

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»  
( СГУГиТ)

Кафедра Наносистемы и оптотехника  
(полное название выпускающей кафедры)

Бакалаврская работа соответствует установленным  
требованиям и направляется в ГЭК для защиты

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ /Д.В. Чесноков/  
(подпись)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

12.03.02 – Оптотехника

### УСТАНОВКА ДЛЯ ЮСТИРОВКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ БИНОКУЛЯРНЫХ ПРИБОРОВ

Выпускник \_\_\_\_\_ И. А. Таракановский  
(подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_ О. К. Ушаков  
(подпись)

Нормоконтролёр \_\_\_\_\_ И. О. Михайлов  
(подпись)

Новосибирск - 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего образования  
 «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ  
 И ТЕХНОЛОГИЙ»  
 (СГУГиТ)

УТВЕРЖДАЮ  
 Зав. кафедрой  
 наносистем и оптотехники  
 \_\_\_\_\_ /Д.В. Чесноков/  
 « \_\_\_\_\_ » декабря 2015 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
 в форме бакалаврской работы  
 (бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту (ке) Таракановскому Ивану Анатольевичу  
 Группа 4ОТ-с Институт ИДО  
 Направление (специальность) 12.03.02 Оптотехника  
 (код, наименование)

Код квалификации 062 Степень или квалификация бакалавр  
 Тема ВКР Установка для юстировки параллельности оптических осей бино-  
кулярных приборов

Руководитель Ушаков Олег Кузьмич  
 Ученое звание, ученая степень руководителя доцент, к.т.н.  
 Место работы, должность руководителя СГУГиТ, доцент кафедры Н и О

Срок сдачи полностью оформленного задания на кафедру \_\_\_\_\_  
 Задание на ВКР (перечень рассматриваемых вопросов):  
Разработать установку для юстировки параллельности оптических осей би-  
нокулярных приборов. Установка должна позволять контролировать расхо-  
димосьть лучей за окулярными диапазонами в горизонтальной плоскости,  $0.33^\circ$  на  
дивергенцию и  $1^\circ$  на конвергенцию в вертикальной плоскости  $\pm 0.25^\circ$ . Расстояние  
между зрачками 52-74 мм. Диоптрийная подвижность  $\pm 5$  дптр. Установка работает  
от сети с частотой 50 Гц в лабораторных условиях

Перечень графического материала с указанием основных чертежей и (или) иллю-  
 стративного материала (формат А1): \_\_\_\_\_  
 1 Общий вид установки

2 Оптико-кинематическая схема установки

3 Основные сборочные единицы установки

4 Схема юстировки

5 Особенности юстировки биноккулярных приборов

Исходные данные к ВКР (перечень основных материалов, собранных в период преддипломной практики или выданных руководителем) \_\_\_\_\_

Г.В. Погарев «Юстировка оптических приборов»

#### ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВКР

№ этапа	Этапы ВКР	Срок исполнения
1	Начало выполнения ВКР	09.11.2015
2	Подбор литературы и исходных материалов	04.12.2015
3	Выполнение исследовательских, экспериментальных, <u>расчетных работ</u> (нужное подчеркнуть)	
4	Выполнение графических (иллюстративных) работ	01.01.2016
5	Текстовая часть ВКР (указать ориентировочные названия разделов и конкретные сроки их написания)	01.01.2016
	Введение	09.11.2015
	Телескопические системы	10.11.2015
	Юстировка оптических приборов	12.11.2015
	Габаритный расчет	18.11.2015
	Заключение	25.11.2015
6	Первый просмотр руководителем	01.12.2015
7	Второй просмотр руководителем	10.01.2016
8	Срок сдачи ВКР на кафедру	30.01.2016

«4» декабря 2015 г.

Руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Задание принял к исполнению и с графиком согласен \_\_\_\_\_  
(подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Таракановский Иван Анатольевич. Установка для юстировки параллельности оптических осей бинокулярных приборов.

Место дипломирования: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, кафедра наносистем и оптотехники

Руководитель - канд. тех. наук., доцент СГУГиТ Ушаков О.К.

2013 г., специальность 12.03.02 «Оптико-электронные приборы и системы»,

квалификация 062 - Бакалавр

54 с., 5 табл., 13 рис., 25 источников.

В работе рассчитан прибор для юстировки параллельности оптических осей бинокуляров. Проведен анализ научной литературы по оптическим схемам проведен габаритный и светотехнический расчеты прибора. Разработана методика юстировки прибора.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПРИБОРАМ НАБЛЮДЕНИЯ.....	7
1.1 Телескопическая система .....	7
1.2 Юстировка оптических приборов .....	8
1.2.1 Назначение юстировки .....	8
1.2.2 Основные юстировочные операции .....	10
1.2.3 Особенности юстировки биноккулярных приборов .....	12
1.3 Коллиматор Захарьевского.....	17
1.4 Разработка методики юстировки и контроля автоколлимационной проекционной установки Захарьевского для регулировки биноклей при сборке.....	21
2 ГАБАРИТНЫЙ РАСЧЕТ .....	27
2.1 Выбор объектива.....	27
2.2 Расчет призмы и ее положения.....	30
2.3 Светоэнергетический расчет системы.....	33
2.4 Выбор покрытий оптических деталей.....	34
2.5 Выбор защитных покрытий.....	37
2.6 Выбор просветляющих покрытий.....	38
2.7 Расчет осветительной системы.....	39
2.8 Выбор конструкционных материалов.....	42
2.8.1 Классификация и маркировка цветных сплавов.....	42
2.8.2 Выбор антикоррозионных покрытий.....	47
2.9 Конструкторские расчеты.....	48
2.9.1 Расчет оправы объектива.....	48
2.9.2 Расчет оправы зеркала.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	52
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	53

## ВВЕДЕНИЕ

Способность человека при одновременном наблюдении обоими глазами воспринимать относительное удаление предметов, то есть их взаимное расположение по глубине, называется стереоскопическим зрением. При наблюдении какого-либо объекта, расположенного на конечном расстоянии, глаза занимают такое положение, при котором их главные оптические оси пересекаются в точке расположения объекта.

Бинокулярные зрительные трубы, в том числе и бинокли, уменьшают утомляемость глаз и облегчают стереоскопическое восприятие. При этом радиус стереоскопического зрения возрастает за счет увеличения прибора и увеличения базы.

Телескопическими системами или зрительными трубами называются оптические системы, предназначенные для наблюдения далеких предметов.

К телескопическим системам относятся системы геодезических приборов (теодолит, нивелир и др.), астрономических труб, наблюдательных приборов (бинокли, перископы, дальномеры и т.п.). Телескопические системы работают совместно с глазом наблюдателя, поэтому их еще называют зрительными трубами.

Так как рассматриваемый предмет весьма удален, то можно считать, что лучи, выходящие из любой точки предмета, входят в телескопическую систему параллельными пучками. Для того чтобы глаз наблюдателя без аккомодации видел резко изображение предмета, необходимо, чтобы из телескопической системы выходили также параллельные пучки лучей.

# 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ НА ТЕМУ: «УСТАНОВКА ДЛЯ ЮСТИРОВКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ БИНОКУЛЯРНЫХ ПРИБОРОВ»

## 1.1 Телескопические системы

Телескопические системы предназначены для наблюдения далеких предметов.

Принцип действия телескопической системы состоит в том, что, если от двух точек удаленного предмета в нее поступают два пучка параллельных лучей и угол между пучками равен  $\omega$ , то на выходе телескопической системы лучи останутся параллельными, но угол между пучками изменится и будет равен  $\omega'$ . Если  $\omega' > \omega$ , то глаз наблюдателя увидит изображение предмета под большим углом зрения, т.е. предмет будет казаться приближенным к наблюдателю.

Телескопическая система, как минимум, должна состоять из двух компонентов – объектива и окуляра. Чтобы параллельные лучи пучков в пространстве предметов были параллельными и в пространстве изображений, необходимо совместить задний фокус объектива с передним фокусом окуляра, при этом оптический интервал  $\Delta$  будет равен нулю.

Основными оптическими характеристиками телескопической системы является увеличение  $\Gamma_T$ , угловое поле  $2\omega$ , диаметр выходного зрачка  $D'$ , удаление выходного зрачка от последней поверхности окуляра  $S'_{P'}$  и разрешающая способность  $\psi$ .

Увеличением телескопической системы называется отношение тангенса угла, под которым глаз наблюдателя видит изображение, образованное оптической системой, к тангенсу угла, под которым предмет виден невооруженным глазом. Если это отношение положительно, то оптическая система образует прямое изображение, если же оно отрицательно, то изображение будет перевернутым (обратным). Для телескопической системы увеличение может быть выражено отношением диаметров входного  $D$  и выходного  $D'$  зрачков. В простой телескопической сис-

теме апертурной диафрагмой, как правило, является оправа объектива, следовательно, входной зрачок совпадает с самой апертурной диафрагмой. Выходным зрачком будет изображение апертурной диафрагмы, даваемое окуляром.

Простые телескопические системы бывают двух типов [1], которые различаются знаком фокусного расстояния окуляра. Если окуляр имеет положительное фокусное расстояние, то такая телескопическая система называется системой Кеплера (рисунок 1, а); если же применяем окуляр с отрицательным фокусным расстоянием, то такая телескопическая система называется системой Галилея (рисунок 1, б). Большинство телескопических систем имеют положительные окуляры.

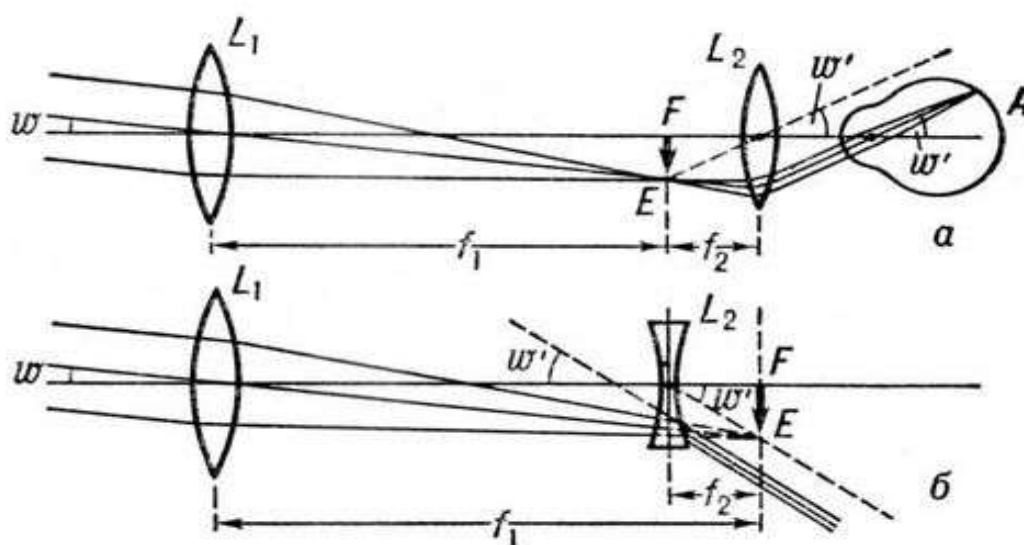


Рисунок 1- Ход лучей в зрительной трубе: а) труба Кеплера; б) труба Галилея

## 1.2 Юстировка оптических приборов

### 1.2.1 Назначение юстировки

Во всех случаях, когда не обеспечивается полная геометрическая и физическая взаимозаменяемость деталей и узлов при сборке оптических приборов, приходится прибегать к юстировке, с помощью которой достигается правильное вза-

имное положение, взаимодействие и относительное перемещение частей и систем юстируемых приборов.

