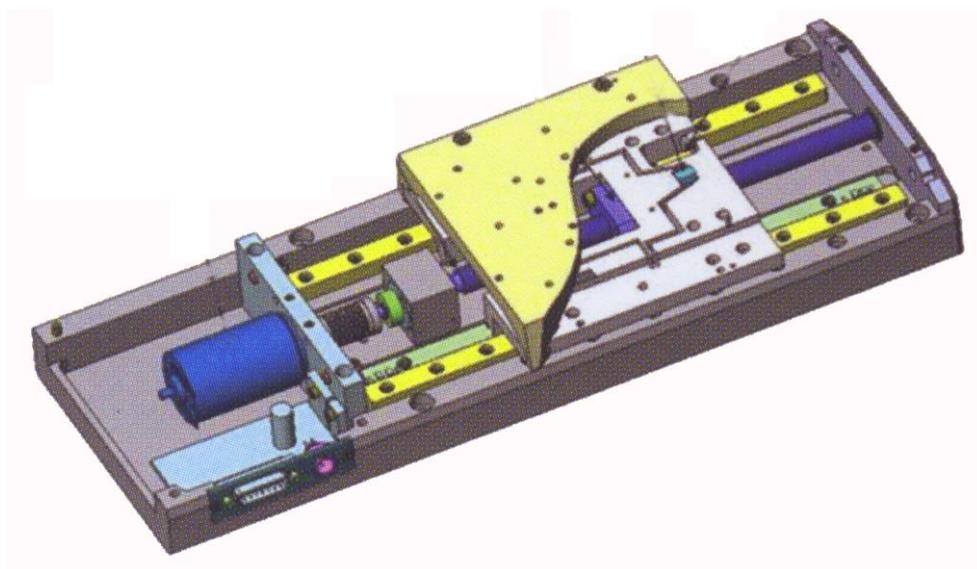


С.С. Митрофанов

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТОЧНОСТНОЙ
АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ И ОПТИКО-
ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**



**Санкт-Петербург
2020**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

С.С. Митрофанов
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТОЧНОСТНОЙ
АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ И ОПТИКО-
ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ
ИТМО

по направлению подготовки 12.04.01, 12.04.02, 12.04.03, 12.04.05
в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных
образовательных программ высшего образования магистратуры,

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург
2020

Митрофанов С.С., Конструирование и точностной анализ оптических и оптико-электронных приборов – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 118 с.

Рецензент(ы):

Иванов Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, филиал АО «Корпорация Комета» — «НПЦ ОЭКН»;

В данном учебном пособии приводится описание лабораторных работ, которые посвящены вопросам проектно-конструкторских и компенсационных (юстировочных) методов и приемов. Рассматриваются вопросы повышения показателей качества изделий оптотехники. Наряду с изучением и теоретическим анализом возможных конструктивных решений студенты знакомятся с практическими методами юстировки, измерений и аттестации оптико-электронных приборов и функциональных устройств.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2020

© Митрофанов С.С., 2020

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа №1. Исследование и конструирование устройств для юстировочных подвижек оптических	6
Лабораторная работа №2. Исследование влияния эксцентриситета лимба и способы его	15
Лабораторная работа №3. Исследование погрешностей индикатора часового типа	32
Лабораторная работа №4. Исследование и анализ погрешностей микрометра	49
Лабораторная работа №5. Изучение конструкции и исследование погрешностей функциональных устройств (на примере двухклинового компенсатора)	61
Лабораторная работа №6. Исследование погрешностей работы рычажного механизма	81
Лабораторная работа №7. Исследование и юстировка проекционного автоколлиматора	92
Лабораторная работа №8. Юстировка углоизмерительной проекционной головки	99
Лабораторная работа № 9. Исследование чувствительности поперечных наводок	104

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по дисциплине «Конструирование и точностной анализ оптических и оптико-электронных приборов», которые проходят студенты-магистры факультета, позволяет закрепить лекционный материал, углубить знания и развить имеющиеся навыки в деятельности по разработке и исследованию новых способов и принципов для создания конкурентоспособных изделий оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты рассматривают специфические особенности широко применяемых основных функциональных узлов оптико-электронных приборов и комплексов, при этом применяют методы анализа научно-технической информации в области оптической инженерии, оптоэлектроники, лазерных приборов, оптических материалов и технологий. Также знакомятся с методами проведения сравнительного анализа изделий-аналогов при формировании измерительной схемы установки, приемами измерений параметров и характеристик приборов, основам конструирования современных точных приборов, типичными представителями которых являются оптические приборы, содержащие в своем составе механические, электронные и оптические устройства и элементы.

Перед выполнением лабораторной работы каждый студент должен тщательно ознакомиться с методическими указаниями к ней, усвоить содержание работы, разобраться в схемах и конструкциях приборов, ознакомиться с методами организации, выполнения и сопровождения опытно-конструкторских работ в области проектирования, производства и испытания данного вида приборов. Объем этой работы определяет преподаватель.

При выполнении работ, связанных с юстировкой приборов, исследуются новые способы и принципы для создания конкурентоспособных методик выполнения этих операций.

Степень готовности студентов к самостоятельной работе оценивается преподавателем в процессе предварительного собеседования, в котором конкретизируется задание на выполнение работы, делая акцент на её научно-исследовательский характер. Таким образом, выполняются более высокие квалификационные требования к студентам в соответствии с Профессиональным стандартом (29.004) в части подготовки магистров в области оплотехники.

Лабораторные установки практикума содержат точные оптические и оптико-электронные приборы, питаемые от сети и автономных источников энергии. Неподготовленный студент может вывести аппаратуру из строя, нарушить технику безопасности и подвергнуть себя и окружающих опасности, поэтому **включать приборы в электрическую сеть следует только с разрешения преподавателя.**

Отчет по лабораторной работе должен содержать указание на цель работы, краткое содержание методики выполнения работы, оптическую схему установки с описанием принципа ее действия, результаты измерений и вычисление по ним с оценкой точности выполненных измерений.

В качестве выводов в рекомендации в отчете обязательно приводятся экспериментальные и расчетные данные, результаты аналитических исследований и рекомендаций. Обработанные материалы измерений, необходимые расчеты сводятся в таблицы и отображаются графически.

Графический материал представляется в масштабе, не снижающем точность результатов измерения. Каждый график должен быть надписан, на его координатных осях указываются размерности отложенных величин.

При оформлении лабораторной работы необходимо проводить оценку полученных результатов с теоретическими данными, проанализировать причины расхождений.

При оформлении отчета по лабораторной работе необходимо руководствоваться ГОСТ 2-105-95.

Защита лабораторной работы происходит на последующем лабораторном занятии. Для успешной защиты необходимо проработать рекомендуемую литературу и подготовиться к ответам на контрольные вопросы, указанные в лабораторной работе.

Измерения, обработка результатов, оформление отчета и защита лабораторной работы выполняются каждым студентом самостоятельно.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЮСТИРОВОЧНЫХ ПОДВИЖЕК ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы и конструкцией установки, содержащей уголкового отражателя.
- 1.2. Составить структурную схему узла юстировки зеркала (углового отражателя).
- 1.3. Составить функциональную схему (ввести входной и выходной информативные параметры сигнала и конструктивные параметры элементарных преобразователей).
- 1.4. Вывести закон функционирования.
- 1.5. Измерить конструктивные параметры элементарных преобразователей (шаг и число заходов резьбы винтового механизма, длина плеч рычажных механизмов).
- 1.6. Экспериментально и теоретически определить значение передаточного отношения узла юстировочного устройства уголкового отражателя.
- 1.7. Рассчитать ожидаемую чувствительность узла поворота зеркала.
- 1.8. Измерить фактически чувствительность с помощью автоколлиматора.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Узел механизма юстировки уголкового отражателя.
- 2.2. Автоколлиматор АК-1У.
- 2.3. Зеркало автоколлиматора, (закреплено на основании юстировочного узла).
- 2.4. Блок питания автоколлиматора.

3. НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Зеркально-призменные системы (ЗПС) требуют весьма строгой ориентировки относительно других элементов оптической схемы. Погрешности расположения неподвижных ЗПС в сходящемся ходе лучей приводят к децентрировкам, наклону и перекосу изображения, срезанию поля зрения и зрачков, расфокусировке. Погрешности расположения неподвижных ЗПС в

параллельном ходе лучей оказывают меньшее влияние на качество изображения, однако часто требуется их строгая угловая установка относительно некоторых баз прибора [8.1, 8.2].

На рис. 1 представлена конструкция узла углового зеркального кварцевого отражателя, содержащего зеркала I, приваренные к кронштейнам 4. Конструкция обеспечивает поворот углового зеркала относительно оси Y . Юстировка отражателя осуществляется наклоном несущего основания 3 вокруг упругого шарнира 2 с помощью винта 6 и рычага 5.

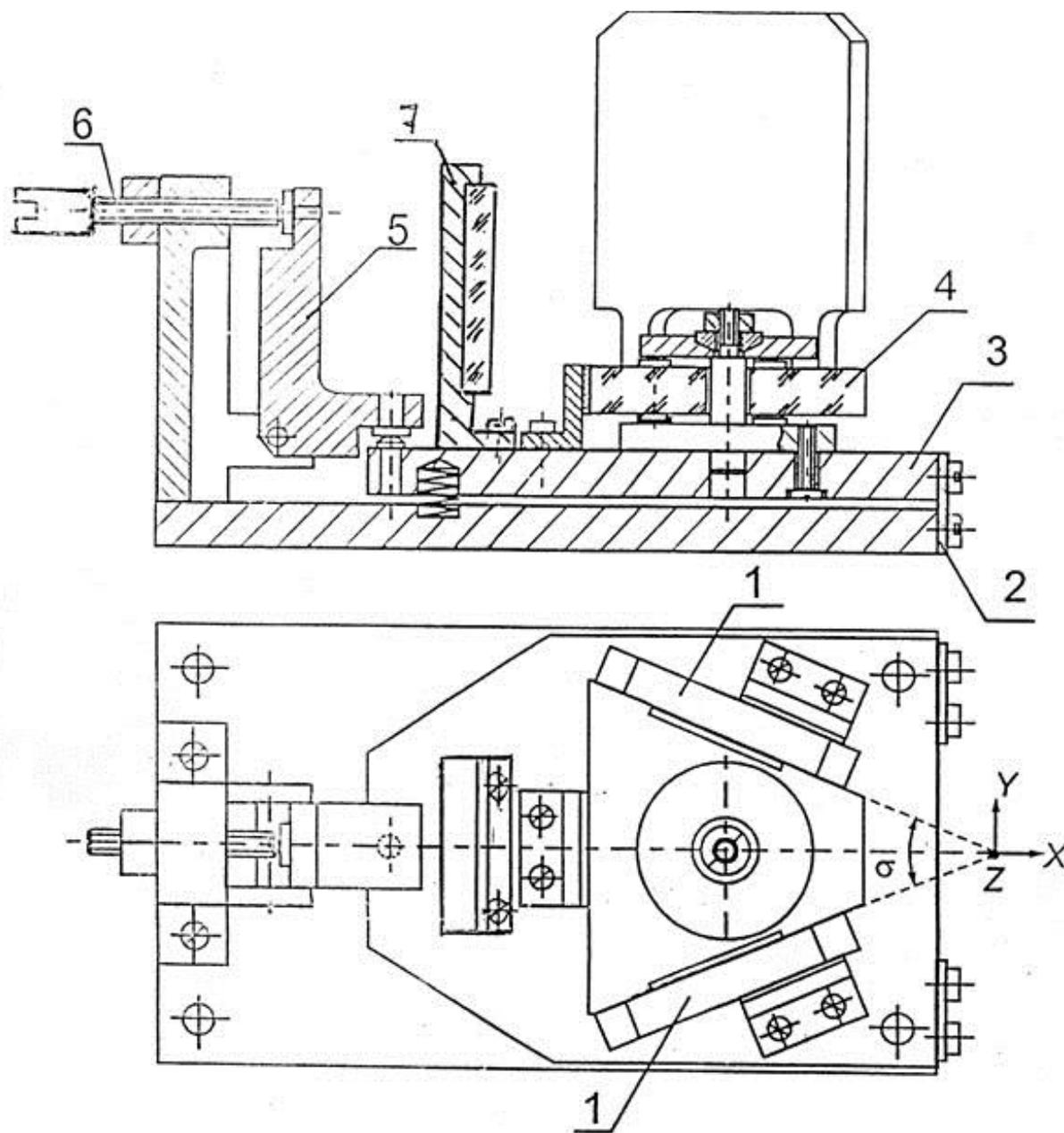


Рисунок 1 – Конструкция уголкового отражателя, где 1 – зеркала уголкового отражателя, 2 – упругий шарнир, 3 – несущая пластина, 4 – кронштейн, 5 – рычаг, 6 – винт с полумуфтой, 7 – зеркало

Схема структурная - схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи (ГОСТ 2.701-84 СТ СЭВ 527-77).

Составление структурных схем кинематики лучше начинать с выходных звеньев и, далее, последовательно изображать на схеме все элементы механизмов вплоть до входных звеньев, которыми часто бывают шкалы и органы управления. Если шкала отсчетного устройства не совмещена с органом управления, то цепь разветвляется - одна ветвь идет до шкалы «точного» отсчета, другая - до органа управления. Для большей наглядности схема всегда строится в развернутом виде, а не в соответствии с конструктивной компоновкой.

На структурной схеме должны быть четко указаны связи между элементарными механизмами цепи. Для изображения отдельных элементов схемы следует пользоваться системой их условных обозначений по ГОСТ 2.770-68 (ЕСКД). В некоторых случаях допускаются отступления от этой системы с целью повышения наглядности и выразительности рисунка. Все звенья цепи необходимо пронумеровать, начиная от входа механизма. При изображении звеньев на схеме желательно выдерживать приблизительно правильные соотношения между их размерами (например, зубчатых колес, длин рычагов, диаметров кулачков и т. п.).

Кинематическая схема строится для промежуточного положения механизма, которое следует выбрать таким, чтобы все звенья цепи были отчетливо видны и было понятным их взаимодействие. Желательно указать на схеме систему отсчета для входной и выходной координат; необходимо также обозначить буквами на схеме координаты входного, выходного и промежуточных звеньев механизма. Кинематическая схема должна быть надписана сверху (должна иметь название), а в правом нижнем углу листа располагается спецификация.

Закон движения сложной цепи составляется на основе известных законов движения элементарных типовых механизмов (см. описании лабораторной работы №5, приложение 1).

Начинать следует от выходного элемента цепи и, последовательно перебирая все звенья, закончить рассмотрение на входе. В результате получится система уравнений (законов движения элементарных механизмов, составляющих рассматриваемую цепь). После решения этой системы получается общий закон движения для всего механизма. Далее, полезно получить промежуточные законы движения, связывающие выходную координату всей цепи с входными координатами каждого из элементарных механизмов.

