива 1, сетки 5 и защитного стекла 6. Плоскость сетки устанавливают в отвесное положение с помощью винтов 7 и уровней 2 и 4, укрепленных на корпусе. Сетка коллиматора имеет две шкалы – в градусах с ценой деления 5' и в тысячных дистанции с ценой деления 00–01 (3,6'). Для возможности проверки угла поля зрения прибора в горизонтальном и вертикальном направлениях коллиматор при отвернутом винте 3 поворачивается на 90° , сетка соответственно располагается горизонтально или вертикально.

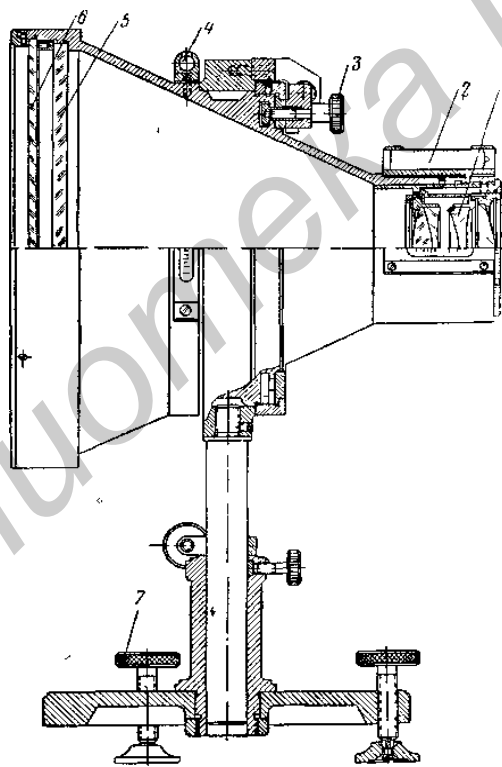


Рис. ПЗ.4. Широкоугольный коллиматор

Учебное издание

Видмант Феликс Викентьевич
Шахлевич Григорий Михайлович

Технология электронно-оптических систем

Лабораторный практикум
для студентов специальности I-36 04 01
«Электронно-оптические системы и технологии»
дневной формы обучения

Редактор Т. П. Андрейченко
Корректор М. В. Тезина

Подписано в печать 19.03.2008.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 2,5.

Формат 60×84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 3,14.
Заказ 371.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6