Юстировка необходима в следующих случаях:

- заданы жесткие допуски на замыкающее звено размерной цепи;
- имеются длинные размерные цепи, число звеньев в которых достигает иногда нескольких десятков;
- сборочные базы не вполне определены или недостаточно точны;
- в процессе эксплуатации нарушается рабочее состояние прибора.

Конечной задачей юстировки является обеспечение требований технических условий на прибор, т.е. обеспечение оптических характеристик и точности отсчета прибора, если таковой имеется.

Юстировка сборочных единиц или прибора в целом производится в три этапа:

- контроль, т.е. выявление в результате измерений или наблюдений тех ошибок или дефектов, которые подлежат устранению при юстировке;
- юстировка, т.е. устранение в наиболее целесообразной последовательности выявленных ошибок и дефектов соответствующими подвижками деталей или изменением их физических свойств;
- закрепление деталей и фиксация их правильного взаимоположения, достигнутого в результате юстировки.

Юстировку чисто условно можно разделить на геометрическую и специальную.

Геометрическая юстировка предназначена для того, чтобы правильно взаимно расположить основные оптические сборочные единицы и детали. Она включает решение трех основных задач:

- фокусировку изображения, устранение параллакса шкал и сеток, регулировку масштаба изображения или увеличения оптической системы;
- центрирование сборочных единиц оптической системы относительно заданных направлений или осей;

- ориентирование изображения или траектории его перемещения в поле зрения системы относительно заданного направления или заданной линии.

Задачи первой группы решаются за счет изменения расстояний между силовыми элементами оптической системы путем их продольных подвижек.

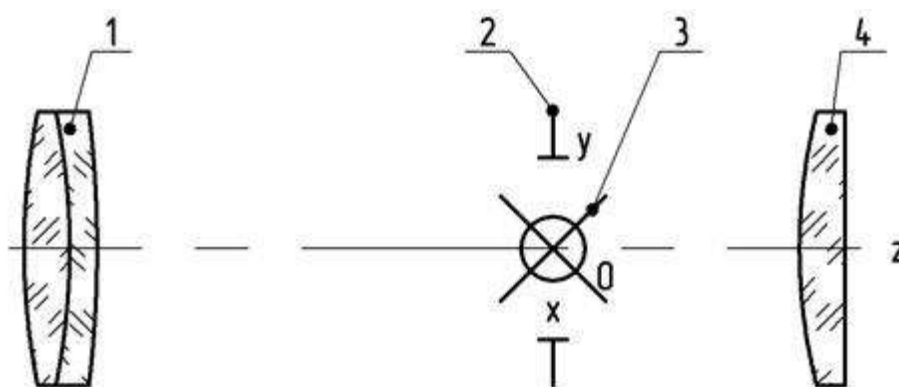
Задачи второй группы решаются с помощью поперечных сдвигов силовых элементов или с помощью сдвигов и наклонов отражающих поверхностей вокруг поперечных осей.

Задачи третьей группы решаются, главным образом, путем поворота зеркально-призменных систем вокруг продольных осей.

Специальная юстировка предназначена для приведения прибора в рабочее состояние, чтобы он удовлетворял всем требованиям технических условий.

### 1.2.2 Основные юстировочные операции

На рисунке 2 приведена схема центрированной оптической системы.



1 – объектив; 2 – полевая диафрагмы; 3 – сетка; 4 – окуляр

Рисунок 2- Схема центрированной оптической системы

Оптическая система состоит из объектива 1, полевой диафрагмы 2, сетки 3 и окуляра 4 в координационной системе  $XYZ$  с началом  $O$  в центре поля зрения. Оси центрированной оптической системы – горизонтальная  $X$  и вертикальная  $Y$

совпадают с плоскостью полевой диафрагмы, а ось  $Z$  перпендикулярна ей, т. е. совпадает с оптической осью системы.

Возможные поперечные сдвиги, продольные перемещения и наклоны объектива, а также повороты плоскости изображения и перекрестия, вызванные погрешностями сборки, приведут к следующим дефектам в поле зрения прибора:

- сдвиг объектива на величину  $\Delta x$  вдоль горизонтальной оси  $X$  вызовет того же размера и направления децентрировку 2-го рода частей системы – взаимный сдвиг их оптических осей, а также соответствующие отклонения узловой и визирной осей.

Если оптическая система представляет собой, например, телескопическую систему, то угол отклонения узловой оси  $\beta_y$  будет равен:

$$\beta_y = \Delta_x (f'_{об} + f'_{ок}), \quad (1)$$

где  $f'_{об}$  - фокусное расстояние объектива;

$f'_{ок}$  – фокусное расстояние окуляра.

Угол отклонения визирной оси  $\beta_v$  будет равен:

$$\beta_v = \Delta_x / f'_{об}, \quad (2)$$

- сдвиг объектива на величину  $\Delta y$  вдоль вертикальной оси  $Y$  вызовет те же дефекты, что и сдвиг  $\Delta x$ , но по вертикали.

- смещение объектива (или сетки) на величину  $\Delta z$  вдоль оси  $Z$  вызовет того же размера расфокусировку и параллакс, а также рен-погрешность масштаба.

- наклон объектива, а вместе с ним плоскости изображения на угол  $\alpha$  вокруг горизонтальной оси  $X$  вызовет того же размера и направления децентрировку 1-го рода частей системы – взаимный наклон их оптических осей, что приведет к снижению качества изображения и к появлению дисторсии, а также линейно возрастающих по вертикали расфокусировки и параллакса.

- наклон объектива и плоскости изображения на угол  $\beta$  вокруг вертикальной оси  $Y$  вызовет те же дефекты, что и наклон на угол  $\alpha$ , но в горизонтальном направлении.

- поворот изображения на угол  $\gamma$  вокруг оси  $Z$  (за счет, например, погрешностей установки зеркально-призменной системы, расположенной до сетки) или же разворот самой сетки является дефектом, который регламентируется допусками.

Процесс устранения в определенной последовательности перечисленных дефектов при сборке оптических приборов состоит из ряда типовых юстировочных операций:

- продольными смещениями объектива или сетки устраняют расфокусировку  $\Delta z$ , так как, только получив резкое изображение, можно выявить и все остальные его дефекты;

- устраняют поперечные взаимные сдвиги  $\Delta x$  и  $\Delta y$  объектива и окуляра;

- устраняют поворот изображения и разворот сетки соответствующими наклонами элементов, вызывающих эти дефекты (чаще всего зеркально-призменные элементы);

- юстируют качество изображения системы.

Качество изображения зависит не только от точного взаимного центрирования частей системы, но и от правильных размеров воздушных промежутков между их элементами, а также от погрешностей изготовления и сборочных деформаций рабочих оптических поверхностей, натяжений и дефектов оптических материалов.

### 1.2.3 Особенности юстировки бинокулярных приборов

Бинокулярные приборы уменьшают утомляемость глаза и увеличивают пределы его стереоскопического действия. В них предусмотрена возможность компенсации аметропии и неравенства аметропий. Они отличаются высокой точностью продольных и поперечных установок.

Основным свойством любого бинокулярного телескопического прибора является параллельность оптических осей обеих его частей.

Обычно расстояние между зрачками от  $b_{min} = 56$  мм. до  $b_{max} = 70$  мм. При этом отсчеты по шкале межзрачковых расстояний должны с точностью до  $\pm 1$  мм соответствовать расстоянию  $b$  между центрами выходных зрачков прибора. Диоптрийная установка окуляров раздельная и равна  $\pm 5$  дптр.

Если два пучка лучей, идущих от бесконечно удаленного предмета, входят в правую и левую части бинокулярного прибора, то после выхода из окуляров оси должны оставаться параллельными между собой.

Непараллельность выходящих пучков лучей возникает при децентрировке оптической системы обеих или одной из частей бинокулярного прибора или при перекосе оптической оси относительно оси вращения труб или окуляров прибора.

Предположим, что в объективы трубок 1 и 2 двух бинокулярных приборов входят параллельные пучки лучей, идущие из бесконечности. Оптические оси  $O_1C_1$  и  $O_2C_2$  этих трубок расположены под углами  $\omega$  (рисунок 3, а) и  $(-\omega)$  (рисунок 3, б).

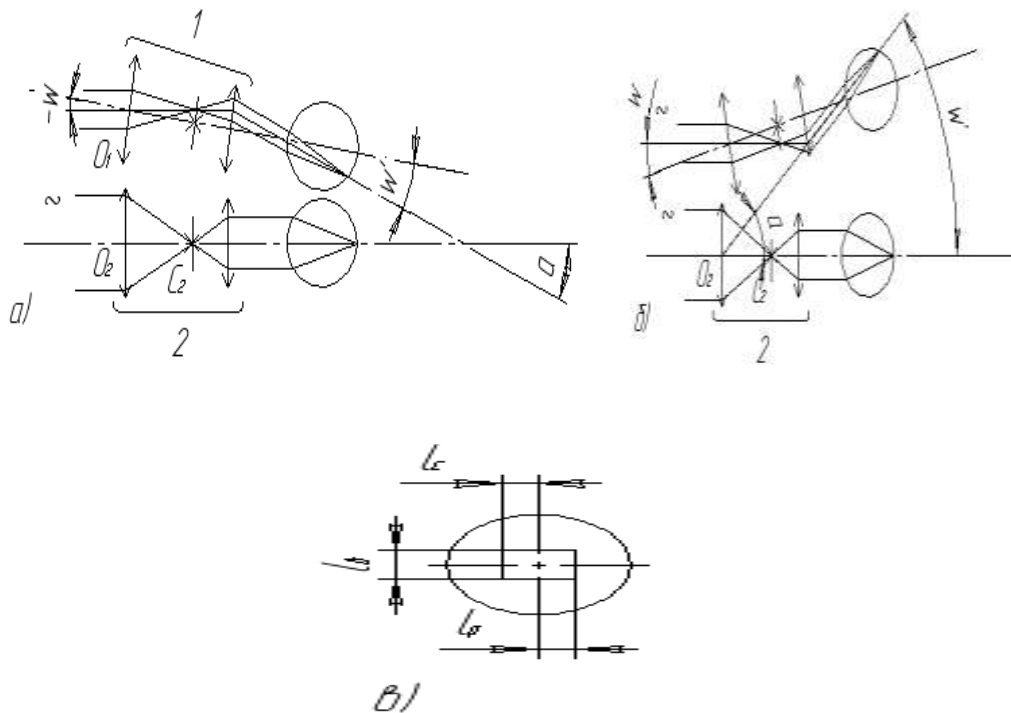


Рисунок 3- Непараллельность выходящих пучков лучей

Лучи в трубке 1 выйдут из окуляра под углом  $\omega'$  к своей оси и под углом  $\alpha$  к оси трубки 2. При этом ось правого глаза 3 повернется под углом  $\alpha$  к оси трубки 2 (вправо – рисунок 3, а и влево – рисунок 3, б).

Если угол  $\alpha$  невелик, то оси глаз благодаря свойству конвергенции установятся по направлению пучков лучей, выходящих из окуляров. При этом оба изображения сливаются в одно.

Если угол  $\alpha$  велик, то глаза не в состоянии соединить оба изображения в одно, и наблюдатель будет видеть два изображения предмета, смещенных одно относительно другого. В этом случае говорят, что прибор двоит.

Допустимая непараллельность осей перед объективом  $\omega$  зависит от величины допустимого угла  $\alpha$ , при котором глаза способны видеть только одно изображение предмета. Соблюдая правила знаков геометрической оптики, можно определить, что  $\alpha = -\omega + \omega'$ .

Но, так как  $\omega' = \Gamma\omega$ , то  $\alpha = \omega(\Gamma - 1)$ , откуда:

$$\omega = \alpha / (\Gamma - 1), \quad (3)$$

где  $\Gamma$  – увеличение, крат.