Если кинематическая цепь прибора имеет один или несколько элементарных механизмов с нелинейными законами движения, то необходимо выяснить, с какой целью это сделано. Возможны два варианта:

а) вся схема специально предназначена для реализации нелинейной функции (обычно в счетно-решающих системах).

В этом случае полный закон движения составляется с учётом указанной нелинейности;

б) нелинейные механизмы включены с целью упрощения конструкции и

повышения точности.

В этом случае закон движения обычно линеаризуется, т. е. принимается допущение о его линейности, в результате чего появляется теоретическая ошибка. Это допущение войдет и в общее выражение закона движения всей кинематической цепи. В дальнейшем, при определении источников ошибок механизма, эта теоретическая ошибка должна быть учтена.

Схема функциональная - схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом (ГОСТ 2.701-84 СТ СЭВ 527-77).

Схемами функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке, изображенной на рис. 2.

На общей станине 1 установлены уголкового отражатель 2 и оптически с ним связанный автоколлиматор АК-1У 3.



Рисунок 3 – Установка для исследования уголкового отражателя, где 1 – станина, 2 – уголкового отражатель, 3 – автоколлиматор

На установке автоколлиматором 3 измеряются вертикальные углы отклонения пучка лучей отражателем 2.

Автоколлиматор (рис. 4) состоит из следующих основных узлов:

- корпуса 3;
- основания 8;
- окулярной головки 6;
- объектива 7.

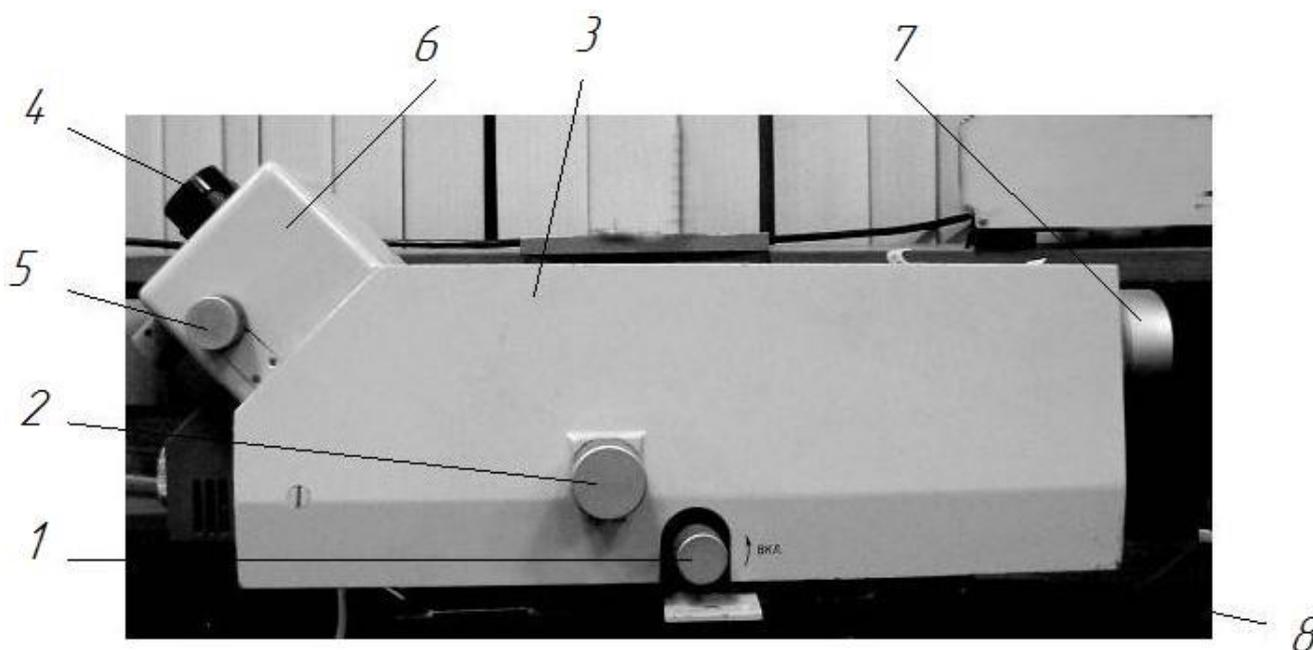
Корпус 3 - алюминиевая отливка, с одной стороны в него ввинчивается объектив 7, а с другой - окулярная головка 6 с компенсатором. Окулярная головка закрыта крышкой. Основание 8 закрепляется на плите с помощью двух постоянных магнитов, включаемых маховичком 1. Основание имеет механизм для установки автоколлиматора перпендикулярно отражающей поверхности зеркала.

Для установки в вертикальной плоскости служит маховичок 5, а в горизонтальной - маховичок, расположенный на противоположной стороне.

Окулярная головка 6 содержит минутную и секундную шкалы, положительную и отрицательную линзы компенсатора.

Секундная шкала компенсатора, жестко связанная с положительной линзой, имеет возможность перемещаться в двух направлениях относительно минутной шкалы маховичком 5 при измерении отклонения углов зеркала в вертикальной плоскости и другим маховичком в горизонтальной плоскости.

Для удобства работы окуляр имеет диоптрийное перемещение для настройки по глазу оператора.



*Рисунок 4 - Общий вид автоколлиматора,
где 1 – маховичок включения магнитов, 2 – маховичок вертикальной
настройки, 3 – корпус, 4 – окуляр, 5 – маховичок микрометра вертикальных
углов, 6 – окулярная головка, 7 – объектив, 8 – основание*

Вид поля зрения автоколлиматора показан на рис. 5.

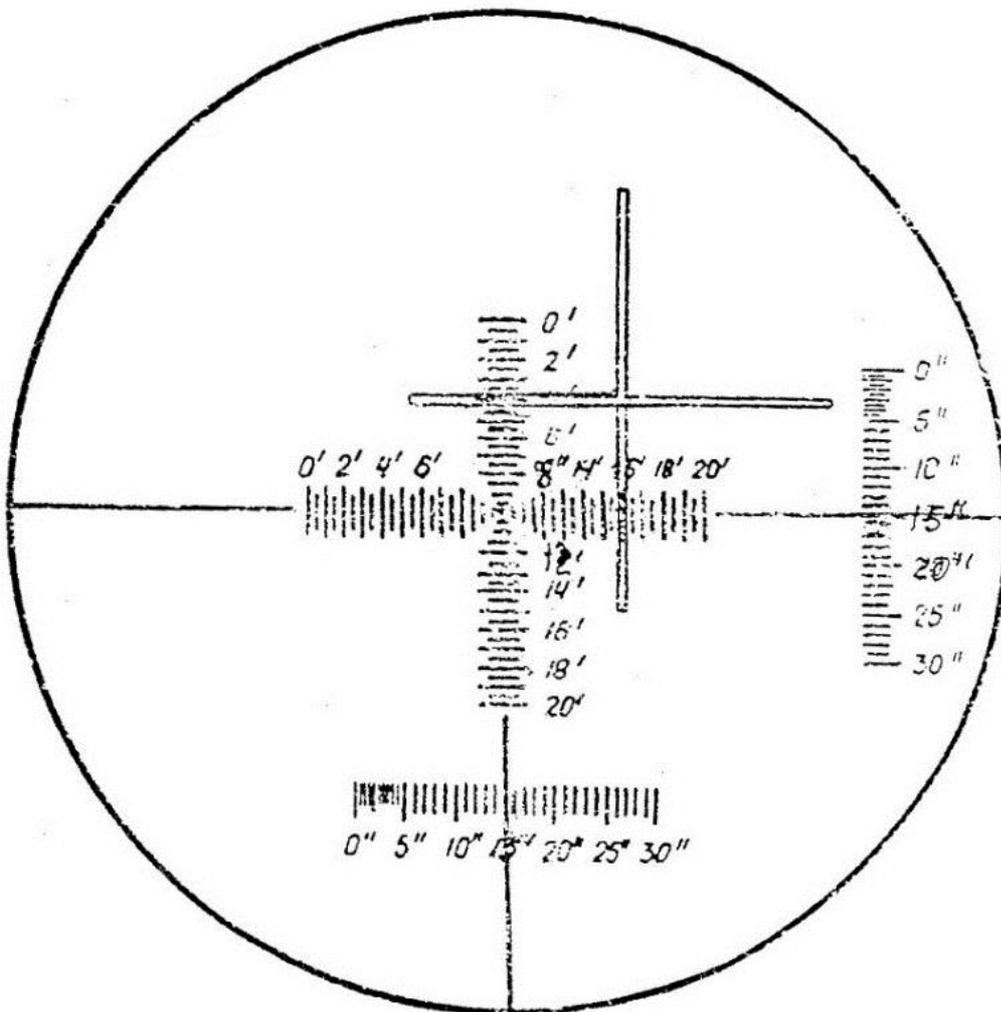


Рисунок 5 - Вид поля зрения автоколлиматора АК-1У

Здесь отсчет вертикального угла автоколлиматора снимается с вертикальных шкал: минутной, расположенной в центре поля зрения (15'), и секундной - в нижней части (15"), и он равен 15'15". Отсчет можно снимать только в положении, когда горизонтальная часть креста совмещена с ближайшим штрихом минутной шкалы вертикальных углов. Совмещение осуществляется вращением маховичка 5 микрометра автоколлиматора.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Ознакомиться с описанием работы.

5.2. Провести анализ конструкции узла юстировочного устройства углового отражателя, составить структурную и функциональную схемы

(обозначить входной и выходной информативные параметры сигнала и конструктивные параметры элементарных преобразователей).

5.3. Вынести закон функционирования уголкового отражателя (воспользоваться схемами типовых элементарных механизмов, приведенными в описании лабораторной работы №5, приложение 1).

5.4. Измерить конструктивные параметры элементарных преобразователей, входящие в закон функционирования.

5.5. Рассчитать значение передаточного отношения узла юстировочного устройства уголкового отражателей.

5.6. Измерить с помощью автоколлиматора величину отклонения отражателя в пределах половины диапазона шкалы автоколлиматора, задавая на вход юстировочного устройства (полумуфту винта) углы через 0,5 оборота.

Рассчитать по результатам измерений фактическое значение передаточного отношения юстировочного устройства.

5.7. Рассчитать ожидаемую чувствительность узла юстировочного устройства уголкового отражателя.

5.8. Измерить фактическую чувствительность с помощью автоколлиматора, задавая на полумуфту винта возможно малый угол поворота (на пределе чувствительности руки) и измеряя угол отклонения зеркала по шкале автоколлиматора.

Данные измерения провести при зрительном контроле по автоколлиматору и без наблюдения в автоколлиматор.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Структурная схема уголкового отражателя.
- 6.2. Функциональная схема уголкового отражателя.
- 6.3. Закон функционирования уголкового отражателя.
- 6.4. Расчет ожидаемой чувствительности уголкового отражателя.
- 6.5. График результатов измерений на автоколлиматоре.
- 6.6. Схема установки для измерений и оптическая схема автоколлиматора.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

7.1. Почему в конструкции уголкового отражателя предусмотрена юстировка поворота только вокруг оси Y , а не осей X и Z ?

7.2. Если уголкового отражатель работает в сходящемся пучке лучей, то какое условие нужно выполнить (по расположению оси Z) для того, чтобы поворот

отражателя вокруг этой оси не вызывал смещения изображения?

7.3. Почему возникает смещение изображения в случае, когда ось Z расположена произвольно относительно уголкового отражателя?

7.4. Приведите формулы смещения изображения.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

8.1. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Учебное пособие для приборостроительных вузов. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1982.

8.2. Латыев С. М. Компенсация погрешности в оптических приборах. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1985.

8.3. Митрофанов С. С. Оптические и оптико-электронные измерительные приборы. Часть I. Пособие к выполнению лабораторных работ. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2010. - 110 с. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2276.pdf>.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Таблица 1. Психофизиологические возможности человека

Вид движения	Тип органа управления, условия движения	Чувствительность руки человека
Вращательное	Рукоятка при оптимальном моменте сопротивления (1 Н·см - 2,5 Н·см) с опорой кисти руки	2' - 3'
	Рукоятка при отличии момента сопротивления от оптимального с опорой кисти руки	10' - 15'
	Рукоятка при оптимальном моменте сопротивления без опоры кисти руки	20' - 30'
	Рукоятка при отличии момента сопротивления от оптимального без опоры кисти руки	30' - 1°
	Отвертка при оптимальном моменте сопротивления с опорой кисти руки	30' - 1°
	Отвертка при отличии момента сопротивления от оптимального без опоры кисти руки	1° - 5°
	Шпилька, ключ при оптимальном моменте сопротивления с опорой кисти руки	1° - 2°
	Шпилька, ключ при отличии момента сопротивления от оптимального без опоры кисти руки	3° - 5°
Поступательное	Рукоятка при оптимальной силе сопротивления (0,5 Н—1,0 Н) с опорой кисти руки	0,02 - 0,05 мм
	Рукоятка при отличии силы сопротивления от оптимальной без опоры кисти руки	0,1 - 0,2 мм

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА ЛИМБА И СПОСОБЫ ЕГО КОМПЕНСАЦИИ

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
- 1.2. Изучить влияние эксцентриситета лимба на погрешность функционирования приборов.
- 1.3. Выполнить центрирование лимба на лабораторной установке.
- 1.4. Оценить величину остаточной погрешности центрировки лимба.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Центрируемый лимб, делительный диаметр нанесения штрихов которого равен 90 мм.
- 2.2. Отсчетный микроскоп с сеткой с ценой деления 0,1 мм.
- 2.3. Стойка для крепления лимба.
- 2.4. Отвертка.

3. ПОНЯТИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА

Лимбы являются мерой угла углоизмерительных приборов гониометрического типа. От точности изготовления и сборки лимбов в значительной степени зависит точность работы этих приборов. Основными погрешностям лимба являются установочный эксцентриситет и погрешность деления. В прецизионных углоизмерительных приборах производят компенсацию этих погрешностей.

Эксцентриситет Δe - несовпадение оси вращения лимба O_1 с центром делений O_2 (рис. 1) - приводит к появлению погрешности отсчета $\Delta\varphi_o$ по лимбу, оцениваемое как

$$\Delta\varphi_o = -\frac{\Delta e}{R} \sin\theta,$$

где θ - направление эксцентриситета, R - рабочий радиус лимба.

При этом погрешность измерения угла поворота лимба определится по

формуле

$$\Delta\varphi_0 = -\frac{\Delta e}{R}(\sin\theta_T - \sin\theta_H) = \frac{\Delta e}{R}[\sin\theta_H - \sin(\varphi + \theta_H)],$$

где θ_T и θ_H - начальное и текущее направления эксцентриситета, соответственно, φ - угол поворота лимба от начального до текущего положения.

Из графиков (рис. 1, б) видно, что погрешность представляет собой синусоиду только в частном случае. Во всех остальных состояниях это кривая, заключенная между функциями $(\cos\varphi - 1)$ и $(1 - \cos\varphi)$.