Глаза легче сводят изображения по горизонту, чем по вертикали, поэтому в горизонтальной плоскости допустимый угол больше, чем в вертикальном направлении.

Возможность сведения осей глаз в горизонтальной плоскости значительно больше, чем возможность разведения. Поле допусков на параллельность оптических осей бинокулярных приборов будет иметь вид прямоугольника (рисунок 3, в).

Непараллельность лучей после выхода из двух окуляров может быть допущена в следующих пределах:

- схождение  $\alpha_c$  в горизонтальной плоскости не более  $60'$ ;
- расхождение в горизонтальной плоскости  $\alpha_p$  не более  $20'$ ;
- расхождение по вертикали  $\alpha_b$  не более  $15'$ .

Непараллельность оптических осей в бинокулярных приборах зависит от следующих причин:

- взаимного смещения изображений;
- разности увеличений и параллаксов;
- взаимного перекоса изображений.

Смещение изображения одной части бинокулярного прибора относительно изображения другой его части зависит от неправильного расположения объективов, призм, окуляров и линз оборачивающих систем.

Следовательно, устранить непараллельность оптических осей можно перемещением объектива, призм, окуляров и т. д.

Перемещение объектива достигается в большинстве случаев с помощью эксцентриковой оправы.

Но необходимо иметь в виду, что значительное перемещение объектива вызывает децентрирование системы и ухудшение качества изображения прибора. Грубую непараллельность осей устраняют передвиганием призм или оптических деталей, вызвавших непараллельность оптических осей, а точную юстировку выполняют поперечным смещением объектива.

Необходимую величину эксцентриситета для оправ объективов рассчитывают по формуле (4), полагая, что наиболее благоприятный случай – это смещение изображения за окуляром в горизонтальной плоскости :

$$e = f'_{об} \cdot \alpha_{\Gamma} / (\Gamma - 1), \quad (4)$$

где  $\alpha_{\Gamma}$  – допуск на расхождение оптических осей в горизонтальной плоскости.

Поворот призм вокруг оси, перпендикулярной ребру отражающего угла и параллельной преломляющей грани призмы, вызывает нарушение параллельности осей в плоскости, перпендикулярной главному сечению призмы.

Непараллельность осей со стороны окуляра:

$$\alpha = 2\beta \cdot l / f'_{\text{ок}}, \quad (5)$$

где  $\beta$  – угол поворота призмы;

$l$  – расстояние до призмы от фокальной плоскости объектива.

Основные требования к бинокулярным приборам с учетом условий стереоскопического наблюдения можно сформулировать в общем виде следующим образом [22].

1) Приборы должны быть пригодны для наблюдателей с расстоянием между глазами от  $\delta_{\text{min}} = 52$  мм до  $\delta_{\text{max}} = 74$  мм.

2) В приборах должна быть предусмотрена возможность коррекции аметропии обоих глаз наблюдателя в пределах не менее  $\pm 5$  дптр, а также возможность коррекции анизометропии в пределах не менее  $\pm 3$  дптр.

3) При любом расстоянии между центрами выходных зрачков, а также при любой диоптрийной установке окуляров в приборах должно выдерживаться соответствие между расстоянием до изображений предметов и углом между осями выходящих пучков лучей. Для телескопических бинокулярных труб оси пучков лучей, выходящих из обоих окуляров от одной и той же точки предмета, должны быть параллельны между собой в пределах следующих допусков: в горизонтальной плоскости при конвергенции осей – не более  $60'$ ; при дивергенции осей – не более  $20'$ ; в вертикальной плоскости – не более  $15'$ .

4) Увеличения оптических систем бинокулярного прибора должны быть одинаковыми. Относительная разность их увеличения не должна превышать 2 %, если угловое поле зрения окуляров не превосходит  $50^\circ$ , и 1,5 % - если поле зрения более  $50^\circ$ .

5) Изображения в оптических системах не должны иметь перекоса. Алгебраическая разность углов поворота изображений вокруг оптических осей у двух систем бинокулярного прибора по абсолютному значению не должна быть более  $30'$ .

Предъявляются также и другие, менее существенные требования, которые, однако, оказываются сложными для выполнения. Требуется, например, чтобы торцы окулярных наглазников при установке нулевых отсчетов на диоптрийных шкалах обоих приборов были на одинаковой высоте с отклонением не более чем на 2 мм.

Требования 1-3 выполняются конструктивно в различных бинокулярных приборах по-разному.

### 1.3 Коллиматор Захарьевского

Коллиматор применяется для контроля параллельности осей монокуляров бинокля, а также их разности увеличений.

Коллиматор Захарьевского отличается нерасстраиваемостью и позволяет выполнять контроль и юстировку быстро и производительно.

Коллиматор проекционного типа системы Захарьевского отличается многими важными преимуществами. Схема его очень проста. Он состоит из двух линз: коллиматорной  $O_k$ , диаметр которой должен быть больше 160 мм, и проекционной  $O_n$  диаметром не меньше 80 мм и с фокусным расстоянием около метра.

Коллиматор не расстраивается и не нуждается в поверках. Это обеспечено тем, что ход лучей в через все основные детали коллиматора является общим для обеих трубок бинокля. Поэтому сдвиги этих деталей приводят лишь к совместному сдвигу бликов  $S'_{лев}$  и  $S_{прав}$  по экрану без изменения их взаимоположения.

Коллиматор является универсальным: он пригоден для биноклей с любой предметной базой, любых конструкций и может быть применен для контроля всех основных требований к биноклю. Кроме параллельности оптических осей на коллиматоре легко проверить разность увеличений  $\Delta\Gamma/\Gamma$  и перекос изображений  $\alpha'_n$  в трубках, установку нуля диоптрийных шкал окуляров, наличие зазоров в шарнире и в окулярах (рисунок 4).

После устранения непараллельности оптических осей труб блики  $S'_{лев}$  и  $S'_{пр}$  будут совмещены друг с другом. Если при наклоне бинокля блики не только пе-

реместятся по экрану, например вертикально вниз или вверх на расстояние  $a$ , но еще и разойдутся по высоте на  $\Delta a_{\text{прод}}$  и в сторону на  $\Delta a_{\text{попер}}$ , то значит, имеется разность увеличений в трубах  $\Delta\Gamma/\Gamma$  и перекося изображений  $a'_п$ . Величина  $\Delta a_{\text{прод}}$  является мерой разности увеличений, которая равна:

$$\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = \frac{\Delta a_{\text{прод}}}{a} \frac{\Gamma-1}{\Gamma} 100 \%, \quad (6)$$

а величина  $\Delta a_{\text{попер}}$  – мерой перекося изображений, причем

$$a'_к = \frac{\Delta a_{\text{попер}}}{a} \frac{\Gamma-1}{\Gamma} 3440. \quad (7)$$

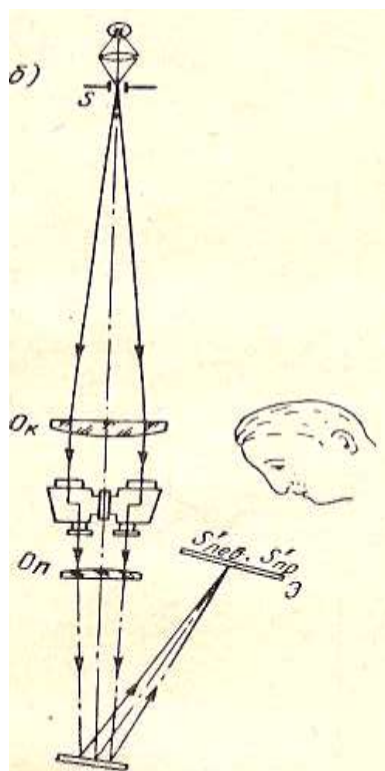


Рисунок 4 - Схема проекционного коллиматора  
Захарьевского для контроля биноклей

Оптическая схема коллиматора (рисунок 5) включает в себя осветительную и проекционную системы. Лучи от источника света 1, пройдя конденсор 2, освеща-

ют точечную диафрагму 3, расположенную в фокальной плоскости объектива 6. Призма 4 изменяет ход лучей на  $90^\circ$  и направляет их на зеркало 5, а затем они попадают на объектив 6 и выходят параллельным пучком лучей. Между объективом 6 и зеркалом 7 устанавливается проверяемый бинокль. После отражения от зеркал 7 и 5 изображение точечной диафрагмы строится на матовом экране 8, расположенном в фокальной плоскости объектива. На экране нанесена допусковая сетка.

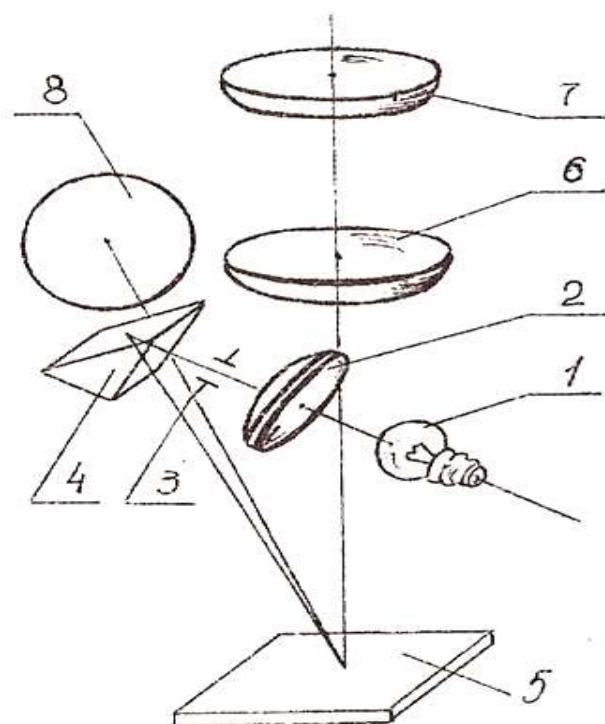


Рисунок 5 - Оптическая схема коллиматора

Внешний вид коллиматора представлен на рисунке 6.

На кронштейне 1 размещены зеркало 2 и механизм крепления бинокля 3. Бинокль шарниром устанавливают в зажим 3 и закрепляют винтом 6. Объективы бинокля при этом направлены в сторону зеркала 2. При помощи маховичков 4 и 5 юстируемый прибор можно перемещать в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Винтом 6 механизма крепления бинокля регулируют зажим 3. В корпусе 7 размещается осветительная система, а на крышке корпуса – объектив 9 и экран 8(рисунок 6).

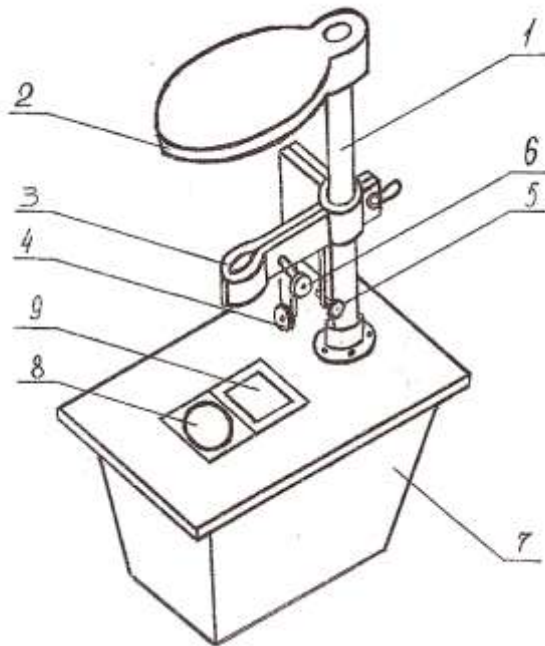


Рисунок 6 - Внешний вид коллиматора

Контроль параллельности осей и разности увеличений монокуляров бинокля

Испытуемый бинокль помещается в параллельном ходе лучей между зеркалом 7 и объективом 6. Каждая из труб прибора дает на экране увеличенное изображение  $S'_{лев}$  и  $S'_{пр}$  отверстий диафрагмы. Эти два блика совпадают друг с другом, если оси монокуляров параллельны. В противном случае, на экране видны два блика, расстояние «а» между которыми не должно превышать размера допустимого квадрата (рисунок 7). Если расстояние «а» выходит за рамки квадрата, то такой прибор не пригоден для эксплуатации и его следует юстировать.