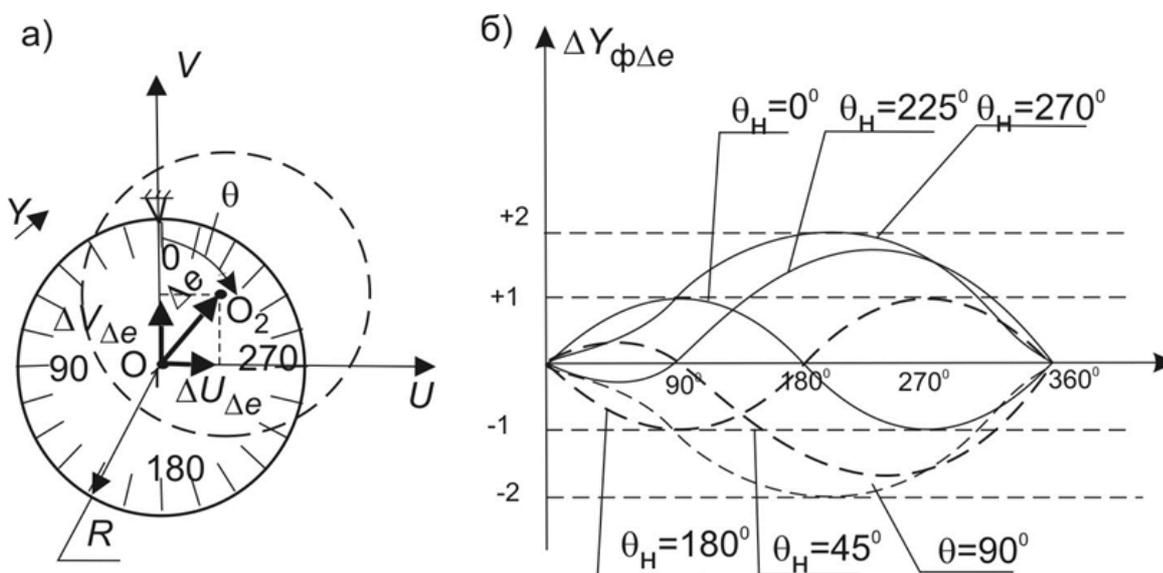


Рисунок 1 а, б – Погрешность измерения углов из-за наличия эксцентриситета лимба: а – графическая иллюстрация появления погрешности отсчета, б – зависимость погрешности от угла начальной фазы θ_H

Различают следующие способы компенсации влияния эксцентриситета.

1. Центрирование лимба.
2. Работа на диаметрально противоположных участках лимба (двойной отсчет).
3. Смещение изображения.

4. СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА

4.1.1. ЦЕНТРИРОВАНИЕ ЛИМБА ПО ЦЕНТРИРОВОЧНОЙ ОКРУЖНОСТИ

Центрирование лимба производится по его геометрическим элементам или путем измерения составляющей погрешности, обусловленной эксцентриситетом. Центрирование по геометрическим элементам осуществляется обычно по центрировочной окружности, которая накосится на лимб при его изготовлении в процессе деления. Иногда центрирование производят по специальным меткам или концам рабочих штрихов. Для устранения эксцентриситета лимб должен иметь возможность перемещаться относительно оправки или вместе с оправой перпендикулярно оси вращения.

При центрировке ось с лимбом вращают в центрах, на призме, либо в штатных подшипниках, наблюдая в микроскоп за биением изображения центрировочной окружности (или концов штрихов) относительно биштриха сетки отсчетного микроскопа. Схема центрирования лимба по центрировочной окружности приведена на рис.2.

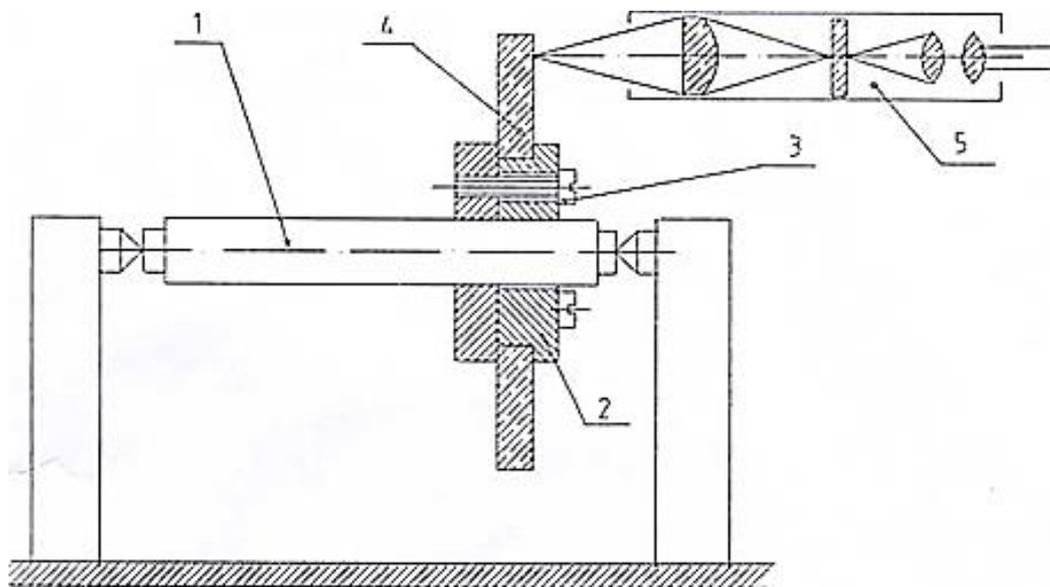


Рисунок 2 – Схема установки для центрирования лимба, где 1 – вал, на котором жестко закреплен центрируемый лимб, 2 – оправка лимба, 3 – винты крепления оправы, 4 – лимб, 5 – отсчетный микроскоп

Биение устраняется легким постукиванием по лимбу при незатянутых окончательно крепящих винтах либо сдвигом его оправы центрировочными винтами. После устранения эксцентриситета лимб закрепляют окончательно,

фиксируя при необходимости его положение клеем герметиком или глетоглицериновым цементом.

Установка для центрирования лимба состоит из оси вращения 1 (вал, установленный в центрах), на которой с помощью оправы 2 и винтов 3, закреплён лимб 4. Биение центрировочной риски, нанесенной на лимб при его делении, можно наблюдать с помощью отсчетного микроскопа 5. Вращение вала задается рукой оператора.

Остаточная погрешность центрировки при таком методе компенсации обусловлена некруглостью центрировочной риски, погрешностью совмещения ее изображения с маркой сетки микроскопа (из-за параллакса, ограниченной остроты зрения оператора) и ограниченной чувствительности смещения лимба, а также влиянием погрешности опор вращения оси.

Как показывает практика, погрешность центрирования величиной 2 - 5 мкм, может привести к погрешности измерения по лимбу, диаметр которого составляет 100 мм, до 10 - 15".

4.1.2. ЦЕНТРИРОВАНИЕ ЛИМБА ПО ЧЕТЫРЕМ ДИАМЕТРАЛЬНО ПРОТИВОПОЛОЖНЫМ ШТРИХАМ С ПОМОЩЬЮ ДВУХ МИКРОСКОПОВ

Этот метод обеспечивает более высокую точность, чем предыдущий, однако требует, чтобы на лимбе при его изготовлении были нанесены 4 штриха через 90°. Эти штрихи называются центрировочными.

Суть этого метода поясняется на рис. 3.

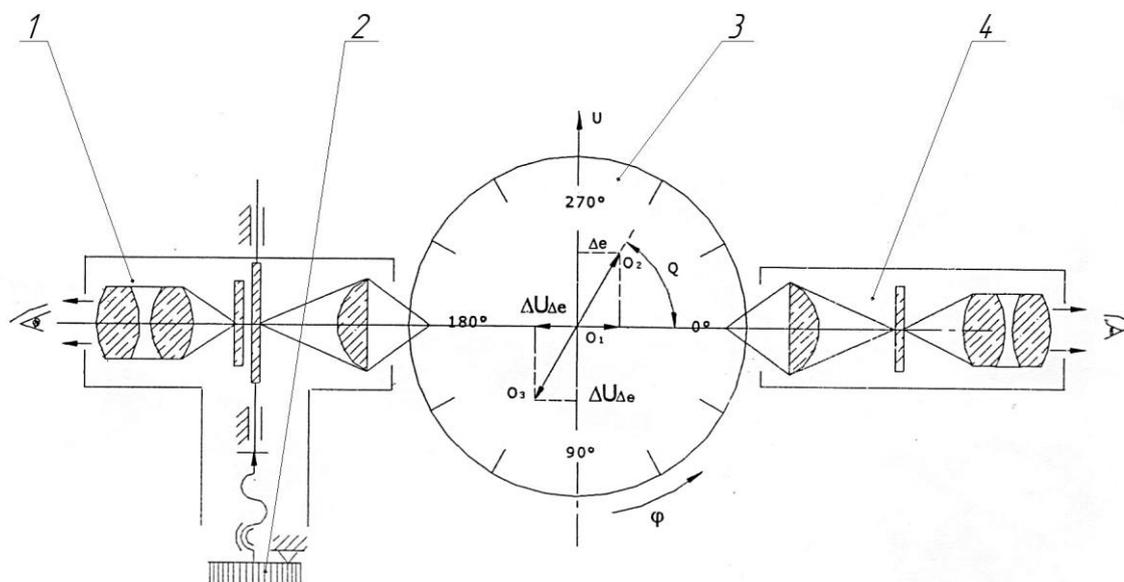


Рисунок 3 – Схема центрирования лимба по четырем штрихам с помощью двух микроскопов, где 1 – отсчетный микроскоп, 2 – окуляр-микрометр, 3 – лимб, 4 – визирный микроскоп

При центрировании лимба его вращением в направлении стрелки φ совмещают изображение одного из центрировочных штрихов лимба с биштрихом сетки визирного микроскопа 4. На противоположный штрих центрируемого лимба 3 наводят отсчетный микроскоп 1. Совмещение его биштриха с противоположным центрировочным штрихом лимба осуществляют вращением барабанчика винтового окуляр-микрометра 2. Затем, повернув лимб на 180° , совмещают биштрих сетки микроскопа 4 с изображением противоположного штриха. Тогда положение нулевого штриха относительно сетки отсчетного микроскопа 1 будет отстоять на удвоенную величину проекции вектора эксцентриситета на ось U . Величину этого смещения можно измерить при помощи окуляр-микрометра 2. Сдвинув лимб вдоль этой оси на половину измеренной величины $\Delta U_{\Delta e}$, производят частичную компенсацию эксцентриситета.

Окончательную компенсацию производят выполнением подобных операций для пары штрихов, расположенных под углом 90° к первым двум штрихам.

Достоинством этого метода является еще частичная компенсация первой гармоники погрешности деления лимба.

4.1.3. МЕТОД ЦЕНТРИРОВАНИЯ ЛИМБА, ОСНОВАННЫЙ НА ИЗМЕРЕНИИ ПОГРЕШНОСТИ УГЛА ПОВОРОТА, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПО ЛИМБУ

При этом методе измерения: производят сравнением угла поворота оси, задаваемого с помощью эталонного зеркального полигона 1 и автоколлиматора 2, с углом, измеренным по лимбу 3 и отсчетному микроскопу 4 (рис. 4).

По графику измеренной погрешности (рис. 5) выявляют ее составляющую, обусловленную установочным эксцентриситетом лимба и первой гармоникой погрешности деления. Эта составляющая может считаться результатом действия некоторого суммарного вектора эксцентриситета, численное значение и направление которого определяются с помощью графика.

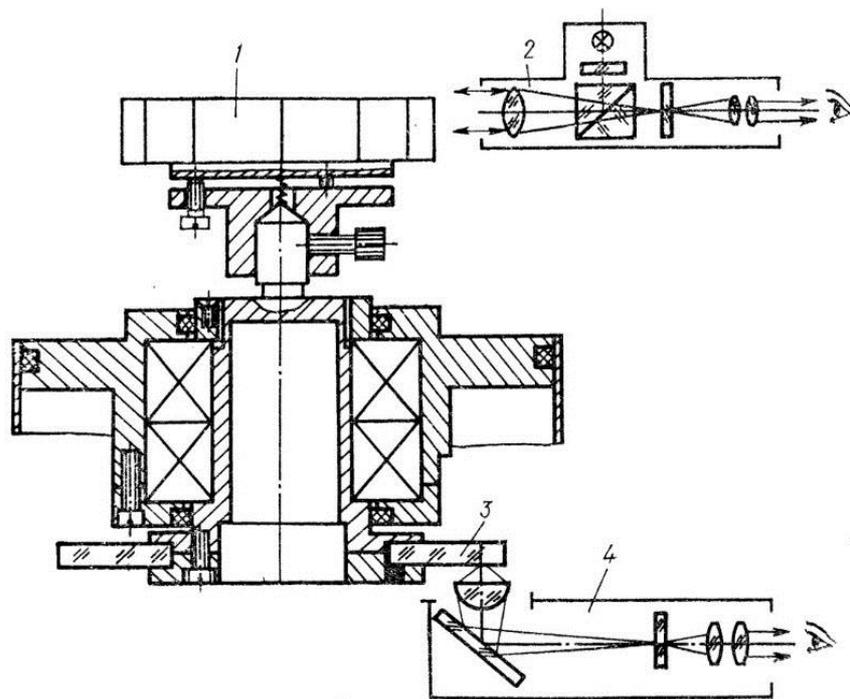


Рисунок 4 – Схема центрирования лимба по измеренной погрешности угла поворота, где 1 – многогранная призма (полигон), 2 – автоколлиматор, 3 – центрируемый лимб, 4 – отсчетный микроскоп

После вычисления

$$\Delta e_{\Sigma} = \frac{\Delta \varphi_{\max \Delta e_{\Sigma}}}{2R},$$

где R - рабочий радиус лимба, и определения его фазы θ_n смещают лимб на величину $\Delta e_k = \Delta e_{\Sigma}$ в сторону, противоположную Δe_{Σ} , создавая этим коррекционное воздействие $\Delta \varphi_k$, находящееся в противофазе с $\Delta \varphi_{\max \Delta e_{\Sigma}}$.