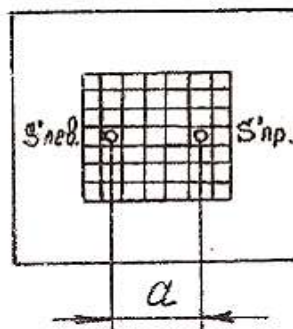


Рисунок 7 - Вид поля зрения

При контроле разности увеличений бинокль следует повернуть в направлении «на себя», при этом, если есть разность увеличений, то расстояние между изображениями точечных диафрагм будет меняться.

Для проверки параллельности осей монокуляров с осью шарнира бинокля следует сводить и разводить трубки бинокля. Если расстояние между изображениями диафрагмы останется постоянным, то параллельность не нарушена [16].

Грубую непараллельность осей устраняют передвижением призм или оптических деталей, вызвавших непараллельность оптических осей, а точную юстировку выполняют поперечным смещением объектива.

Для телескопических бинокулярных труб оси пучков лучей, выходящих из обоих окуляров от одной и той же точки предмета, должны быть параллельны между собой.

#### 1.4 Разработка методики юстировки и контроля автоколлимационной проекционной установки Захарьевского для регулировки биноклей при сборке

Оптическая схема коллиматора (рисунок 8, *a*) состоит из лампы 1, конденсора 2, точечной диафрагмы 3, наклонных плоских зеркал 4 и 5, объектива 6, главного плоского зеркала 7 и экрана 8. Диафрагма 3 и экран 8 совпадают с фокальной плоскостью объектива, вследствие чего на зеркало 7 падает параллельный пучок света, который после отражения от него в обратном направлении фокусируется объективом на экране 8, где и можно наблюдать изображение ярко освещенной диафрагмы 3 – световой «зайчик». Этот «зайчик» позволяет лишь судить о настройке самого коллиматора и при контроле биноклей не используется (его может быть и не видно, если зеркало 7 установлено строго перпендикулярно к падающему пучку лучей) [17].

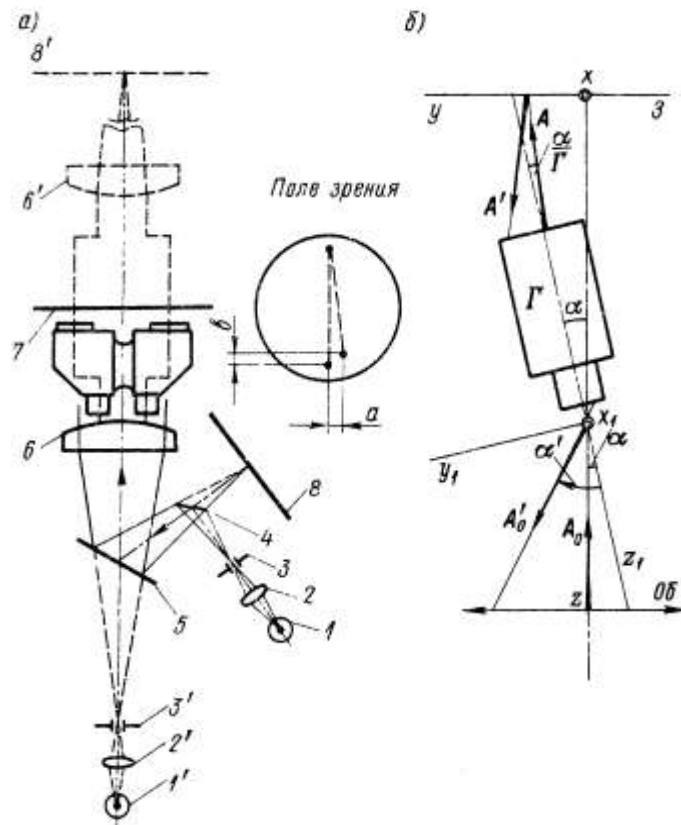


Рисунок 8 – Схемы установки Захарьевского: а) схема автоколлимационной проекционной установки Захарьевского для юстировки и контроля биноклей; б) способ измерения на ней разности увеличений и перекоса изображений в трубах

Контролируемый бинокль помещают в параллельный ход лучей между объективом 6 и главным зеркалом 7. Части светового пучка, проходящие сквозь обе трубки бинокля в прямом и обратном направлениях, дадут на экране 8 еще два «зайчика», которые и используются при контроле бинокля на установке. Пользуясь диоптрийной установкой окуляров, можно добиться наилучшей резкости обоих «зайчиков». Если пучки лучей, выходящие из обеих лучей бинокля, строго параллельны, то «зайчики» совпадут друг с другом. При наклоне бинокля оба «зайчика» будут совместно смещаться по экрану и при этом могут несколько разойтись друг от друга как в направлении наклона бинокля из-за неравенства увеличения в трубах, так и в поперечном направлении из-за перекоса изображений в призмённых биноклях (погрешности  $\Delta\alpha$ ).

Таким образом, установка Захарьевского А.Н. позволяет контролировать выполнение основных требований, предъявляемых к призмным биноклям: взаимную параллельность оптических осей трубок при любом их развороте вокруг оси шарнира; равенство увеличений в трубках; отсутствие перекоса изображений в призмных системах; установку «нуля» диоптрийных шкал окуляров и даже количество изображения трубок.

Технические требования к коллиматору найдем из рисунка 8, а, где кроме конструктивной оптической схемы показана также принципиальная схема коллиматора с выпрямленным ходом лучей. Видно, что в номинале осветитель (лампа 1', конденсор 2', диафрагма 3') совместно с объективом 6' должны составлять центрированную систему, при этом диафрагма 3' должна совпадать с фокусом объектива 6', а плоскость экрана 8' - с его фокальной плоскостью.

Поскольку в конструкции коллиматора желательно обойтись наименьшим числом юстировочных подвижек, то целесообразно некоторые основные схемные элементы – объектив 6', зеркало 7' и экран 8' - установить в своих оправах без всякой регулировки. Эти элементы и зададут положение основных баз коллиматора. При юстировке бинокля коллиматора необходимо «визирную» ось (прямую, проходящую через центр изображения диафрагмы 3 на выпрямленной схеме и заднюю узловую точку объектива 6) установить перпендикулярно к отражающей плоскости главного зеркала 7; только при этом условии оптические оси трубок контролируемого бинокля в нормальном его положении будут параллельны оси светового пучка, Плоскость же экрана 8 и в этом случае должна быть совмещена с фокальной плоскостью объектива 6.

Как покажут дальнейшие расчеты, перечисленные требования необходимо выполнять с умеренной точностью. Например, даже при грубой установке диафрагмы 3 в фокусе объектива 6, т.е. при большой непараллельности выходящего из него светового пучка лучей, не возникает погрешности контроля взаимной параллельности осей трубок бинокля при том, однако, условии, что плоскость экрана 8 и плоскость диафрагмы 3 являются взаимно сопряженными. В самом деле, легко представить себе, что если на таком коллиматоре установлен бинокль со

строго параллельными оптическими осями трубок, то пучки лучей, входящие в окуляры под некоторым углом схождения, после прохождения через бинокль, отражения от главного зеркала 7 и повторного прохождения через бинокль в обратном направлении выйдут из окуляров под тем же углом, но с противоположным знаком. На сопряженной с диафрагмой 3 плоскости экрана 8 изображения диафрагм не раздвоятся - будет наблюдаться один совмещенный «зайчик», что и служит признаком строгой взаимной параллельности осей трубок. Отсюда следует вывод о том, что диафрагма 3 и экран 8 могут и не совпадать с фокальной плоскостью объектива 6, а располагаться на значительном расстоянии от нее, но симметрично по отношению к фокальной плоскости.

Однако при несовпадении диафрагмы 3 с фокусом объектива 6 для получения резкого ее изображения на экране приходится устанавливать окуляры бинокля не в нулевое положение, а смещать от него на величину  $1/z' \cdot 10^3$  дптр, где  $z'$  - расстояние, мм, от заднего фокуса окуляра до изображения диафрагмы 3 за объективом коллиматора в обратном ходе лучей. Допуская погрешность при контроле положения нуля диоптрийных шкал в 0,01 дптр, для допуска в несовмещение диафрагмы 3 с фокусом объектива 6 получим

$$z \leq f'_{об} \cdot \frac{10^3}{z'} = f'_{об} \cdot 10^{-6} = \pm 2.5 \text{ мм.} \quad (8)$$

Здесь принято, что фокусное расстояние объектива коллиматора равно 500 мм (реальный случай).

Непараллельность плоскости экрана 8 по отношению к фокальной плоскости объектива 6 приведет к двоению «зайчиков» на экране при наклоне контролируемого бинокля со строго параллельными осями, причем двоение будет равно:

$$t = l \alpha_0 \delta / f', \quad (9)$$

где  $l$  - полуширина экрана;

$\alpha_0$  - угловая непараллельность его к фокальной плоскости объектива;

$\delta$  - окулярный базис бинокля;

$f'$  - фокусное расстояние объектива коллиматора.

Допуская двоения  $t$  зайчиков до 0,1 мм, полагая  $\delta = 65$  мм,  $l = 75$  мм,  $f' = 500$  мм, получим  $\alpha_0 \leq tf' / \delta l \approx 0,01$  рад или  $\alpha_0 \leq 0,5^\circ$ .

Юстировку коллиматора целесообразно выполнить в следующей последовательности:

- совместить экран 8 с фокальной плоскостью объектива 6 с погрешностью не более 2 мм по глубине и до  $0,5^\circ$  по направлению. Проще всего это сделать подвижками зеркала 5, а контролировать – по параллельности плоскости изображения экрана 8 по отношению к опорному торцу оправы объектива 6. Если при расточке этой оправы заодно подрезать и верхний ее торец, т.е. обработать его параллельно опорному торцу посадочного места под объектив, то положив на верхний торец оправы плоскопараллельную пластинку, наклонами зеркала 5 следует добиться параллельности изображения экрана 8 и в зеркале 5 по отношению к этой пластинке. Фокусировку можно проконтролировать автоколлимационным методом или же с помощью визирной трубы, установленной на бесконечность.

- совместить диафрагму 3 с фокусом объектива 6 так, чтобы она резко изображалась после отражения от зеркала в плоскости экрана 8, и центрировать осветитель так, чтобы объектив 6 был полностью заполнен светом, а ось выходящего из него светового пучка была перпендикулярна к зеркалу 7. Эту операцию следует выполнить наклонами, поворотами со смещениями зеркала 4, диафрагмы 3 и самого осветителя. По окончании центрировки резкое изображение диафрагмы 3 на экране будет перекрываться зеркалом 4. На этом юстировка коллиматора заканчивается.

Следует обратить внимание на то, что достоинством коллиматора Захарьевского А.Н. является то, что он построен по нерастраивающейся оптической схеме, так как его основные элементы являются общими для обеих трубок бинокля: при любом малом смещении или сдвиге любого элемента коллиматора оба «зайчика» будут лишь совместно совмещаться по экрану, не изменяя своего положения.