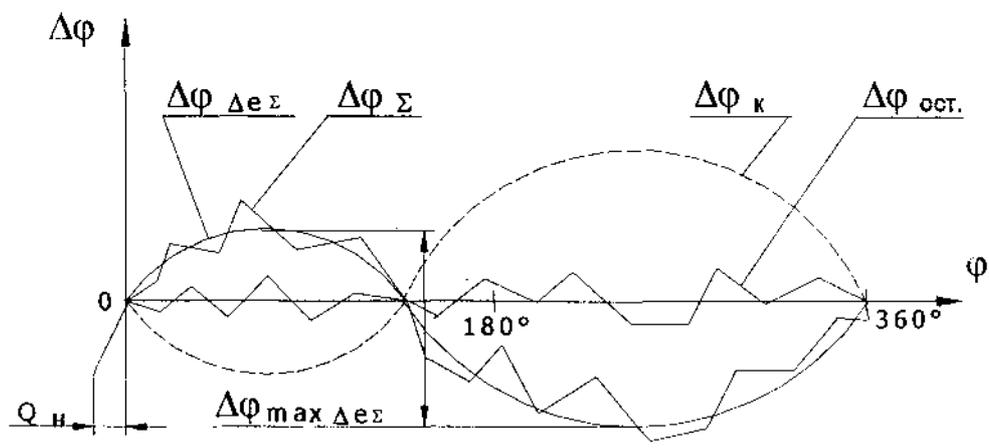


Рисунок 5 – Графики измеренных погрешностей угла поворота лимба, здесь $\Delta \varphi_{\Sigma}$ – суммарная погрешность, $\Delta \varphi_{\max \Delta e_{\Sigma}}$ – составляющая погрешности от эксцентриситета, $\Delta \varphi_k$ – коррекционное воздействие, $\Delta \varphi_{\text{ост}}$ – остаточная погрешность

Дальнейшее измерение оставшейся погрешности $\Delta\varphi_{\text{ост}}$ позволяет судить о качестве выполненной центрировки.

4.2. СПОСОБ ЦЕНТРИРОВКИ, ОСНОВАННЫЙ НА АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Более чувствительным способом центрировки лимба по сравнению с визуальными способами является центрировка, основанная на анализе электрических сигналов, формируемых двумя электрическими считывающими системами, установленными на диаметрально противоположных участках лимба. Как было уже отмечено, сигналы будут смещены друг относительно друга во времени, поэтому, измерив сдвиг фаз, например, с помощью фазометра, можно оценить суммарный эксцентриситет, его направление и использовать для центрировки. Более простым способом является применение для этих целей двухлучевого или простого осциллографа. В первом случае сигналы от считывающих систем подаются на разные входы осциллографа и по одному из них синхронизируется развертка. Тогда периодическое смещение второго сигнала относительно первого, будет характеризовать искомую величину, пропорциональную учетверенному значению эксцентриситета и коэффициенту электрического усиления [4].

Можно произвести центрировку лимба с помощью простого осциллографа (рис. 6 а, б).

Электрический сигнал квазисинусоидальной формы (колоколообразный, треугольный, трапецеидальный и т. п.), вырабатываемый считывающей системой 2 при равномерном вращении лимба 1, преобразуется формирователем 3 в узкий прямоугольный электрический импульс. Квазисинусоидальный сигнал, вырабатываемый считывающей системой 5, установленной на диаметрально противоположной стороне лимба, остается неизменным. Оба сигнала подаются на вход осциллографа 4, создавая на его экране фигуру, изображенную на рис. 6 б.

Из-за суммарного эксцентриситета лимба прямоугольный импульс, играющий роль индекса, перемещается относительно квазисинусоиды (по которой синхронизируется развертка осциллографа) из положения I в положение II. Значение суммарного эксцентриситета Δe_{Σ} определяется из соотношения:

$$e = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{8H} T,$$

где h_{\max} и h_{\min} - координаты максимального и минимального смещений импульса, соответственно, H – поле изменения квазисинусоидального сигнала, T - линейный шаг между импульсообразующими элементами (штрихами) лимба.

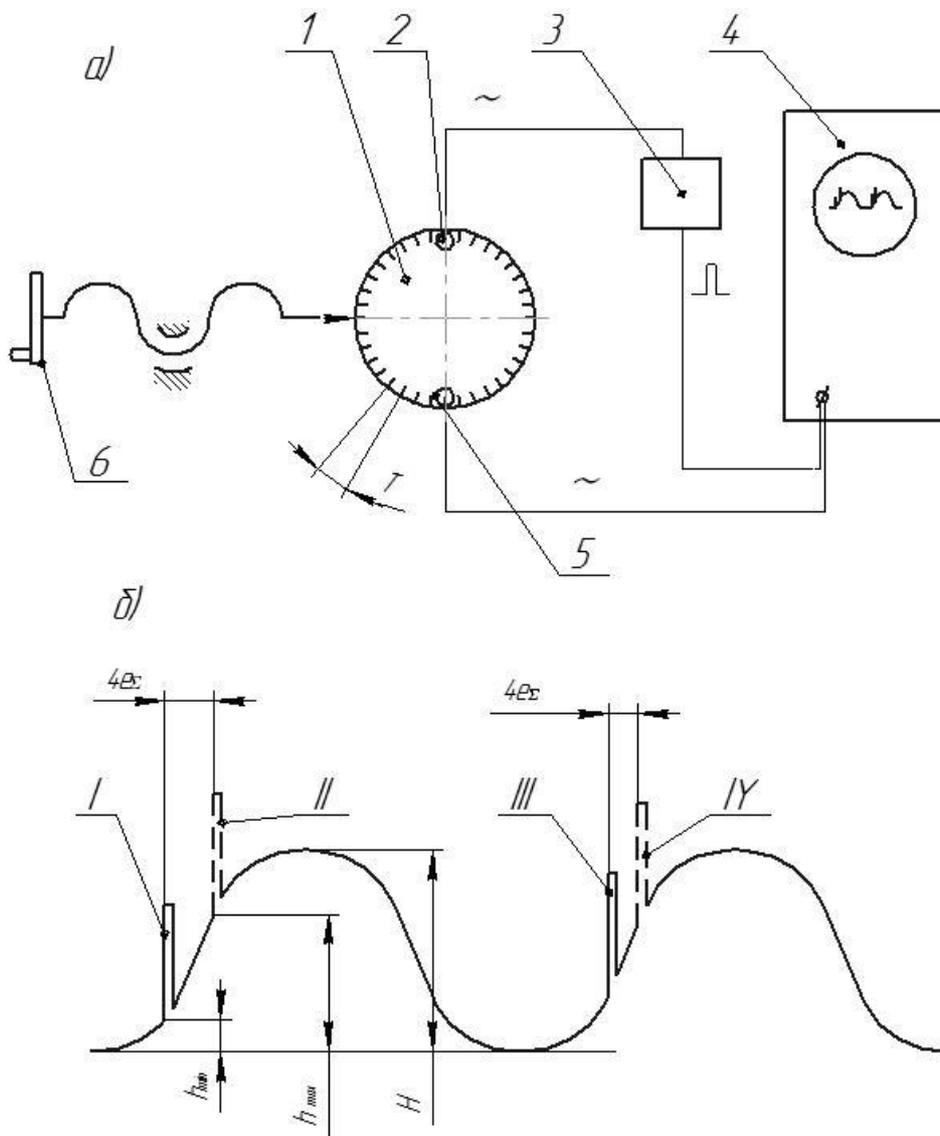


Рисунок 6 – Центрирование лимба по электрическим сигналам считывающих систем, а – схема центрирования, где 1 – центрируемый лимб, 2 – первая считывающая система, 3 – формирователь прямоугольного импульса, 4 – осциллограф, 5 – вторая считывающая система, 6 – механизм смещения лимба, б – эюры сигналов со считывающих систем, здесь I, II, III, IV – положение прямоугольного импульса при различных положениях лимба, $\Delta\epsilon_{\Sigma}$, $\Delta\epsilon_i$ – максимальный эксцентриситет и текущий, соответственно, H – максимальная величина амплитуды выходного сигнала считывающих систем, h_{\min} , h_{\max} – минимальная и максимальная величина смещения прямоугольного импульса, соответственно

Чувствительность этого способа весьма высока благодаря масштабному усилению электрических сигналов на осциллографе и высокой чувствительности зрения оператора к определению взаимного смещения прямоугольного импульса и наклонной прямой участка квазисинусоиды.

Для устранения децентрировки лимба его сдвигают (с помощью винтового, винто-рычажного механизмов или постукиванием) в направлении,

перпендикулярном к линии, соединяющей считывающие системы. Эту операцию выполняют для одного из крайних положений прямоугольного импульса на экране осциллографа (какого именно - определяется экспериментально), которому соответствует направление вектора суммарного эксцентриситета, также перпендикулярное линии, соединяющей считывающие системы.

4.3. РАБОТА НА ДИАМЕТРАЛЬНО ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ ЛИМБА

Этот способ основан на применении в приборе двух считывающих систем, работающих на взаимно противоположных участках лимба. Отсчет, снимаемый по одному из отсчетных устройств (рис. 7), будет увеличен на погрешность эксцентриситета лимба ($\frac{\Delta U_{\Delta e}}{R}$), а отсчет по другому устройству - уменьшен на эту же величину, т.е.

$$O_1 = O + \frac{\Delta U_{\Delta e}}{R}, \quad O_2 = 180^\circ - \frac{\Delta U_{\Delta e}}{R}.$$

При измерении некоторого угла φ_o по первому считывающему устройству получим $\varphi_1 = \varphi_o + \Delta\varphi_{\Delta e}$, по второму - $\varphi_2 = \varphi_o - \Delta\varphi_{\Delta e}$.

Это позволяет получить значение угла без погрешности от эксцентриситета лимба:

$$\varphi_o = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}.$$

Очевидно, что при двойном отсчете происходит компенсация первой и всех нечетных гармоник погрешностей деления лимба.

Данный метод компенсации получил широкое распространение в фотоэлектрических угловых датчиках, основанных на растровых лимбах.

На рис. 7 изображена схема фотоэлектрического преобразователя круговых перемещений, преобразующего угол поворота вала с лимбом в серию последовательных электрических сигналов (вырабатываемых фотоприемниками 1 и 3), определяющих его пространственное положение.

Эксцентриситет приводит к тому, что на одном конце лимба изображение анализируемого штриха 5, создаваемое осветительной 6 и проекционным объективом 4 в плоскости штрихов лимба, начинает модулироваться раньше, а на противоположном конце - позже. В случае одностороннего считывания это приводит к погрешности измерения угла, так как формируемые системой обработки сигнала импульсы, являющиеся мерой угла, будут смещены.

При двустороннем считывании и суммировании сигналов с фотоприемников на некотором сопротивлении R происходит

взаимокомпенсация погрешностей и их расположения. В результате этого импульсы, формируемые системой 2 по переднему фронту суммарного сигнала, не претерпевают смещения из-за эксцентриситета лимба [2].

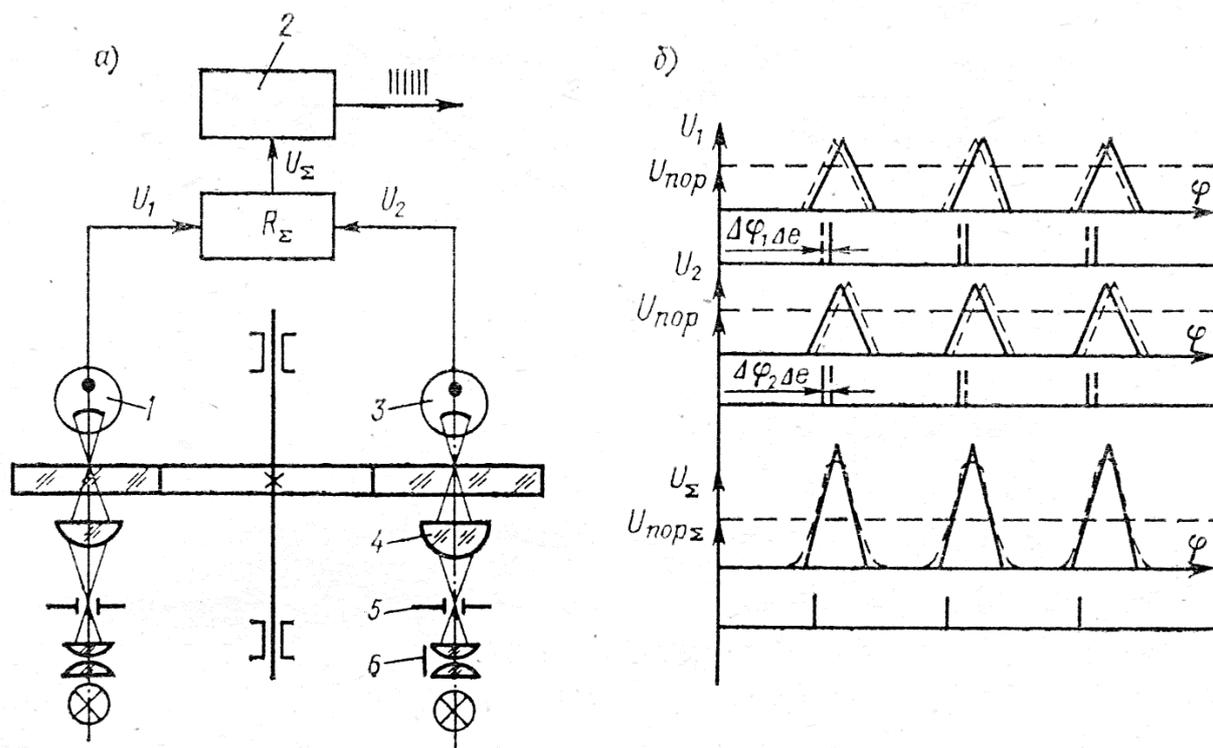


Рисунок 7 – Компенсация эксцентриситета лимба фотоэлектрическим преобразователем круговых перемещения при двухстороннем считывании, а – схема преобразователя, где 1, 3 – фотоприёмники, 2 – формирователь электрических импульсов, 4 – проекционный объектив, 5 – анализируемый штрих, по конструктивным параметрам идентичный штрихам лимба, б – осветительная система, б – эиоры электрических сигналов, снимаемых со считывающих устройств преобразователя, здесь U_1, U_2, U_Σ – амплитуда электрического сигнала, снимаемого с 1, 2 считывающего устройства и суммарный, соответственно, $U_{пор}, U_{пор\Sigma}$ – пороговая амплитуда для считывающих устройств и суммарная, соответственно, $\Delta\varphi_{1\Delta\varepsilon}, \Delta\varphi_{2\Delta\varepsilon}$ – погрешность измерения угла 1 и 2 считывающим устройством из-за наличия эксцентриситета, соответственно, φ – угол поворота лимба

Еще одним примером рассматриваемого способа компенсации может служить схема компенсации эксцентриситета путем переноса изображения освещенного штриха лимба с одного участка на противоположный, приведенная на рис. 8.

Благодаря тому, что проекционная система, состоящая из объективов 2, 3 (рис. 8), прямоугольных призм 1, 4, призмы с крышей 5 и осветительной системы 8, создает увеличение $\Gamma=1^x$, изображение части лимба б, движущееся навстречу модулирующим его штрихам противоположного участка лимба, перемещается

из-за влияния эксцентриситета лимба на величину

$$y' = (\sin\theta \cdot \Delta e) \Gamma = \Delta U_{\Delta e},$$

равную перемещению вдоль этой оси нижней части лимба. В результате не возникает погрешности взаимного расположения электрических импульсов, определяющих угол поворота лимба φ .