Остановимся еще на одной особенности автоколлимационной схемы коллиматора. Известно, что при автоколлимационном ходе лучей поворот изображения не обнаруживается. В самом деле, если в одной из трубок призматического бинокля угол между главными сечениями призм оборачивающей системы Малафеева-Порро 1-го рода от прямого на величину  $\gamma$ , то появится поворот изображения на угол  $2\gamma$ . Однако после отражения от перпендикулярного главного зеркала 7, которое не дает поворота изображения, и прохождения лучей в обратном направлении через ту же оборачивающую призматическую систему, но с отражением от ее граней в обратной последовательности изображение повернется на тот же угол  $2\gamma$  в обратную сторону и за окулярами поворот изображения исчезнет. Все же при контроле на коллиматоре Захарьевского А.Н. поворот изображения можно обнаружить, если наклонить плоское зеркало 7 и измерить величину  $b$  взаимного расхождения «зайчиков» на экране 8 в направлении их смещения и величину  $a$  взаимного сдвига «зайчиков» поперек их смещения. Первая измеренная величина прямо пропорциональна разности увеличений  $\Delta\Gamma$  в трубах и равна:

$$b = f'_k \cdot 2\alpha \cdot \Delta\Gamma/\Gamma. \quad (10)$$

Вторая величина прямо пропорциональна перекосу изображения в трубах

$$\alpha = 2\gamma l, \quad (11)$$

где  $2\gamma$  –перекос.

Пример. При контроле бинокля Б8х30 с перекосом изображения на угол  $2\gamma = 30' \approx 0,01$  рад и разностью увеличений в трубах до  $\pm 1\%$  получим  $b = 500 \cdot 0,2 \cdot 0,01 = 1$  мм и соответственно  $\alpha = 0,01 \cdot 100 = 1$  мм, т.е. вполне заметные на глаз величины.

Подобный же эффект дает наклон бинокля, который расположен между объективом 6 и неподвижным зеркалом 7 коллиматора.

## 2 ГАБАРИТНЫЙ РАСЧЕТ

### 2.1 Выбор объектива

В задачу габаритного расчета оптической схемы проекционной системы входит определение оптических характеристик объектива и осветительной системы, а также подбор источников света, обеспечивающих выполнение заданных технических условий.

Задаются параметры расчетов:

- освещенность экрана  $E_3 = 50$  лк;
- увеличение  $\beta = 1^x$ ;
- относительное отверстие объектива 1:10;
- разрешающая способность глаза наблюдателя  $\psi_1 = 2'$  ;
- разрешающая способность прибора  $\psi_2 = 10''$ .

Определяется расстояние  $a_1$  между точками на экране:

$$a_1 = 250 \cdot \operatorname{tg} \psi; \quad (12)$$

$$a_1 = 250 \cdot \operatorname{tg} 10'' = 0,0125 \text{ мм.}, \quad (13)$$

где 250 - расстояние наилучшего видения, мм.

Определяется расстояние  $a_2$ , кажущееся раздельным, между точками на экране для глаза с разрешающей способностью  $\psi_2 = 2'$ :

$$a_2 = 250 \cdot \operatorname{tg} 2' = 0,075 \text{ мм.} \quad (14)$$

Отношение  $\frac{a_2}{a_1}$  равно:

$$\frac{a_2}{a_1} = 0,075 : 0,0125 = 6. \quad (15)$$

Тогда фокусное расстояние объектива равно:

$$f'_{об} = \frac{250 \cdot \frac{a_2}{a_1}}{2} = 750 \text{ мм.} \quad (16)$$

Рассчитывается входной зрачок (диаметр объектива):

$$\frac{D_{об}}{f'_{об}} = \frac{1}{10}; \quad (17)$$

$$D_{вх.зр.} = D_{об} = 750:10 \approx 75 \text{ мм.}, \quad (18)$$

где  $D_{вх.зр.}$  - входной зрачок.

По фокусному расстоянию  $f'_{об} = 750$  мм и относительному отверстию  $D / f'_{об} = 1:10$ , выбирается по каталогу [8] объектив с характеристиками:  $f'_{об.кат.} = 550,41$  мм, относительным отверстием 1:10,  $S_F = -548,8$  мм,  $S_{F'} = 543,1$  мм.

Его конструктивные параметры записываются в таблицу 1.

Таблица 1 – Конструктивные параметры объектива

$r$ , мм	$d$ , мм	$D_{св}$ , мм	Стекло
342,0	10	-	БК8
-205,1	-	46	-
-1039,9	4	-	Ф4

Оптические характеристики выбранного объектива отличаются от расчетного, поэтому производится перерасчет:

$$K = \frac{f'_{об.расч.}}{f'_{об.катал.}} = \frac{750}{550,41} = 1,36; \quad (19)$$

где  $K$ -коэффициент пересчета.

$$f'_{об.} = K \cdot f'_{об.расч.} = 1,36 \cdot 750 = 1020 \text{ мм.};$$

$$D_{об} = K \cdot D_{об.расч.} = 1,36 \cdot 63 \approx 86 \text{ мм.};$$

$$S_F = K \cdot S_{F_{расч.}} = 1018,4 \text{ мм.};$$

$$S_{F'} = K \cdot S_{F'_{расч.}} = 1012,7 \text{ мм.};$$

$$r_1 = K \cdot r = 465,1 \text{ мм.};$$

$$r_2 = K \cdot r = -278,9 \text{ мм.};$$

$$r_3 = K \cdot r = -1414,3 \text{ мм.};$$

$$d_1 = K \cdot d = 13,6 \text{ мм.};$$

$$d_2 = K \cdot d = 5,4 \text{ мм.}$$

Полученные результаты заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 - Конструктивные параметры объектива

$r$ , мм	$d$ , мм	$D_{св}$ , мм	Стекло
465,1	13,6	-	БК8
-278,9	-	84	-
-1414,3	5,4	-	Ф4

Эскиз оптической схемы объектива изображен на рисунке 9.

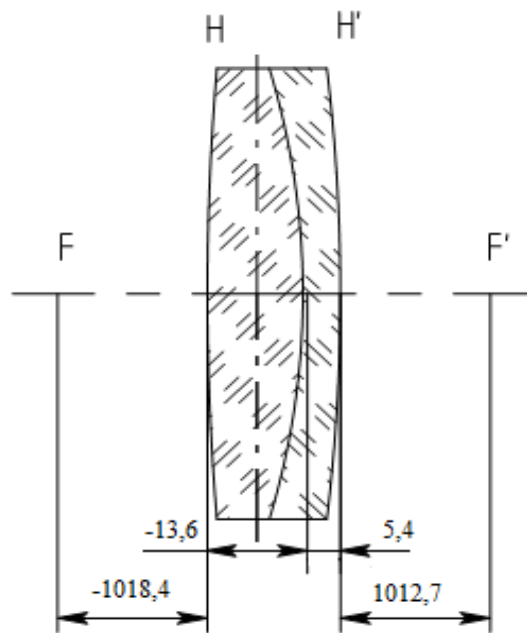


Рисунок 9 – Эскиз объектива

## 2.2 Расчет призмы и ее положения

Для данной системы применяется призма-куб  $K-0^0$  (рисунок 10).

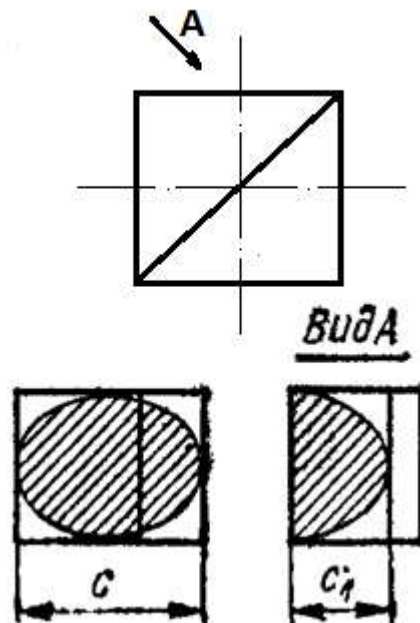


Рисунок 10 - Призма-куб

Призма-куб К-0<sup>0</sup> состоит из двух прямоугольных призм, склеенных гипотенузными гранями, эти грани посеребрены. Призма устанавливается только в параллельных пучках, дает зеркальное изображение.

Для определения размеров призмы и ее положения используется графоаналитический метод профессора Турыгина И. А. [6].

Определяется угол конуса между объективом и полевой диафрагмой.

$$\operatorname{tg} \sigma = (D - D_{\text{п. д.}}) / 2f'_{\text{об}}; \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \sigma = (D - D_{\text{п. д.}}) / 2f'_{\text{об}} = (86 - 13,09) / 2 \cdot 1020 = 0,05382. \quad (21)$$

Отсюда  $\sigma = 2^\circ$ .

Выходная грань призмы располагается на расстоянии  $l = 20$  мм от полевой диафрагмы. Находится световой диаметр выходной грани  $D_2$  :

$$D_2 = D_{\text{п. д.}} + 2l \cdot \operatorname{tg} \sigma; \quad (22)$$

$$D_2 = D_{\text{п. д.}} + 2l \cdot \operatorname{tg} \sigma = 13,09 + 40 \cdot 0,0357 = 15 \text{ мм.} \quad (24)$$

Для определения светового диаметра входной грани призмы  $D_1$  находится угол по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma = n / 2c; \quad (25)$$

где  $n$  – показатель преломления стекла призмы;

$c$  – коэффициент призмы.  $c = 2,64$ .

$$\operatorname{tg} \gamma = n / 2c = 1,6475 / 5,28 = 0,2876; \quad (26)$$

то  $\gamma = 16,3^\circ$ .

Угол вводится в построение хода лучей следующим образом:

Строится следующая схема в масштабе, где изображается входной зрачок, а на расстоянии фокусного расстояния – полевая диафрагма. Соединяются края диафрагм лучом.

Затем на расстоянии 20 мм от диафрагмы слева проводится след выходной грани призмы. Из точки пересечения ее с оптической осью проводится луч под углом  $\gamma = 23,8^\circ$ . Находится точку пересечения этого луча с верхним наклонным лучом. Через нее проводится след входной грани призмы. Расстояние между входной и выходной гранью призмы является редуцированной толщиной развертки призмы  $d_{ред}$  [6].

Из построения определяется ее значение:  $d_{ред} = 33$  мм. Отсюда длина оптической развертки призмы  $d_{пр}$  равна:

$$d_{пр} = d_{ред} \cdot n = 33 \cdot 1,6475 = 50 \text{ мм.} \quad (27)$$

Тогда световой диаметр входной грани призмы определяется по формуле:

$$D_I = d_{пр} / c; \quad (28)$$

$$D_I = d_{пр} / c = 50,1 / 2,64 \approx 25 \text{ мм.} \quad (29)$$

Удаление, вносимое призмой, находится по формуле:

$$\Delta d_{пр} = (n - 1) / n \cdot d_{пр}; \quad (30)$$

$$\Delta d_{пр} = (n - 1) / n \cdot d_{пр} = (1,6475 - 1) / 1,6475 \cdot 50 = 17,1 \text{ мм.} \quad (31)$$

Расстояние от объектива до призмы  $l_I$  определяется по формуле:

$$l_I = f'_{об} + \Delta d_{пр} - l - d_{пр}; \quad (32)$$

$$l_I = f'_{об} + \Delta d_{пр} - l - d_{пр} = 1020 + 17,1 - 25 - 50 \approx 957 \text{ мм.} \quad (33)$$

### 2.3 Светоэнергетический расчет системы

Коэффициент пропускания системы определяется:

$$\tau = \tau_p \cdot \tau_a ; \quad (34)$$

где  $\tau_p, \tau_a$  - коэффициенты пропускания, учитывающие потери на отражение и на внутреннее поглощение (с учетом коэффициента рассеяния).

$$\tau_p = (1 - \rho_1) \cdot \dots \cdot (1 - \rho_N); \quad (35)$$

Находятся коэффициенты отражения для разных марок стекол:

$$\text{Для } K8 \quad \rho_1 = \frac{(n_2 - 1)^2}{(n_2 + 1)^2} = \frac{(1.5163 - 1)^2}{(1.5163 + 1)^2} = 0.0421; \quad (36)$$

$$\text{Для } T\Phi 1 \quad \rho_2 = \rho_8 = \frac{(n_2 - 1)^2}{(n_2 + 1)^2} = \frac{(1.6475 - 1)^2}{(1.6475 + 1)^2} = 0.0598; \quad (37)$$

$$\text{Для } BK8 \quad \rho_5 = \rho_3 = \frac{(n_5 - 1)^2}{(n_5 + 1)^2} = \frac{(1.5688 - 1)^2}{(1.5688 + 1)^2} = 0.049; \quad (38)$$

$$\text{Для } \Phi 4 \quad \rho_6 = \rho_4 = \frac{(n_6 - 1)^2}{(n_6 + 1)^2} = \frac{(1.6164 - 1)^2}{(1.6164 + 1)^2} = 0.0555; \quad (39)$$

$$\text{Для } \Phi 13 \quad \rho_9 = \rho_{10} = \frac{(n_9 - 1)^2}{(n_9 + 1)^2} = \frac{(1.6199 - 1)^2}{(1.6199 + 1)^2} = 0.056. \quad (40)$$

тогда

$$\begin{aligned} \tau_{\rho} &= (1-\rho_1)^2 \cdot (1-\rho_2)^2 \cdot (1-\rho_3)^2 \cdot (1-\rho_4)^2 \cdot (1-\rho_5)^2 \cdot (1-\rho_6)^2 \cdot (1-\rho_7)^2 \cdot (1-\rho_8)^2 \cdot (1-\rho_9)^2 \times \\ &\times (1-\rho_{10})^2 = (1-0.0421)^2 \cdot (1-0.0598)^4 \cdot (1-0.049)^4 \cdot (1-0.0555)^4 \times \\ &\times (1-0.056)^4 = 0.5126 \end{aligned} \quad (41)$$

Определяется коэффициент поглощения по формуле:

$$\tau_{\alpha} = (1-\varepsilon_A)^d ; \quad (42)$$

где  $\varepsilon_A$  - показатель ослабления  $\varepsilon_A = 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$

$d$  - длина хода луча.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} = 102 \text{ мм} = 10,2 \text{ см} ., \quad (43)$$

тогда

$$\tau_{\alpha} = (1-\sigma_A)^d = (1-0.0025)^6 = 0.9873; \quad (44)$$

$$\tau = \tau_{\rho} \cdot \tau_{\alpha} = 0.5126 \cdot 0.9873 = 0.51. \quad (45)$$

Потери световой энергии составляют 65 %.

Для компенсации потери световой энергии требуются просветляющие покрытия.

## 2.4 Выбор покрытий оптических деталей

Разновидности покрытий и их условное обозначение указаны в таблице 3.

Таблица 3 - Виды покрытий и их условное обозначение

Виды покрытий	Сокращенное обозначение	Условное обозначение
внешние	Зеркальн.	
задние	Зеркальн.	
Светоделительные покрытия	Светоделит.	
Просветляющие покрытия	Просветл.	
Покрытия- фильтры	Фильтр	
Защитные прозрачные покрытия	Защитн.	
Токопроводящие покрытия	Токопров. или Обогрев.	

Покрытия могут быть однослойными или многослойными.

Условные обозначения видов покрытий строятся по следующей схеме:

- сокращенное обозначение покрытий;
- обозначение исходного материала для обозначения 1-го слоя покрытия;
- обозначение способа нанесения 1-го слоя покрытия;
- то же для 2-го слоя покрытия;
- то же для 3-го слоя покрытия и т.д.

Если на оптическую деталь требуется нанести последовательно несколько покрытий, то обозначение покрытия складывается из условных обозначений всех наносимых на деталь видов покрытий в последовательности их нанесения слева направо(таблица 4).

Таблица 4 - Условные обозначения исходных материалов, применяемых для покрытия

Материал	Условное обозначение	Материал	Условное обозначение
Алюминий	1	Хром	9
Золото	2	Серебро с медью	10
Медь	3	Кадмий	11
Никель	4	Кремний	12
Палладий	5	Ниобий	13
Платина	6	Тантал	14
Радий	7	Титан	15

При выборе покрытий необходимо исходить из технических требований к данной детали, условий эксплуатации прибора, температурного режима, расположения детали в приборе, условий чистки деталей и их форм.

Основные характеристики покрытий:

- оптические свойства;
- химическая устойчивость;
- коррозионная устойчивость;
- механическая и термическая прочность.

Химическая устойчивость характеризуется устойчивостью к пресной и морской воде, влажной атмосфере и к органическим растворителям, применяемым при чистке оптики.

По механической прочности все покрытия разделены на пять групп:

0 группа – покрытия, допускающие чистку в полевых условиях (особо прочные);

I группа – покрытия, допускающие чистку обычными приемами – ватой или салфеткой с применением органических растворителей (прочные);

II группа – покрытия, требующие осторожной чистки ватой или мягкой кистью (средней прочности);

III группа – покрытия, не допускающие механической чистки (непрочные);

IV группа – покрытия, требующие обязательной заклейки стеклом.

Термическая прочность характеризуется устойчивостью покрытия при перепаде температур от минус 60 °С до 60 °С и максимальной температурой.

## 2.5 Выбор защитных покрытий

Предположительно, что разрабатываемый прибор предназначен для работы в умеренном климате с перепадом температур от минус 45 °С до 40 °С.

Поэтому в качестве защитного, целесообразно использовать покрытие «Защитн.1К» (катодное распыление алюминия в кислороде). Данное покрытие не изменяет коэффициент отражения и светопоглощения. Устойчиво к воздействию влажной атмосферы, слабых кислых сред, морской воде и органическим растворителям. По механической прочности относится к группе I. Выдерживает перепад температур от минус 60 °С до 60 °С.

Защитное покрытие бесцветного стекла всех марок от разрушения влагой атмосферы в умеренном климате 1К:

$$\rho_A = 0.2 - 0.5\% \text{BA, KC, MB, OP} \pm 60^\circ\text{C} \quad (46)$$

Защитное покрытие просветленных деталей от разрушения влагой атмосферы:

$$\rho_A = 0.2 - 0.5\% \text{ BA, TB, OP } \pm 60^\circ \text{C} \quad (47)$$

## 2.6 Выбор просветляющих покрытий

Выбирается просветляющее покрытие 44P.43P.

Толщина 1 слоя – 0,11 мкм;

2 слоя – 0,31 мкм,

для длины волны  $\lambda = (560 \pm 10)$  нм.

44P – эфир этиловой ортотитановой кислоты. Способ нанесения: из кислоты.

43P – эфир этиловой фтористокремниевой кислоты (кремниевый эфир).

Способ нанесения: из раствора.

Покрyтия устойчивые к воздействию:

- влажной атмосферы
- воды
- кислотных растворов
- щелочных растворов (слабых)
- органических растворителей.

44P.43P.  $\rho = 0,005$

Теперь по формуле вычисляется коэффициент пропускания:

$$\tau_\rho = (1 - \rho_1)^2 \cdot (1 - \rho_A)^N = (1 - 0.0421)^2 \cdot (1 - 0.005)^{11} = 0.847, \quad (48)$$

где  $N$  – число поверхностей, на которые нанесены данные покрытия.

Следовательно:

$$\tau = \tau_\rho \cdot \tau_\alpha = 0.847 \cdot 0.9873 = 0.84 \quad (49)$$

Теперь потери световой энергии составляют 16 %. Потери света системы уменьшились в 3,1 раза.

## 2.7 Расчет осветительной системы

Диафрагма устанавливается на расстоянии 25 мм от кубика. Ее световой диаметр равен:  $D_{\text{ПД}} = 13,4$  мм.

Диафрагма должна подсвечиваться. Для равномерной подсветки источник света необходимо спроектировать конденсором во входной зрачок прибора.

Определяется необходимая яркость нити источника света наилучшей освещенности поля зрения  $E = 200$  лк.

$$E = B \cdot \pi \cdot \tau \cdot \sin^2 u' ; \quad (50)$$

где  $\tau$  – коэффициент пропускной способности оптического прибора;

$B$  – яркость нити лампы;

$u'$  – задний апертурный угол прибора.

Отсюда:

$$B = \frac{E}{\pi \cdot \tau \cdot \sin u'} . \quad (51)$$

Потери на кубике составляют примерно от 40 % до 50 %. Учитывая потери на всех компонентах схемы, получаются потери света в системе приблизительно 65 %, т.е.  $\tau = 0,51$  .

$$u' = \frac{D_{\text{вх.зр.}}}{2f'_{\text{об}}} ; \quad (52)$$

$$u' = \frac{86}{2 \cdot 1020} = 0,04. \quad (53)$$

Тогда яркость нити лампы равна:

$$B = \frac{200}{3,14 \cdot 0,51 \cdot (0,04)^2} = 1060000 \text{ нт}; \quad (54)$$

что соответствует мощности примерно 3,5 Вт.

По каталогу ламп выбирается лампа СЦ-78 с  $P = 3,5$  Вт;  $V = 7$  В, размером тела накаливания  $e = 3$  мм. Развернув схему автоколлиматора, рассматривается интересующий участок (рисунок 11).

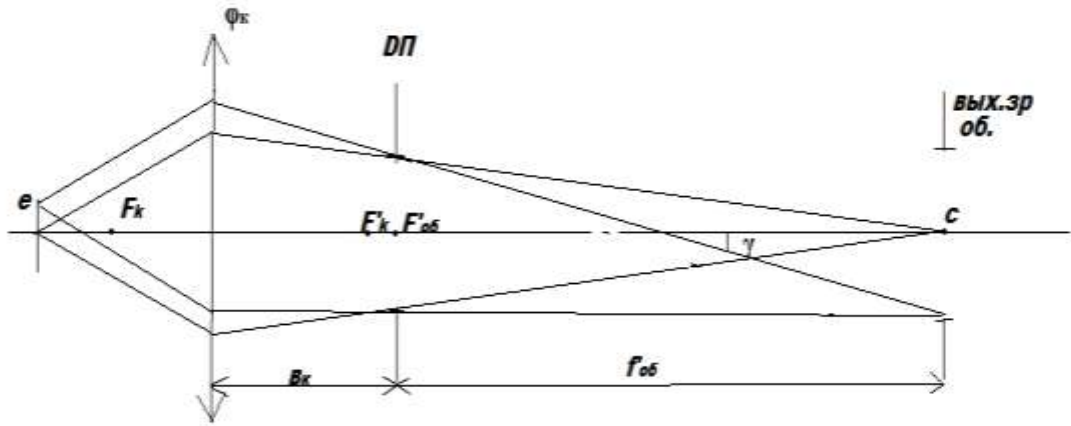


Рисунок 11 - К определению параметров конденсора

Увеличение конденсора определится следующим образом:

$$V_k = \frac{D_{\text{вых.зр.об.}}}{e} = \frac{3,15}{3} = 1,05^x. \quad (55)$$

Для определения фокуса конденсора рассматривается рисунок 14.

$$a'_k = v_k + P'_{\text{об}} = f'_k + x'_k; \quad (56)$$

где  $v_k$  – положение диафрагмы относительно конденсора;

$P'_{\text{об}}$  – положение выходного зрачка объектива относительно задней фокальной плоскости объектива;

$x'_k$  – положение источника света относительно заднего фокуса конденсора;

$f'_k$  – фокус конденсора.