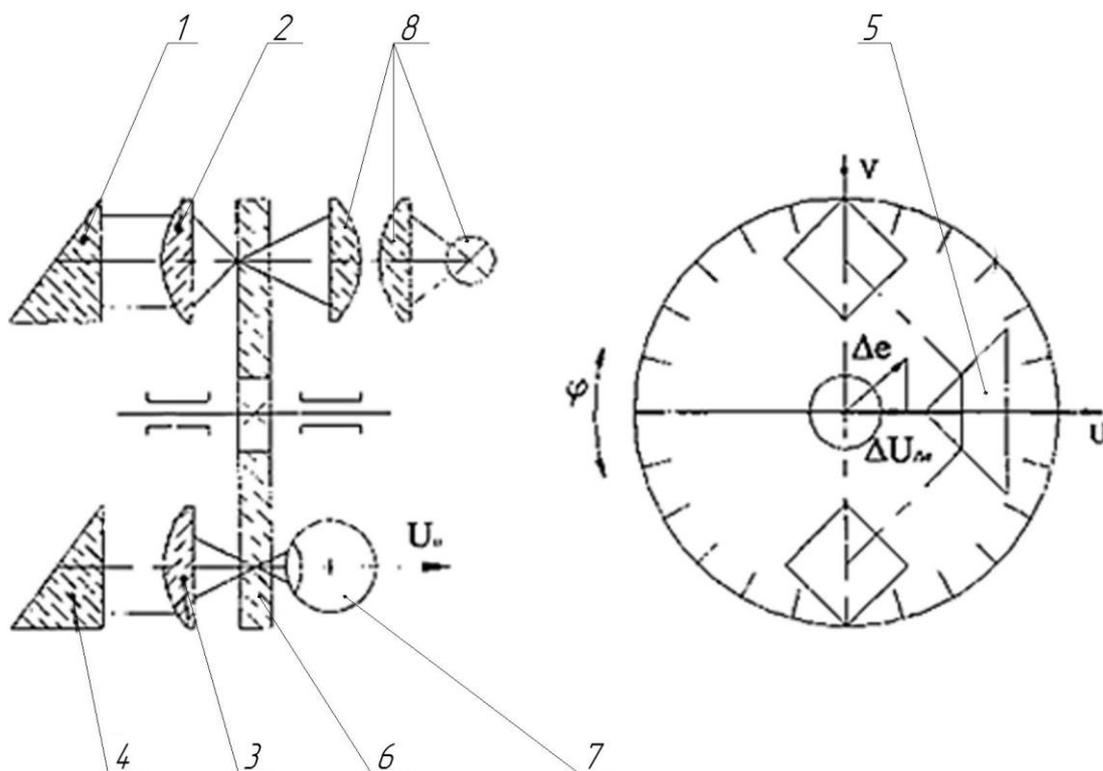


Рисунок 8 – Схема фотоэлектрического преобразователя круговых перемещений с «перекидкой», где 1, 4 – прямоугольные призмы, 2, 3 – проекционный объектив, 5 – прямоугольная призма с крышей, 6 – лимб, 7 – фотоприёмник, 8 – осветительная система

4.4. СМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Смещение изображения, создаваемого оптической системой, применяют в связи с тем, что производительность работы визуальных углоизмерительных приборов с двойным отсчетом ниже, чем приборов с одним отсчетом. Суть этого способа состоит в том, что если создать перемещение индекса, по которому производится отсчет, на величину $\Delta U_{\Delta e}$, или, наоборот, переместить изображение шкалы на эту же величину, то несмотря на наличие эксцентриситета, погрешности отсчета не возникает (рис. 1 а, б).

В некоторых приборах этот способ компенсации реализуется посредством смещения индекса, в качестве которого используется изображение кольцевой

риски лимба. Такое решение позволяет упростить конструкцию и юстировку прибора [3]. На рис. 9 приведена схема оптического угломерного стола, в котором изображение кольцевой риски 1 лимба 2 проецируется с увеличением 1^x объективом 4 и системой призм в плоскость биштрихов. Затем изображение участка риски и биштрихов проектируется объективом 3 на экран 5.

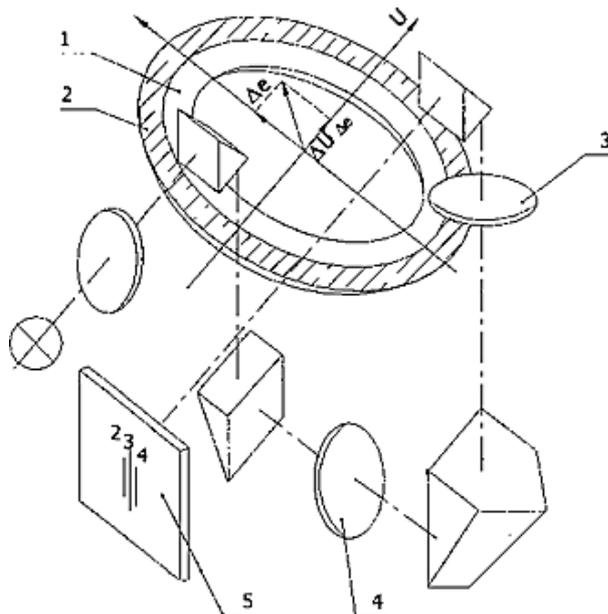


Рисунок 9 – Схема углоизмерительного стола, здесь 1 – кольцевая риска, 2 – измерительный лимб, 3, 4 – объективы, 5 – отсчетная шкала

В этом случае сдвиг проектируемого элемента риски и его изображения (при отсутствии погрешности "рена") вдоль оси U из-за влияния эксцентриситета лимба равен сдвигу совмещаемого с ним биштриха, поэтому влияние эксцентриситета автоматически исключается.

Другой вариант способа компенсации эксцентриситета лимба смещением изображения - это перемещение изображения штриха относительно неподвижного индекса или щели анализатора на величину, компенсирующую влияние сдвига лимба из-за влияния эксцентриситета. Это смещение осуществляется чаще всего с помощью наклонной плоскопараллельной стеклянной пластинки, введенной в отсчетную систему. На рис. 10 изображена схема устройства для контроля кодовых дисков.

При повороте вала 1 с лимбом 2 происходит наклон плоскопараллельной пластинки 8 посредством зубчатых колес 4 и 3, имеющих передаточное число, равное 1, эксцентрика 5 и рычага 6. При небольших углах наклона пластинки изображение штриха лимба будет смещено относительно штриха анализатора 7 на величину

$$\Delta L_k \approx \frac{(n-1)d \sin(\varphi + \theta_{\text{КН}}) \Delta e_{\text{К}}}{nR},$$

где n , d - показатель преломления стекла пластины и ее толщина соответственно,

φ - угол поворота лимба, $\theta_{кн}$, Δe_k - начальная фаза и численное значение вектора эксцентриситета эксцентрика, R - длина рычага.

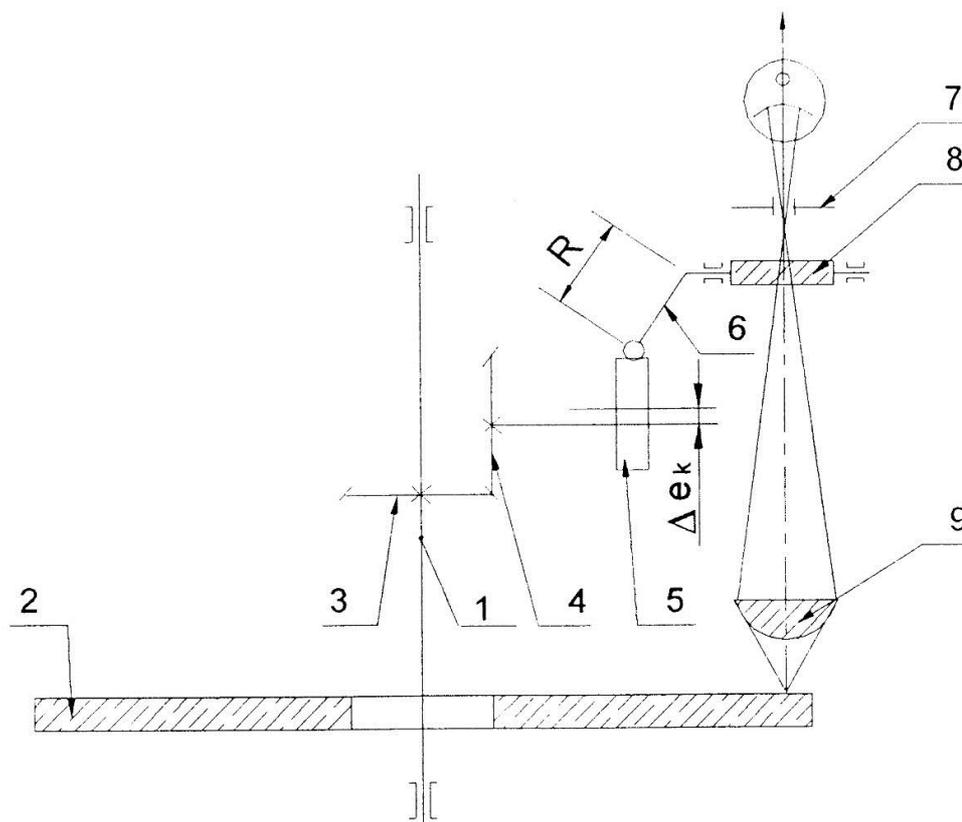


Рисунок 10 - Схема устройства для контроля кодовых дисков с компенсацией эксцентриситета лимба, где 1 – вал (направляющая вращения), 2 – лимб, 3, 4 – зубчатые колеса, 5 – эксцентрик, 6 – рычаг, 7 – штрих анализатора, 8 – качающаяся плоскопараллельная пластинка, 9 – проекционный объектив

С другой стороны, смещение изображения штриха из-за влияния эксцентриситета лимба равно

$$\Delta L_{\Delta e} = \beta \sin(\varphi + \theta_H) \Delta e,$$

где β - линейное увеличение проекционного объектива, θ_H , Δe – начальная фаза и численное значение вектора эксцентриситета лимба.

Для компенсации необходимо обеспечить условие: $\Delta L_k = -\Delta L_{\Delta e}$.

В связи с этим в конструкции необходимо предусмотреть регулировку Δe_k и $\theta_{кн}$ по конкретным значениям, либо вместо эксцентрика поставить кулачок, профилированный по измеренной погрешности лимба.

5. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная установка для центрирования лимба по центрировочной риске приведена на рис. 11.

Установка состоит из кронштейна 1, в котором смонтирован вал 2, вращающийся в подшипниках качения. На валу с помощью зажимных винтов 3 закреплен центрируемый лимб 4. Наблюдение за центрировочной риской, выполненной на лимбе, осуществляется отсчетным микроскопом 5, подсветку которой выполняет осветительная система 6.

В процессе центрирования вращение лимба осуществляется рукой оператора. Также для выполнения работы необходима отвертка 7.

При выполнении лабораторной работы необходимо руководствоваться следующей последовательностью.

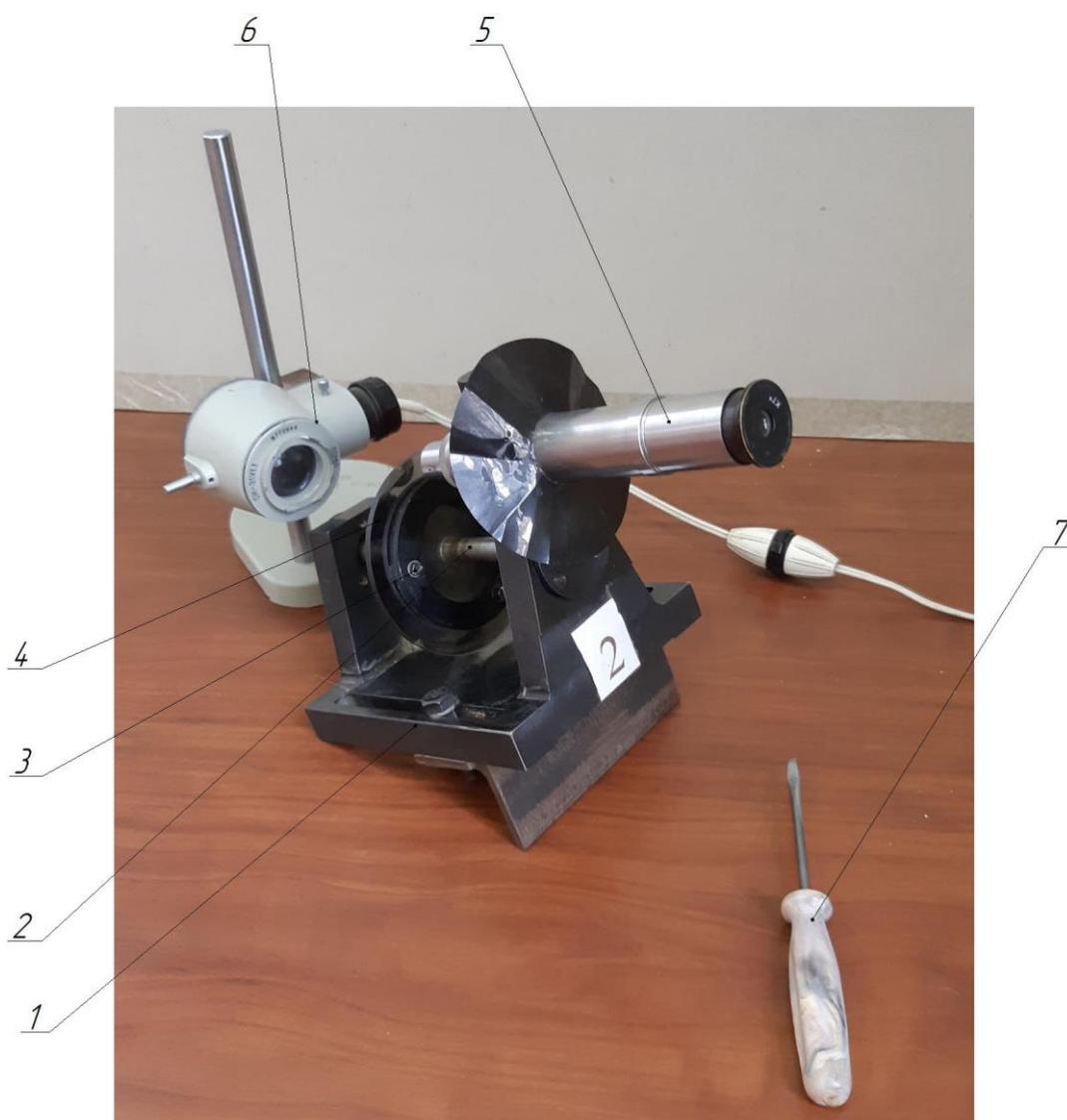


Рисунок 11 – Внешний вид установки для центрирования лимба, где 1 – кронштейн, 2 – вал, 3 – зажимные винты, 4 – лимб, 5 – микроскоп, 6 – осветительная система, 7 – отвертка

5.1. Включить и отрегулировать осветитель 6 так, чтобы наблюдаемое в отсчетный микроскоп 5 поле зрения было освещено равномерно и ярко.