А  $x'_k$  можно определить по формуле:

$$x'_k = V_k \cdot f'_k. \quad (57)$$

Расстояние же от конденсора до диафрагмы « $e_k$ » должно быть равным приблизительно 20 диоптрий для того, чтобы не было видно дефектов конденсора и для удобства крепления.

Величина « $e_k$ » выбирается равной 15 мм, т.к.  $e_k \geq 12,5$  мм.

Из формул (59) и (62) получается:

$$e_k + P'_{об} = f'_k + V_k f'_k = f'_k (1 + V_k); \quad (58)$$

$$f'_k = \frac{e_k + P'_{об}}{(1 + V_k)}; \quad (59)$$

$$f'_k = \frac{15 + 79,2}{1 + 1,05} = 46 \text{ мм.} \quad (60)$$

Световой диаметр конденсора определяется из расчета лучей, идущих через край полевой диафрагмы под углами  $\gamma$ . Высота падения луча на диафрагму

$$D_{ПД} / 2 = 6,7 \text{ мм.} \quad (61)$$

$$h_k = \frac{D_{ПД}}{2} + \gamma L = \frac{D_{ПД}}{2} + \frac{D_{ex.zp.} + D_{ПД}}{2f'_k} L \approx 20 \text{ мм.} \quad (62)$$

Световой диаметр конденсора равен :

$$D_k = 2 h_k = 20 \cdot 2 = 40 \text{ мм.} \quad (63)$$

Определяется радиус кривизны конденсора по формуле:

$$\eta = f'_k (n-1); \quad (64)$$

предположив, что конденсор выполнен в виде плоско-выпуклой линзы из стекла марки К8 ( $n = 1,5163$ ).

$$\eta = 46 \cdot (1,518 - 1) = 23,8. \quad (65)$$

Для определения положения источника света относительно конденсора пользуются формулой Ньютона:

$$X_k X'_k = -f'_k{}^2, \quad (66)$$

Отсюда,

$$X_k = \frac{f'_{\text{конд}}{}^2}{X'_k}, \text{ а } X'_k. \quad (67)$$

по формуле (64) равен 48,2 мм.

$$X_k = \frac{-46^2}{48,2} = -44 \text{ мм}. \quad (68)$$

## 2.8 Выбор конструкционных материалов

### 2.8.1 Классификация и маркировка цветных сплавов

Наиболее широкое распространение в качестве конструкционных материалов в настоящее время получили металлы и их сплавы.

Медь и её сплавы. Технически чистая медь обладает высокими пластичностью и коррозионной стойкостью, малым удельным электросопротивлением и высокой теплопроводностью. По чистоте медь подразделяют [19] на марки (таблица 5).

Таблица 5 - Марки меди по чистоте

Марка	МВЧк	МОО	МО	М1	М2	М3
Содержание Cu+Ag, не менее %	99,993	99,99	99,95	99,9	99,7	99,5

После обозначения марки указывают способ изготовления меди: к - катодная, б – бескислородная, р - раскисленная. Медь огневого рафинирования не обозначается.

МООк - технически чистая катодная медь, содержащая не менее 99,99 % меди и серебра.

М3 - технически чистая медь огневого рафинирования, содержит не менее 99,5 % меди и серебра.

Медные сплавы разделяют на бронзы и латуни. Бронзы- это сплавы меди с оловом (от 4 % до 33 % *Sn* хотя бывают без оловянные бронзы), свинцом (до 30 % *Pb*), алюминием (от 5 % до 11 % *Al*), кремнием (от 4 % до 5 % *Si*), сурьмой и фосфором.

Латуни - сплавы меди с цинком (до 50 % *Zn*) и небольшими добавками алюминия, кремния, свинца, никеля, марганца.

Медные сплавы предназначены для изготовления деталей методами литья, называют литейными, а сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием - сплавами, обрабатываемыми давлением.

Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Бр или Л), после чего следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество элемента в процентах. Приняты следующие обозначения компонентов сплавов:

А – алюминий; Мц – марганец; С – свинец; Б – бериллий; Мг – магний; Ср – серебро; Ж – железо; Мш – мышьяк; Су – сурьма; К – кремний; Н – никель; Т – титан; Кд – кадмий; О – олово; Ф – фосфор; Х – хром; Ц – цинк.

Примеры:

БрА9Мц2Л - бронза, содержащая 9 % алюминия, 2 % *Mn*, остальное *Cu* ("Л" указывает, что сплав литейный);

ЛЦ40Мц3Ж - латунь, содержащая 40 % *Zn*, 3 % *Mn*, ~1 % *Fe*, остальное *Cu*;

Бр0Ф8,0-0,3 - бронза наряду с медью содержащая 8 % олова и 0,3 % фосфора;

ЛАМш77-2-0,05 - латунь содержащая 77 % *Cu*, 2 % *Al*, 0,055 мышьяка, остальное

ЛАМш77-2-0,05 - латунь содержащая 77 % *Cu*, 2 % *Al*, 0,055 мышьяка, остальное *Zn* (в обозначении латуни, предназначенной для обработки давлением, первое число указывает на содержание меди).

В несложных по составу латунях указывают только содержание в сплаве меди:

Л96 - латунь содержащая 96 % *Cu* и 4 % *Zn* (томпак);

Л63 - латунь содержащая 63 % *Cu* и 37 % *Zn*.

Алюминий и его сплавы. Алюминий - легкий металл, обладающий высокими тепло- и электропроводностью, стойкий к коррозии. В зависимости от степени чистоты первичный

алюминий согласно [25] бывает особой (А999), высокой (А995, А95) и технической чистоты (А85, А7Е, А0 и др.). Алюминий маркируют буквой А и цифрами, обозначающими доли процента свыше 99,0 % *Al*; буква "Е" обозначает повышенное содержание железа и пониженное кремния.

А999 - алюминий особой чистоты, в котором содержится не менее 99,999 % *Al*;

А5 - алюминий технической чистоты в котором 99,5 % алюминия. Алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. Те и другие могут быть не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. Их марки приведены в [25]. К деформируемым алюминиевым сплавам не упрочняемым термообработкой, относятся сплавы системы *Al-Mn* и *Al-Mg*: Амц; АмцС; Амг1; Амг4,5; Амг6. Аббревиатура включает в себя на-

чальные буквы, входящие в состав сплава компонентов и цифры, указывающие содержание легирующего элемента в процентах. К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы *Al-Cu-Mg* с добавками некоторых элементов (дуралюны, ковочные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного хим.состава. Дуралюмины маркируются буквой "Д" и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18, АК4, АК8.

Чистый деформируемый алюминий обозначается буквами "АД" и условным обозначением степени его чистоты: АДоч ( $\geq 99,98\%$  Al), АД000 ( $\geq 99,80\%$  Al), АД0 ( $99,5\%$  Al), АД1 ( $99,30\%$  Al), АД ( $\geq 98,80\%$  Al).

Литейные алюминиевые сплавы обладает хорошей жидко-текучестью, имеет сравнительно не большую усадку и предназначены в основном для фасонного литья. Эти сплавы маркируются буквами "АЛ" с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30.

Иногда маркируют по составу: АК7М2; АК21М2, 5Н2,5; АК4МЦ6. В этом случае "М" обозначает медь. "К" - кремний, "Ц" - цинк, "Н" - никель; цифра - среднее % содержание элемента.

Из алюминиевых антифрикционных сплавов [24] изготавливают подшипники и вкладыши как литьем так и обработкой давлением. Такие сплавы маркируют буквой "А" и начальными буквами входящих в них элементов: А09-2, А06-1, АН-2,5, АСМТ. В первые два сплава входят в указанное количество олова и меди (первая цифра-олово, вторая-медь в %), в третий от 2,7 % до 3,3 % Ni и в четвертый медь сурьма и теллур.

Титан и его сплавы. Титан - тугоплавкий металл с невысокой плотностью. Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей, поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40 %. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготовить сложные отливки, но обработка резанием затруднительна. Для получения сплавов с улучшенными свойствами его

легируют алюминием, хромом, молибденом. Титан и его сплавы маркируют буквами "BT" и порядковым номером:

BT1-00, BT3-1, BT4, BT8, BT14.

Пять титановых сплавов обозначены иначе:

OT4-0, OT4, OT4-1, ПТ-7М, ПТ-3В.

Магний и его сплавы. Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью ( $1700 \text{ кг/м}^3$ ). Магний и его сплавы неустойчивы против коррозии, при повышении температуры магний интенсивно окисляется и даже самовоспламеняется. Он обладает малой прочностью и пластичностью, поэтому как конструкционный материал чистый магний не используется. Для повышения химико-механических свойств в магниевые сплавы вводят алюминий, цинк, марганец и другие легирующие добавки.

Магниевые сплавы подразделяют на деформируемые [22] и литейные [23]. Первые маркируются буквами "МА", вторые "МЛ". После букв указывается порядковый номер сплава в соответствующем ГОСТе.

Например:

- МА1-деформируемый магниевый сплав № 1;
- МЛ19-литейный магниевый сплав № 19.

Выбранный материал должен обеспечивать прочность закрепления и компенсировать температурные деформации оптических деталей. К материалу оправы предъявляются требования высокой пластичности и технологичности для обработки резанием.

Выбор конструкционных материалов производят в соответствии с механическими характеристиками, предъявляемых к детали, а также в соответствии с особенностями эксплуатации и материалами, с которыми будет взаимодействовать деталь.

В нашем случае необходимо выбрать материал корпуса и оправы объектива. Таким образом, определяющим будет являться температурный коэффициент расширения. Поэтому в оправках обычно используют АЛ 2 и Д 16. Эти материалы обладают малой плотностью, достаточной прочностью, не намагничиваются, корро-

зионно–стойкие. Обладают хорошими технологическими свойствами, можно обрабатывать резанием. Д 16 относится к деформируемым упрочняемым сплавам, используют для изготовления несущих и сильно нагруженных деталей и приборов. АЛ 2 применяют для тонкостенного ажурного литья, для изготовления деталей с повышенной герметичностью (корпуса приборов), но ввиду плохой обработки мелких резьб не рекомендуется применять резьбы диаметром менее 3 мм.

Таким образом, в качестве материала для корпуса берется свинцовая латунь ЛС – 59 – 1. Оправу можно изготовить из сплава, на основе сплава алюминий – магний Д16.

### *2.8.2 Выбор антикоррозионных покрытий*

Выбор вида покрытия и его толщины определяют назначением детали или изделия, материала, из которого они изготовлены, условиями эксплуатации. При этом учитывают назначение и свойства покрытия, способ его нанесения, допустимость контактов сопрягаемых металлов и экономическую целесообразность.

По коррозионному воздействию условия эксплуатации деталей в соответствии с [21] делятся на четыре группы: легкие – Л, средние – С, жесткие – Ж, очень жесткие – ОЖ.

Рекомендации по выбору покрытий в зависимости от условий эксплуатации приводятся в справочниках.

В нашем случае оправка объектива выполнена из Д16 и деталь относится к группе эксплуатации Л, С. Для деталей изготовленных из алюминия и его сплавов, относящихся к группе эксплуатации Л, С применяется окисное, анодное окисление. Такие покрытия могут применяться с наполнением оксидной пленки анилиновыми красителями или хромовыми слоями. Также может применяться окисное непрозрачное (эмаль), получаемое анодным окислением (образуется на алюминии и алюминий-магниево – магниевых сплавах).

Для всех металлических деталей выбирается покрытие Ан. Окс. Черный.

Кроме того, наружные поверхности детали дополнительно покрываются декоративным лакокрасочным покрытием – эмаль ПД15 – глянцевая, различных цветов. Допускается на поставку [20].

## 2.9 Конструкторские расчеты

### 2.9.1 Расчет оправы объектива

Производятся конструкторские расчеты оправы объектива и оправы зеркала. Эскиз оправы объектива изображен на рисунке 12.

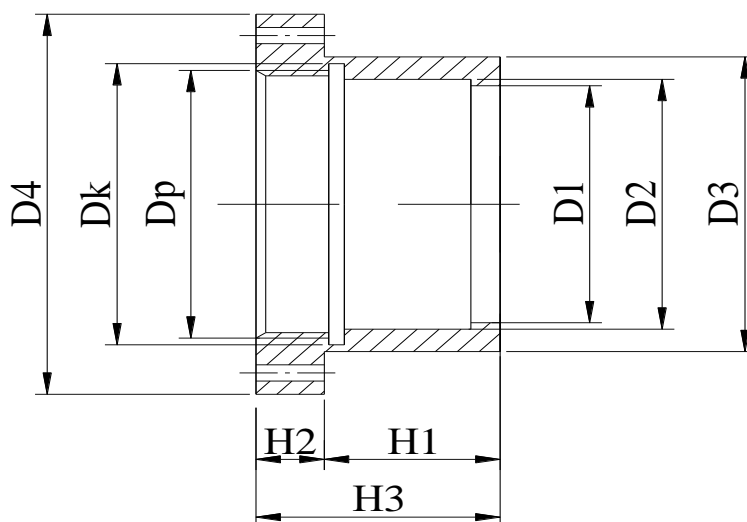


Рисунок 12 – Оправа объектива

Определяется  $D_1$  по формуле:

$$D_1 = D_{\text{св}} + 0,2; \quad (69)$$

где  $D_{\text{св}}$  – световой диаметр объектива.

$$D_1 = D_{\text{св}} + 0,2 = 84 + 0,2 = 84,2 \approx 84,5 \text{ мм.} \quad (70)$$

Полученный результат округляется до ближайшего нормального размера, но увеличиваются не больше чем на 0,4 мм.

Допуск на  $D_1$  задается  $H11(\varnothing 84,5 H11)$ .

Назначается  $D_2$  соответственно световому диаметру  $D_{св}$  и способу крепления объектива (резьбовым кольцом).

$$D_2 = D_{св} + 2,0 ; \quad (71)$$

$$D_2 = D_{св} + 2,0 = 84 + 2 = 86 \text{ мм.} \quad (72)$$

Допуск на  $D_2$  назначается –  $H9$ .

Глубину расточки  $H_1$  определяется по формуле:

$$H_1 = \Sigma d_{об} + h_1 - 2 \text{ мм;} \quad (73)$$

где  $\Sigma d_{об}$  – сумма толщин линз объектива по оси;

$h_1=3$  мм – толщина промежуточного кольца.

$$H_1 = \Sigma d_{об} + h_1 = 14 + 3 - 2 = 15 \text{ мм.} \quad (74)$$

Допуск на расточку –  $H14$ .

Выбирается диаметр резьбы под резьбовое кольцо -  $D_p$ . При выборе учитывается, что ее внутренний диаметр должен быть больше диаметра линзы на величину от 0,2 до 0,5 мм.

Выбирается из нормалей  $D_p = M88 \times 0,75$ .

Назначается допуск на резьбу –  $6H$ .

Диаметр канавки для выхода резьбы  $D_k$  и ширина канавки стандартизованы и будут равны  $D_k = 88,4$ ;  $h_k = 1,6$ .

Допуск на оба размера  $H14$ .

Задается глубина расточки под резьбу –  $H_2$ .

Она должна выбираться в пределах от 5 до  $10 P$ , где  $P$  – шаг резьбы.

В данном случае  $P = 0,75$ .

Принимается  $H_2 = 7$  мм. Задается допуск –  $H14$ .

Задается диаметр  $D_3$  таким образом, чтобы толщина стенки оправы в месте канавки была не меньше 0,5 мм.

$D_3 = 99$  мм.

Так как поверхность диаметра  $D_3$  для оправы является центрирующей, назначается допуск на  $D_3$  –  $h8$ .

Размеры  $D_4$ ,  $H_3$ ,  $H_4$  задаются конструктивно.

### 2.9.2 Расчет оправы зеркала

Эскиз оправы зеркала изображен на рисунке 13.

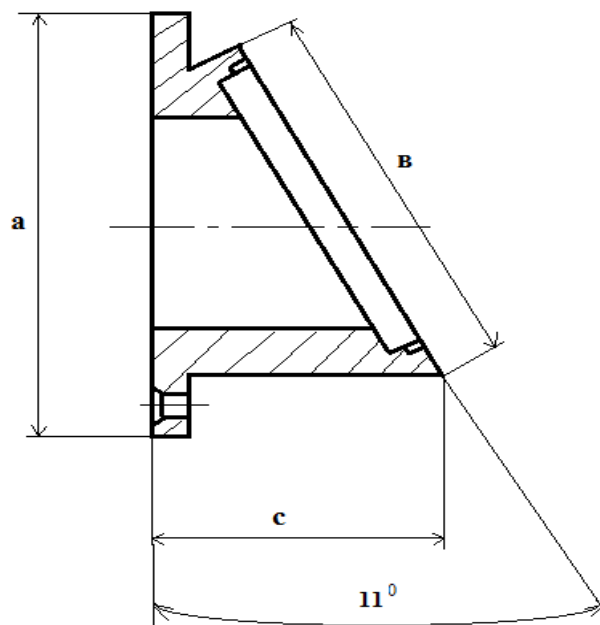


Рисунок 13 - Оправа зеркала

Задается угол отражения от зеркала  $\alpha = 22^\circ$ . Значит, что зеркало будет повернуто на угол  $\gamma = \frac{1}{2}\alpha = 11^\circ$ .

Задается сторона  $a$  оправы.  $a = 115$  мм.

Определяется сторона  $c$  оправы зеркала по формуле:

$$c = 115 \cdot \sin(11^\circ) = 40 \text{ мм}; \quad (75)$$

тогда

$$b = a \cdot \cos(11^\circ) = 115 \cdot 0,924 \approx 100 \text{ мм}. \quad (76)$$

Остальные размеры оправы задаются конструктивно.

Для приклеивания зеркала к оправе используется герметик УТ-34 черный ОСТ 3-1927-81.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе разработан прибор, предназначенный для юстировки параллельности оптических осей бинокулярных приборов и получены следующие результаты:

- проведен краткий анализ современного состояния приборов для контроля;
- выполнен габаритный расчет оптической системы;
- приведен светотехнический расчет;
- выполнен расчет элементов конструкции прибора;
- разработана конструкция и юстировка прибора.

Результаты расчетов показали, что разработанный прибор по оптическим и техническим характеристикам не уступает известным приборам для юстировки.

Оптические характеристики прибора:

- видимое увеличение -  $1\times$ ;
- освещенность экрана  $E_s = 50$  лк;
- относительное отверстие 1:10;
- диаметр выходного зрачка – 3 мм;
- светопропускание – 69 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Заказнов, Н. П. Теория оптических систем [Текст] : Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов / Н.П. Заказнов, С.И. Керюшин, В.Н. Кузичев - 3-е издание перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992.- 448 с.
- 2 Слюсарев, Г. Г. Расчет оптических систем [Текст] : учеб.пособие / Г. Г. Слюсарев.- Л. : Машиностроение, 1975. – 638с.
- 3 Справочник конструктора оптико - механических приборов [Текст] : учеб. пособие / М. Д.Мальцев, Г. А. Каракулина.- М. : Машиностроение, 1958. - 470 с.
- 4 Справочник конструктора оптико - механических приборов [Текст] : учеб. пособие / М. Я. Кругер, В. А. Панов. – 2-е изд. , перераб. и доп. –Л. : Машиностроение , 1988.- 760с.
- 5 Бабаев, А. А. Стабилизация оптических приборов [Текст] : учеб.пособие / А. А. Бабаев. - Л. : Машиностроение, 1975.- 188с.
- 6 Панов, В.А. Справочник конструктора оптико-механических приборов / В.А. Панов, М.Я. Кругер, В.В. Кулагин и др. - Л.: Машиностроение, 1982. - 178 с.
- 7 Нефедов, Б. Л. Методы решения задач по вычислительной оптике [текст] / Б.Л. Нефедов. – М-Л. : Машиностроение, 1996. - 262с
- 8 Прикладная оптика и оптические измерения [Текст] / М.Д. Мальцев, Г.А. Каракулина. – М. : Машиностроение, 1968.- 471с.
- 9 Шульженко, П.Ф. Расчет оптических систем [Текст] : Методические разработки по курсовому проектированию / П.Ф.Шульженко, Л.А.Кашунина, Н.Ф.Шабалина- Часть 1.- Н. : НИИГАиК, 1977. – 43с.
- 10 Каталог объективов телескопических систем. Рукописное издание кафедры оптических приборов.
- 11 Теория оптических систем [Текст] / Б.Н. Бегунов, Н.П. Заказнов, С.И. Кирюшин, В.И. Кузичев. – М. : Машиностроение, 1981,-430с.
- 12 Вычислительная оптика. Справочник [Текст], отв.ред. М.М. Русинов.- Л.: Машиностроение, 1984. -423с.
- 13 Справочник технолога-оптика [Текст], отв.ред. М.А. Окатов.- 2-изд., перераб. и доп.- Санкт-Петербург: Политехника, 2004.-656с.
- 14 Ельников, Н.Т. Сборка и юстировка оптико-механических приборов [Текст] / Н.Т. Ельников, А.Ф. Дитев, И.К. Юрсов. М. : Машиностроение, 1974. - 350 с.
- 15 Бардин, А.Н. Сборка и юстировка оптических приборов [Текст] / А.Н. Бардин. – М. : Высшая школа, 1968. – 324 с.
- 16 Тымкул, Л.В. Специальные оптические приборы [Текст] / Л.В. Тымкул. Н.:Редакционный отдел СГГА, 1997. – 32 с.
- 17 Погарев, Г.В. Оптические юстировочные задачи [Текст]/ Г.В. Погарев- Л.: Машиностроение, 1974.- 223 с.
- 18 ГОСТ 2.412-81. ЕСКД Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий [Текст] : Гос. ком. станд. Сов. Министров СССР – Введ. 01.01.1983. – Стандартиформ, 2011. - 16 с

19 ГОСТ 7048-54. Бинокли. Типы и основные параметры. Общие технические требования [Текст] : Госстандарт СССР. – Введ. 01.01.1956. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1975. – 17 с.

20 ГОСТ 859-78. Медь. Марки [Текст] : Гос. стан. СССР. – Введ. 01.01.1979. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997 – 5 с.

21 ГОСТ 14007-68. ЕСЗКС. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Группы условий эксплуатации [Текст] : Госстандарт СССР. – Введ. 01,01,1970. – различные информац. источ. 1987. – 11 с.

22 ГОСТ 14957-76. Сплавы магниевые деформируемые. Марки [Текст] : Гос. стан. Сов. Министров СССР. – Введ 01.01.1978. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 4 с.

23 ГОСТ 2856-79. Сплавы магниевые литейные. Марки [Текст] : Госуд. комитета СССР. – Введ. 01.01.1981. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 4 с.

24 ГОСТ 14113-78. Алюминиевые антифрикционные сплавы [Текст] : Гос. ком. станд. Сов. Министров СССР – Введ. 24.05.1978. – ИПК Издательство стандартов, 2003. – 4 с.

25 ГОСТ 4784-74. Деформируемые алюминиевые сплавы [Текст] : Гос. ком. станд. Сов. Министров СССР – Введ. 01.01.1976. – ИПК Издательство стандартов, 1997. – 10 с.