5.2. Настроить микроскоп по глазу. Четко должны быть видны и сетка микроскопа и кольцевая центрировочная риска лимба. Осуществляется перемещением окуляра в тубусе микроскопа.

5.3. Отрегулировать координаты сетки микроскопа по кольцевой риске.

Необходимо, чтобы риска 2 располагалась параллельно штрихам сетки окуляра 1 как показано на рис. 12.

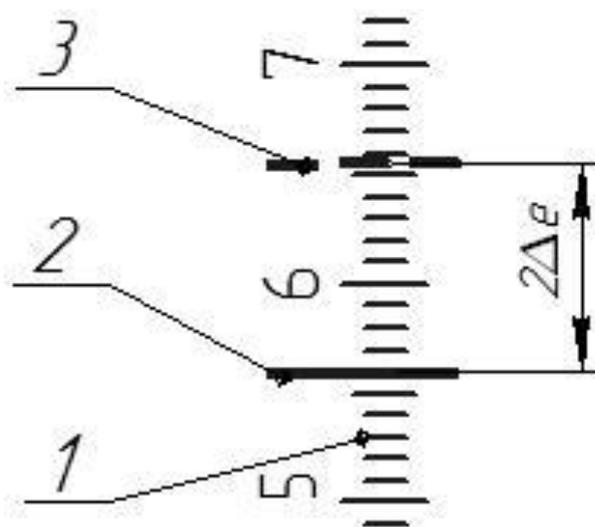


Рисунок 12 – Вид поля зрения микроскопа, где 1 – сетка окуляра, 2, 3 – крайние положения изображения кольцевой риски при вращении лимба, Δe – эксцентриситет лимба

5.4. Вращая лимб, наблюдаем в микроскоп изображение кольцевой риски.

Если лимб не отцентрирован, то изображение риски, нанесённой на лимб, будет смещаться по сетке вверх и в вниз, принимая положение 3 (рис. 12) и 2, соответственно.

Смещение риски равно двойному эксцентриситету Δe .

Для упрощения процесса центрирования необходимо заметить по сетке окуляра диапазон перемещения риски.

5.5. Вращая лимб, добиться крайнего нижнего положения риски. При этом эксцентриситет будет направлен вверх, так как микроскоп переворачивает изображение. Слегка отпустить винты 3 и, наблюдая за риской в микроскоп, постукивая карандашом по лимбу сверху, убирают половину величины биения риски. После чего аккуратно затянуть винты 3. Винты затягивать постепенно в несколько заходов, проходя все три винта. Затем снова вращают лимб, наблюдая в микроскоп за риской. Если перемещение риски укладывается в пределах одного деления сетки окуляра, операция центрирования считается

выполненной.

5.6. Оценить величину остаточного эксцентриситета, принимая во внимание линейное увеличение объектива микроскопа равным 9^x , апертура 0,2 и видимое увеличение окуляра 7^x .

Остаточный эксцентриситет должен составить не более 2 - 3 мкм (10 - 15)". Если такого результата не получилось, центрировку надо повторить.

Погрешность центрировки при таком методе, как уже сказано выше, обусловлена:

- некруглостью центрировочной риски;
- погрешностью совмещения ее изображения с маркой сетки микроскопа (из-за параллакса, ограниченной остроты зрения оператора и ограниченной чувствительности смещения лимба);
- влиянием погрешности опор оси вращения.

6.1. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Краткое содержание работы.

6.2. Оценить влияние эксцентриситета лимба (кодированного диска) на точность измерения углов прибором. Дать краткие описания методов центрировки лимбов.

6.3. Представить схему лабораторной установки, описать методику центрировки лимба по центрировочной риске.

6.4. Оценить точность выполнения операции с учетом увеличения микрообъектива и окуляра микроскопа.

6.5. Ознакомиться с конструктивными методами борьбы с остаточным значением эксцентриситетом лимба и кратко их охарактеризовать.

6.6. Оценить погрешность измерения лимбом, имеющим остаточный эксцентриситет, который был получен в работе.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

7.1. Указать причины возникновения, характер проявления погрешности эксцентриситета

7.2. Назвать способы компенсации влияния эксцентриситета.

- 7.3. Как выполняется операция центрирования лимбов?
- 7.4. В чем заключается метод центрирования лимба с помощью осциллографа?
- 7.5. Пояснить, почему при снятии отсчетов по диаметрально противоположным участкам лимба результат измерений свободен от погрешности эксцентриситета?
- 7.6. В чем заключается метод смещения изображения для компенсации эксцентриситета лимба?
- 7.7. Оценить величину остаточного эксцентриситета, центрируемого в ходе лабораторной работы, а также влияние этой первичной погрешности на погрешность измерения угла.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров А. И. Новые теодолиты и оптические дальномеры. М.: Недра, 1978.
2. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985.
3. Малогабаритный оптический поворотный стол повышенной точности. Б. М. Левин, В. И. Федосов, В. Н. Ляпков. //Оптико- механическая промышленность, 1978, №7, с.28-31

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНДИКАТОРА ЧАСОВОГО ТИПА

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
- 1.2. Изучить устройство и назначение индикатора часового типа.
- 1.2. Провести измерение погрешности функционирования индикатора.
- 1.3. Провести измерение погрешности воспроизводимости индикатора.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Исследуемый индикатор с ценой деления 0,01 мм.
- 2.2. Кронштейн для крепления исследуемого индикатора.
- 2.3. Фотоэлектрический датчик линейных перемещений.
- 2.4. Стойка для крепления датчика линейных перемещений.
- 2.5. Цифровой блок индикации показаний фотоэлектрического датчика УЦП-1М.

3. УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ ИНДИКАТОРА

Индикатор часового типа предназначен для измерения линейных размеров абсолютным и относительным методами, а также для определения величины отклонений от заданной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей. Крепление индикаторов осуществляется в стойках или посадочных местах измерительных приборов с помощью присоединительной гильзы диаметром 8h7.

Внешний индикатора часового типа приведен на рис.1,а.

Измерительный стержень 2 индикатора перемещается в направляющих гильзы 3 с трением скольжения. Показания индикатора считываются оператором с отсчетного устройства, состоящего из циферблата 7 и стрелки 6. На циферблате нанесена шкала с двухцветными цифрами (зависит от конкретного конструктивного исполнения индикатора), расположенными встречно. С помощью ободка 8 циферблат может поворачиваться вокруг оси, подводя под стрелку 6 нулевой штрих шкалы. Устанавливая под измерительный наконечник 1 контролируемую деталь, последний отводят с помощью головки 9. Поскольку индикатор часового типа является многооборотным, в конструкции

предусмотрен указатель 5 числа оборотов. Гильза 3 диаметром 8 мм используется для крепления индикатора в штативе или другом контрольно-измерительном приспособлении.

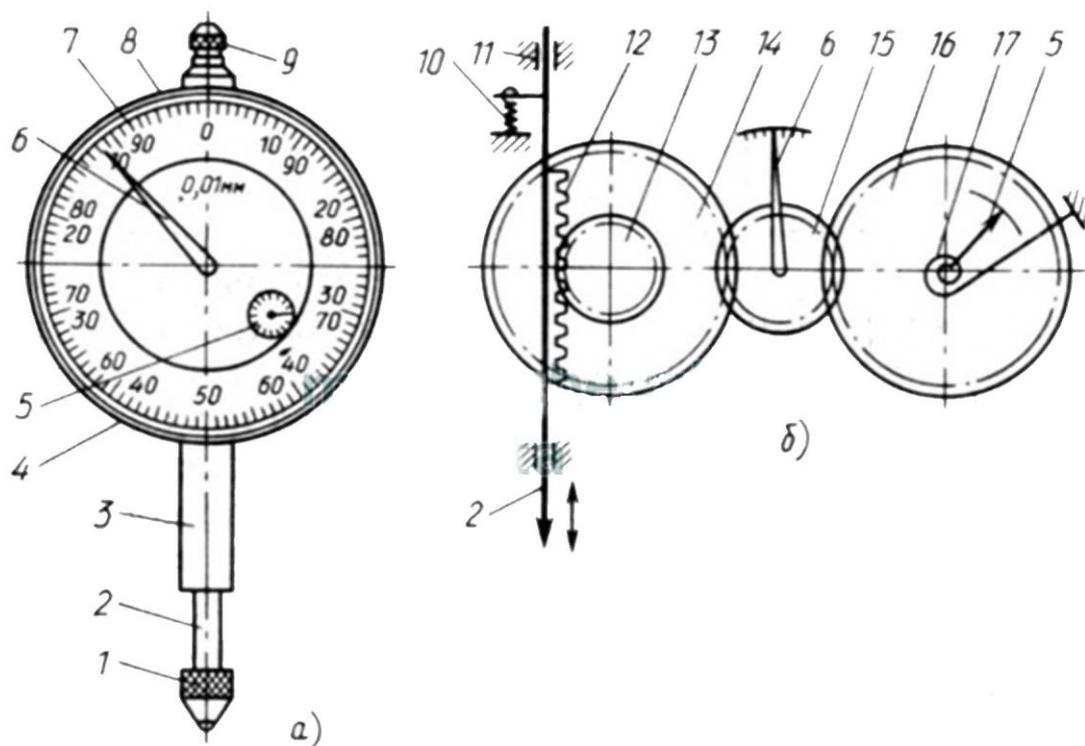


Рисунок 1, а, б - Внешний вид индикатора часового типа, где 1 – измерительный наконечник, 2 – измерительный стержень, 3 – гильза, 4 – корпус стрелка, 5 – указатель числа оборотов, 6 – стрелка, 7 – циферблат, 8 – ободок, 9 – головка, 10 – пружина, 11 – направляющие, 12 – зубчатая рейка, 13 – малое зубчатое колесо, 14 – большое зубчатое колесо, 15 – центральное зубчатое колесо, 16 – паразитное зубчатое колесо, 17 - спиральная пружина.

Принцип действия индикатора наглядно иллюстрирует его принципиальная схема (рис. 1,б). На измерительном стержне 2 выполнена зубчатая рейка 12, находящаяся в постоянном зацеплении с малым колесом 13 триба. Измерительный стержень 2 перемещается в направляющих 11, выполненных, как правило, из бронзы и запрессованных в гильзу 3 корпуса 4, и прижимается к измерительной поверхности пружиной 10 с измерительным усилием, равным 0,8...2 Н.

В процессе перемещения измерительного стержня нарезанная на нем рейка поворачивает колесо 13 и сидящее с ним на одной оси большое колесо 14. Последнее, находясь в зацеплении с центральным колесом 15, поворачивает его и центральную стрелку 6. Для исключения влияния бокового зазора в зубчатых зацеплениях на точность измерения в схему индикатора введена спиральная пружина (волосок) 17, закрепленная одной на оси с колесом 16. Волосок

обеспечивает касание всех зубчатых колес и рейки только одной стороной профиля при прямом и обратном ходах измерительного стержня.

3.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДИКАТОРА

3.1.1. Диапазон измерений, мм	0-10.
3.1.2. Цена деления, мм	0,01.
3.1.3. Измерительное усилие:	
- наибольшее при прямом ходе, Н	3,0.
- колебания измерительного усилия при прямом или обратном ходе, Н	1,8
- изменение направления движения измерительного стержня, Н	1,0
3.1.4. Условия эксплуатации:	
- температура	20...15 °С.
- относительная влажность	не более 80 %.

4. ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИБОРА

В процессе проектирования оптических и оптико-механических приборов всегда проводится процесс точностного анализа конструкции и определяются показатели качества, среди которых важными являются показатели точности. Показателя точности функционирования прибора характеризуют потери информации при преобразовании сигнала от объекта всеми функциональными устройствами прибора.

Основными показателями точности прибора являются:

- погрешность прибора - разность между действительным и расчетным (идеальным) значениями выходного информативного параметра, соответствующими входному информативному параметру;

- погрешность функционирования прибора - разность между действительным и расчетным изменениями выходного информативного параметра прибора, соответствующими изменению входного информативного параметра;

- погрешность воспроизводимости прибора - разность действительных значений выходного информативного параметра прибора, соответствующих одному и тому же входному информативному параметру при повторных циклах функционирования.

Практика эксплуатации приборов показывает, что погрешность функционирования каждого отдельного экземпляра прибора содержит две составляющие: постоянную и переменную. Первая из них неизменна при

повторных циклах функционирования по одному и тому же входному сигналу, а вторая меняется, причем ее изменения носят как случайный, так и закономерный (систематический) характер.

Постоянная составляющая погрешности функционирования индикатора обусловлена:

- методическими погрешностями;
- допущениями в законе преобразования (теоретическими погрешностями);
- технологическими погрешностями изготовления и сборки элементов;
- систематическими составляющими погрешностей снятия и установки отсчетов оператором.

Переменная составляющая погрешности функционирования (погрешность воспроизводимости), характеризующая стабильность работы индикатора, обусловлена следующими причинами:

- мертвым ходом (упругим и люфтовым);
- гистерезисными явлениями;
- нестабильностью трения в кинематических парах;
- вибрациями;
- случайными составляющими погрешности снятия и установки отсчетов.

4.1. Характеристики точности приборов и устройств

Необходимо различать погрешности результата функционирования прибора (погрешность измерения, управления, регулирования и т.п.) и погрешность самого прибора (инструментальную погрешность функционирования прибора).

Погрешность результата функционирования прибора $\Delta Y_{рф}$ обусловлена методическими ($\Delta Y_{м}$) и инструментальными ($\Delta Y_{ф}$) погрешностями:

$$\Delta Y_{рф} = \Delta Y_{м} + \Delta Y_{ф}.$$

В свою очередь, инструментальная погрешность (погрешность функционирования прибора) возникает из-за теоретических $\Delta Y_{теор}$, технологических $\Delta Y_{техн}$ и эксплуатационных погрешностей

$$\Delta Y_{ф} = \Delta Y_{теор} + \Delta Y_{техн} + \Delta Y_{экспл}.$$

Приведем некоторые понятия и определения теории точности. Рассмотрим сначала характеристики *точности результата функционирования прибора*.

Погрешностью результата функционирования прибора ΔX_{i0} называется разность между i -м информативным параметром объекта, полученным в результате функционирования прибора X'_{i0} , и его истинным значением X_{i0} ,

$$\Delta X_{i0} = X'_{i0} - X_{i0}.$$

Если привести это к выходу, то $\Delta Y_{ipф} = Y_i - Y_{i0}$, - разность значений действительного Y_i и расчетного значений Y_{i0} информативного параметра выходного сигнала, соответствующих одному и тому же значению информативного параметра объекта.

Процесс функционирования ряда приборов связан с изменением информативного параметра объекта, в этом случае характеристикой точности процесса функционирования является погрешность результата процесса функционирования $\Delta Y_{\text{ирпф}}$ - разность между изменением выходного информативного параметра $Y_{\text{ии}}$ прибора и его расчетным $Y_{\text{ии0}}$ изменением, соответствующих одному и тому же изменению информативного параметра объекта:

$$\Delta Y_{\text{ирпф}} = Y_{\text{ии}} - Y_{\text{ии0}}.$$

В ряде случаев (к примеру, для приборов прицеливания или автоматического регулирования) важна стабильность, повторяемость результатов, поэтому характеристикой точности является погрешность стабильности (воспроизводимости) результатов функционирования $\Delta Y_{\text{пкс}}$ - разность значений информативных параметров выходного сигнала, соответствующих одному и тому же значению информативного параметра объекта при повторных k и s циклах функционирования:

$$\Delta Y_{\text{пкс}} = Y_{\text{ик}} - Y_{\text{ис}}.$$

Аналогичными погрешностями характеризуется инструментальная точность прибора.

Инструментальная погрешность прибора ΔY_{i} - разность между действительным Y_{i} и расчетным Y_{i0} значениями информативного параметра выходного сигнала, соответствующих одному и тому же значению информативного параметра входного сигнала:

$$\Delta Y_{\text{i}} = Y_{\text{i}} - Y_{\text{i0}}.$$

Инструментальная погрешность функционирования прибора $\Delta Y_{\text{иф}}$ - разность между действительным $Y_{\text{ии}}$ и расчетным $Y_{\text{ии0}}$ изменениями информативного параметра выходного сигнала, соответствующих одному и тому же изменению информативного параметра входного сигнала

$$\Delta Y_{\text{иф}} = Y_{\text{ии}} - Y_{\text{ии0}}.$$

Инструментальная погрешность стабильности (воспроизводимости) прибора $\Delta Y_{\text{кс}}$ - разность значений информативных параметров выходного сигнала прибора, соответствующих одному и тому же значению информативного параметра входного сигнала при повторных k и s циклах функционирования:

$$\Delta Y_{\text{кс}} = Y_{\text{ик}} - Y_{\text{ис}}.$$

В теории точности механизмов существуют понятия погрешности положения, перемещения и стабильности (мертвого хода). Входным информативным параметром является положение (координата) ведущего звена, выходным информативным параметром - положение ведомого звена.

Поэтому указанные характеристики имеют следующие определения:

Погрешность положения механизма ΔY - это разность действительного Y и расчетного Y_0 положениями выходного (ведомого) звена механизма, соответствующих одному и тому же положению ведущего звена:

$$\Delta Y = Y - Y_0.$$

Погрешность перемещения механизма ΔP - это разность действительного P и расчетного P_0 перемещения ведомого звена механизма, соответствующих одному и тому же перемещению ведущего звена:

$$\Delta P = P - P_0.$$

Погрешность воспроизводимости ΔY_{ks} - это разность положения ведомого звена механизма, соответствующих одному и тому же положению ведущего звена при повторных k и s циклах функционирования:

$$\Delta Y_{ks} = Y_k - Y_s.$$

Мертвый ход, как известно, - холостое (не передаваемое на выход) движение входного звена механизма при реверсировании. Он является основной причиной погрешности воспроизводимости.

Погрешность от мертвого хода $\Delta \mu$ - это разность положений ведомого звена механизма, соответствующих одному и тому же положению ведущего звена при прямом Y и обратном Y' направлениях движения:

$$\Delta \mu = Y - Y'.$$

4.2. Классификация погрешностей

Первичные погрешности и факторы представляют собой отклонения от номинальных значений конструктивных параметров деталей и сборочных единиц (размеров, формы, характеристик материалов, взаимного расположения) - $\Delta q = q - q_0$; изменения влияющих факторов- $\Delta q' = q' - q'_0$; отклонение от расчетного значения функции преобразования - $\Delta f = f - f_0$; отклонение входного параметра от номинального значения из-за методических погрешностей –

$$\Delta X = X - X_0.$$

Каждая из первичных погрешностей и факторов оказывает влияние на точность прибора. Это влияние называется частичной (частной) погрешностью и обозначается, соответственно, $\Delta Y_{\Delta q}$, $\Delta Y_{\Delta q'}$, $\Delta Y_{\Delta f}$, $\Delta Y_{\Delta X}$.

Частичная погрешность равна произведению первичной погрешности на некоторую функцию: $\Delta Y_{\Delta q} = A_q \cdot \Delta q$. Эта функция называется передаточной функцией (коэффициентом влияния) первичной погрешности или фактора

Частичные погрешности, суммируясь, образуют суммарную погрешность прибора $\Delta Y_{\Sigma} = \Sigma \Delta Y_{\Delta qi}$.

4.3. Свойства погрешностей

Случайными и систематическими (неслучайными) погрешности могут быть:

- по природе возникновения;

- по результату действия на точность;
- по характеру проявления при повторных циклах функционирования прибора.

По природе возникновения *случайными* являются первичные погрешности, которые претерпевают рассеяние при появлении и не могут быть заранее определены (технологические погрешности - фокусного расстояния, углов призм, децентрировки линз, характеристик материалов; эксплуатационные из-за действия случайных факторов - влияние сил трения, вибрации, нестационарных температурных полей; методические - наведения, квантования, выверки прибора).

Неслучайными по природе возникновения являются погрешности, которые не претерпевают рассеяния и могут быть заранее и однозначно определены (некоторые методические погрешности, теоретические погрешности, некоторые эксплуатационные погрешности, обусловленные действием систематических влияющих факторов - температурные изменения от стационарных полей, деформации от известных сил).

По результатам действия на точность *случайными* являются все погрешности, относящиеся к случайным по природе возникновения, и *систематическими* - все, относящиеся к неслучайным по природе возникновения.

По характеру проявления к *случайным* относят те, значения которых претерпевают рассеяние при повторных циклах функционирования. Если же такого рассеяния нет или погрешность изменяется по известному закону, то ее относят к *систематическим*.

Некоторые погрешности относятся к случайным по всем трем пунктам - это, например, влияние сил трения, вибрации, погрешности наведения и квантования, шумы приемников и др.

Систематическими же всегда являются теоретические погрешности, эксплуатационные, обусловленные действием неслучайных влияющих факторов (плавное изменение температуры, силовых воздействий и проч.).

Технологические же погрешности, являющиеся случайными по природе возникновения, относят к случайным при точностных расчетах и к систематическим при юстировке.

По направлению первичные погрешности бывают векторными и скалярными.

Скалярная погрешность характеризуется только значением величины (погрешность фокусного расстояния, характеристик материалов, деформация, температурные изменения и т.п.).

Векторная погрешность характеризуется величиной и направлением, которое заранее не определено (децентрировка линзы, эксцентриситет лимба, биения шкал, колец подшипников, перекося направляющих и т.п.).

По значению величины погрешности делят на постоянные, переменные регулярные, переменные нерегулярные и смешанные.

Постоянные характеризуются одним числовым значением (погрешность фокусного расстояния, толщины линзы, угла призмы, длины рычага и т.п.).

Переменные регулярные характеризуются величиной, изменяющейся по регулярному закону (теоретические погрешности, изменение размеров деталей и показателей преломления стекла при регулярном изменении температуры и т.п.).

Переменные нерегулярные - это такие первичные погрешности, величина которых характеризуется нерегулярно изменяющимся переменным значением (шероховатость поверхностей, биение колец подшипников, погрешности наведения, шумы приемников и т.п.).

К *смешанным* относят первичные погрешности, имеющие постоянную, переменную регулярную и нерегулярную составляющие (погрешности шага винта, деления дифракционных решеток, растров и шкал, кинематические погрешности зубчатых колес и т.п.).

По характеру влияния на точность частичные и суммарная погрешность разделяются на аддитивные, мультипликативные, степенные, периодические и смешанные. Это определяется видом графика зависимости величины погрешности от значения выходного информативного параметра прибора.

В зависимости от влияния скорости функционирования прибора погрешности подразделяются на статические и динамические.

Погрешности, зависящие от скорости, называются *динамическими*.

При анализе погрешностей необходимо руководствоваться основными положениями линейной теории точности, а именно:

1. Частичная $\Delta Y_{\Delta q}$ и первичная Δq погрешности связаны между собой

линейной зависимостью: $\Delta Y_{\Delta q} = \left(\frac{\partial y}{\partial q} \right) \Delta q = A_q \Delta q$.

2. Первичные погрешности действуют взаимонезависимо (принцип суперпозиции): $\Delta Y_{\Sigma} = \sum_i \Delta Y_i$.

5. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Исследование погрешностей индикатора производится на установке (рис. 2), включающей в качестве образцового устройства задания линейных величин фотоэлектрический датчик линейных перемещений с блоком цифровой индикации.

Исследуемый индикатор 1 закреплен с помощью кронштейна 2 на столике 3. На этом же столике с помощью стойки 4 закреплен фотоэлектрический датчик линейных перемещений 5. Перемещение измерительного винта 6 фотоэлектрического датчика производится вращением маховичка 7.

Линейная величина перемещения винта 6 определяется при помощи блока цифровой индикации УЦП-1М 8 (отсчетное устройство), которое индуцируется на табло блока.

Принцип работы фотоэлектрического датчика линейных перемещений, принципиальная схема которого приведена на рис. 3, следующий.

Пучок лучей от источника излучения 1 (светодиод) после прохождения конденсора 2 освещает систему растров - измерительный 3 (вращающийся) и индикаторный 4 (неподвижный). Так как измерительный растр оптически сопряжен с индикаторным растром, то при этом происходит модуляция светового потока, попадающего на фотоприемники 5.



Рисунок 2 – Схема установки для исследования индикатора, где 1 – исследуемый индикатор, 2 – кронштейн, 3 – столик, 4 – стойка датчика, 5 – фотоэлектрический датчик линейных перемещений, 6 – измерительный винт, 7 – маховичок фотоэлектрического датчика, 8 – блок индикации фотоэлектрического датчика УЦП-1М

Фотоприемники относительно друг друга установлены со смещением на величину, равную в линейной мере $\frac{1}{4}$ периода штрихов измерительного растра. Снимаемый с фотоприемников электрический сигнал позволяет сформировать счетные электрические импульсы.

Так как период измерительного растра имеет определенную цену линейного перемещения винта фотоэлектрического датчика, то число сосчитанных счетчиком электрических импульсов, также имеющих линейную меру, определяет величину линейного перемещения винта 6 датчика.

Винт 6 перемещается поступательно в направляющих 7 с трением скольжения при вращении маховичка 8, выполняющего функцию гайки. Сам маховичок вращается в подшипниках 9.

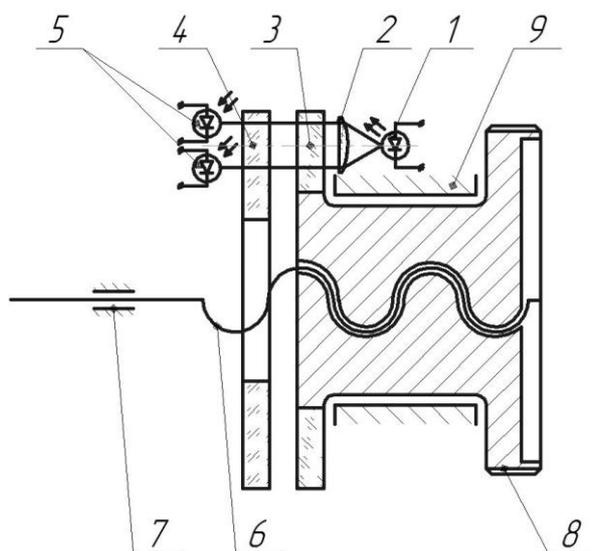


Рисунок 3 – Принципиальная схема фотоэлектрического датчика линейных перемещений, где 1 – светодиод (источник излучения), 2 – конденсор, 3 – измерительный растр (подвижный), 4 – индикаторный растр (неподвижный), 5 – фотодиоды (приемники излучения), 6 – винт, 7 – направляющая поступательного движения винта, 8 – гайка (маховичок), 9 – подшипник вращения гайки

6. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемый индикатор часового типа предназначен для измерения линейных перемещений с точностью до 10 мкм на полном диапазоне измерения.

В данной работе погрешность индикатора исследуется с помощью более точного прибора - фотоэлектрического датчика линейных перемещений с блоком цифровой индикации (ФДЛП).

Вращая гайку датчика с помощью маховичка 7 (рис. 2), мы получаем линейное перемещение его винта. Измеряя это перемещение с помощью индикатора, мы можем сравнить его с “истинным” перемещением, которое было на цифровом табло ФДЛП.

Перед началом работы надо:

1. Установить “0” на малой (грубой) шкале индикатора вращением маховичка ФДЛП.
2. Установить “0” на большой (точной) шкале индикатора, вращением ободка (рис. 1, а) на его корпусе.
3. Установить “0” на цифровом табло УЦП-1М, нажав кнопку “уст 0”.

6.1. Измерение погрешности функционирования индикатора

Для каждого контролируемого диапазона перемещений погрешность функционирования индикатора определяется, как разность измеренного индикатором и “истинного” значения перемещения

$$\Delta y_i = y_u - y_0,$$

где Δy_i - погрешность функционирования, y_u - перемещение, измеренное индикатором, y_0 - “истинное” перемещение (измеренное ФДЛП).

Постоянная составляющая $\Delta \bar{y}$ указанной погрешности определяется по формуле, как среднее значение погрешности функционирования при многократных повторных ее измерениях:

$$\Delta \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y_i}{n},$$

где n - число измерений (для простоты $n = 1$).

Переменная составляющая Δy_{ϑ} погрешности функционирования определяется по формуле

$$\Delta y_{\vartheta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta y_i - \Delta \bar{y})^2}{n - 1}}.$$

Также в погрешности функционировании присутствует погрешность мертвого хода Δv_i индикатора в каждом контролируемом положении, которая является разновидностью погрешности воспроизводимости, проявляющейся при реверсировании, определяемая как

$$\Delta v_i = y_{\text{пр}} - y_{\text{об}}.$$

где $y_{\text{пр}}$, $y_{\text{об}}$ - показания при прямом и обратном ходе в одной и той же точке, соответственно.

Порядок проведения измерений:

а) Исследование индикатора в прямом ходе, указатель вращается по часовой стрелке (перемещение винта датчика в прямом ходе на 10 мм).

Вращая маховичок датчика (на себя), перемещаем винт на 1 мм. Стрелка на большой шкале индикатора, вращаясь по часовой стрелке, совершит полный оборот от 0 до 0 (это соответствует 1 мм). Подводить стрелку к 0 надо строго слева. Стрелка на малой шкале переместится на 1 деление. Записать отсчет с табло датчика. Таким образом снять 10 отсчетов (от 1 мм до 10 мм) и записать в таблицу 1.

Табл. 1. Погрешность функционирования индикатора

Прямой ход			Обратный ход			Погрешность мертвого хода, Δv_i , мм
Отсчет по индикатору y_u , мм	Отсчет по ФДЛП, y_o , мм	Погрешность индикатора, Δy , мм	Отсчет по индикатору y_u , мм	Отсчет по ФДЛП, y_o , мм	Погрешность индикатора, Δy , мм	
1 ↓	0,9	0,0	1	0,9	0,0	0,0
...
10	9,9	0,0	10 ↑	10,0	0,0	0,0
$\Delta \vec{y} = 0,0 \dots$			$\Delta \vec{y} = 0,0 \dots$			

б) Исследование индикатора в обратном ходе, указатель вращается против часовой стрелки (перемещение винта датчика в обратном ходе на 10 мм).

Делаем то же, но в обратном направлении, т.е. от 10 мм до 1 мм. Маховичок вращаем от себя, стрелка на шкале индикатора вращается против часовой стрелки, подводить стрелку к 0 строго справа. С цифрового табло снимаем и записываем в таблицу 1 также 10 отсчетов.

6.2. Измерение погрешности воспроизводимости индикатора

Погрешность воспроизводимости индикатора в каждом контролируемом положении определяется разностью значений выходного информативного параметра (показаний цифрового вольтметра) при повторных циклах измерения одной и той же величины входного информативного параметра:

$$\Delta v_{ks} = y_k - y_s$$

где y_k, y_s - значения выходного информативного параметра при k и s циклах функционирования (измерения), соответственно.

Эта погрешность содержит в себе:

а) **Систематическую погрешность** $\Delta \bar{v}$, которая обусловлена мертвым ходом и гистерезисными явлениями. Эту составляющую можно найти, вычислив среднюю разность между соответствующими отсчетами, снятыми по цифровому табло датчика линейных перемещений (y) в случае многократной установки одного и того же отсчета по индикатору при "прямом" и "обратном" направлениях движения стрелки индикатора, т. е.

$$\Delta \bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{y}_{\delta i}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{y}_{\delta i}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (\vec{y}_{\delta i} - \tilde{y}_{\delta i})}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{v}_i}{n},$$

где $\vec{y}_{\delta i}, \tilde{y}_{\delta i}$ - отсчеты по индикатору при "прямом" и "обратном" направлениях соответственно, n - число измерений (в работе не менее 20 отсчетов).

б) **Случайную составляющую погрешности** $S_{\Delta v}$ воспроизводимости, которая обусловлена нестабильностью трения в кинематических парах, вибрациями, погрешностями совмещений, случайными погрешностями ФПЛД.

Характеристиками случайной составляющей являются:

- среднее квадратическое отклонение $S_{\Delta v}$, которое можно вычислить по формуле

$$S_{\Delta v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta v_i - \Delta \bar{v})^2}{n - 1}},$$

- практическое предельное вероятное значение $\delta_{\Delta v}$, равное

$$\delta_{\Delta v} = \pm k S_{\Delta v},$$

здесь k - коэффициент, зависящий от закона распределения случайной составляющей (для нормального закона распределения $k = 3$).

Методика измерения погрешности воспроизводимости

В данной работе погрешность воспроизводимости определяется только для одного из контролируемых положений, например, для “0” отсчета.

Для этого необходимо 20 раз навестись на 0 с левой стороны и 20 раз справа. Каждый раз снимать отсчет с табло УПЦ-1М. Все данные измерений надо свести в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты измерения погрешности воспроизводимости индикатора для точки “0”

Номер измерения, i	Прямой ход	Обратный ход	Погрешность воспроизводимости, Δv_{ks} , мм
	Отсчет ФПЛД, Y_o , мм	Отсчет ФПЛД, Y_o , мм	
1	0	0	0
...
...
20	0	0	0

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Краткое описание работы.

7.2. Схема установки и датчика перемещений.

7.3. Таблицы, содержащие данные измерений.

7.4. Графики измерения предельной погрешности функционирования (при условии нормального закона её рассеяния) и погрешности мертвого хода индикатора в его рабочем диапазоне (от 0 до 10 мм).

7.5. Полигон рассеяния положений измерительного стержня индикатора в одном из контролируемых положений (Здесь “0”).

7.6. Вычислить характеристики систематической и случайной составляющих погрешности воспроизводимости.

7.7. Объяснить работу и вывести закон функционирования индикатора.

7.8. Ответить на вопросы к зачёту.

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

8.1. В чем заключается методическая погрешность функционирования индикатора, есть ли эта погрешность в данной установке для исследования работы индикатора?

8.2. Имеется ли теоретическая погрешность в индикаторе? Как выглядит ее график?

8.3. Выявить по графику и объяснить, чем вызвана накопленная и периодическая составляющие погрешности функционирования индикатора.

8.4. Указать по схеме индикатора источники и причины люфтового и упругого мертвого хода.

8.5. Объяснить причину изменения погрешности воспроизводимости индикатора в его рабочем диапазоне.

8.6. Как следовало бы осуществить методику измерений для выявления предельного вероятного значения погрешности воспроизводимости погрешности функционирования индикатора в рабочем диапазоне?

8.7. Почему в фотоэлектрическом преобразователе имеется не менее двух фотоприемников?

8.8. Как уменьшить погрешность работы преобразователя, обусловленную эксцентриситетом раstra?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий Ю.Г. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. «Машиностроение», М.,1971 г.

2. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. Наука, Л.,1968г.

3. Иванцов А.И. Основы теории точности измерительных устройств.

Изд. Стандартов, М.,1977 г.

4. Кулагин В.В. Основы конструирования оптических приборов. Учебное пособие для приборостроительных вузов. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1982 г.

5. Латыев С.М. Компенсация погрешности в оптических приборах. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1985 г.

6. Митрофанов С.С. Оптические и оптико-электронные измерительные приборы. Часть I. Пособие к выполнению лабораторных работ. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2010. - 110 с. <https://lib.ifmo.ru>.

7. Митрофанов С.С. Оптические измерительные приборы. Учебное пособие. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2018. - 34 с., <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2276.pdf>.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Примеры оформления графиков

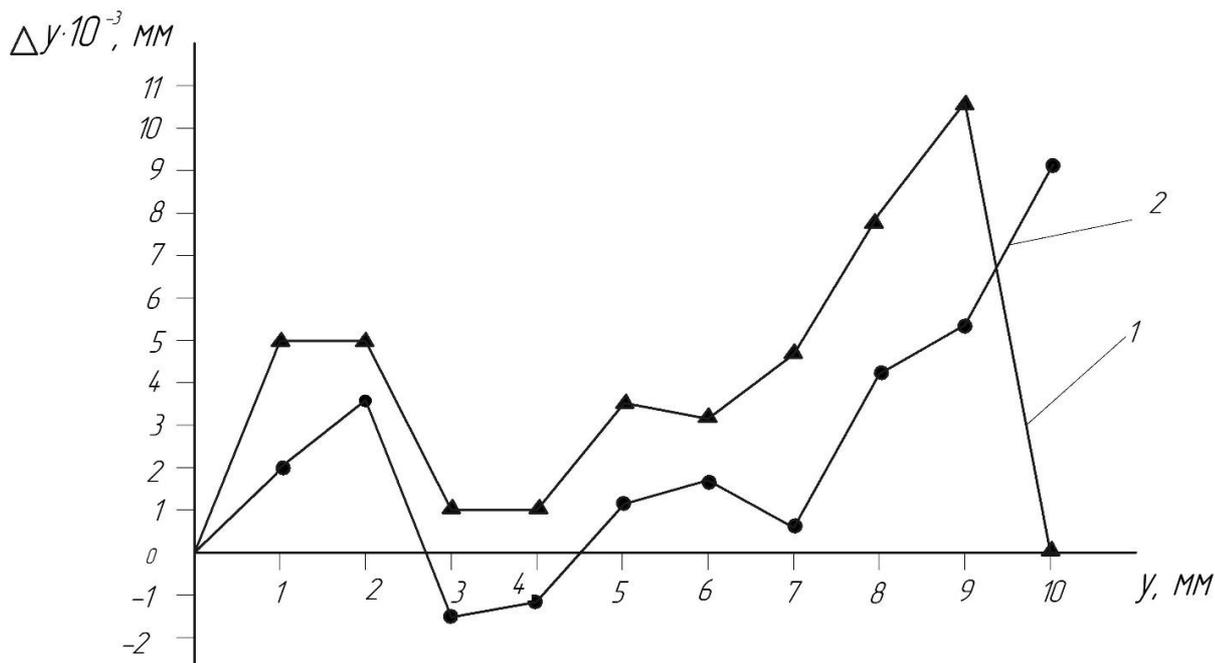


Рисунок 4 – График предельной погрешности функционирования, 1 – прямой ход, 2 – обратный ход

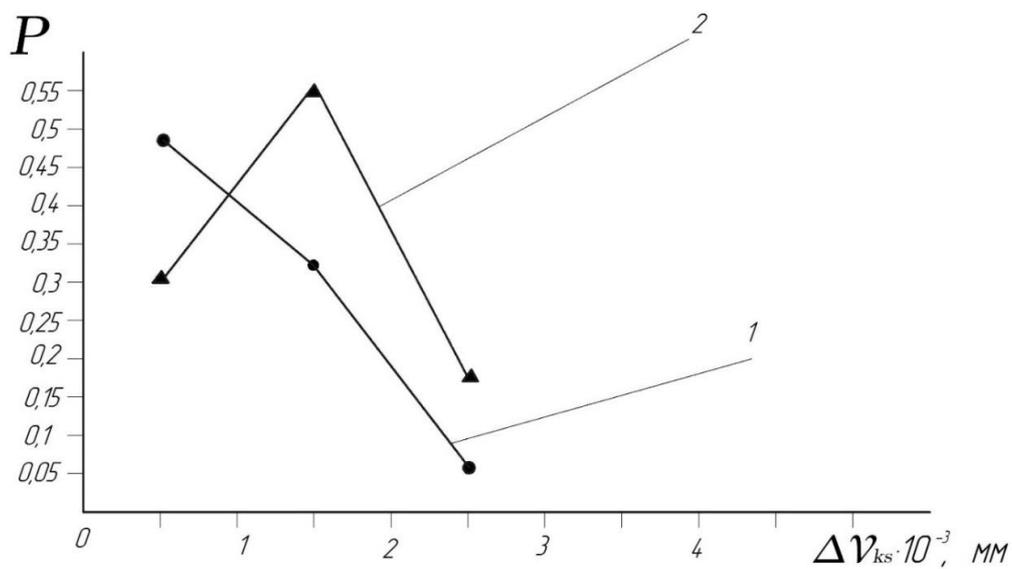


Рисунок 4 - Полигон рассеяния положения измерительного стержня индикатора (погрешность воспроизводимости) при наводке 20 раз на отсчет "0" слева (кривая 1) и справа (кривая 2)

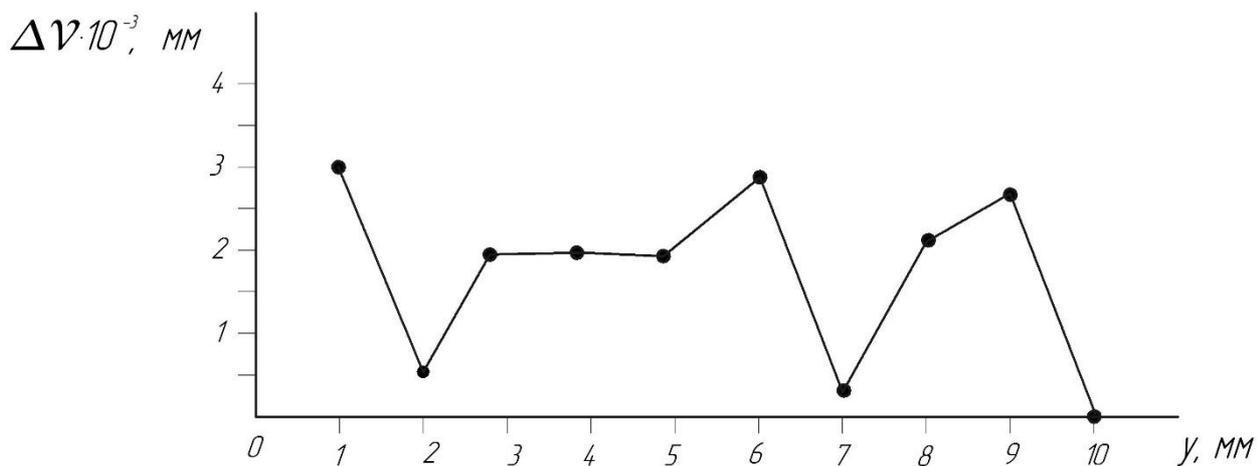
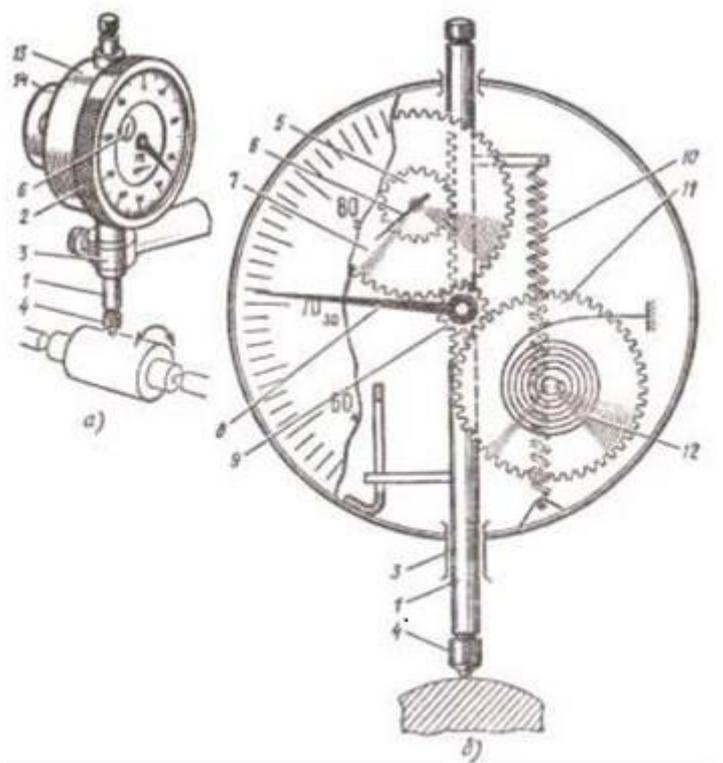


Рисунок 5 – График погрешности мертвого хода индикатора



*Рисунок 6 – Индикатор часового типа:
а) общий вид, б) схема зубчатой передачи*

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ МИКРОМЕТРА

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
- 1.2. Провести измерение погрешности функционирования микрометра.
- 1.3. Провести измерение погрешности воспроизводимости микрометра.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Исследуемый микрометр с ценой деления 0,01 мм.
- 2.2. Кронштейн для крепления микрометра.
- 2.3. Компаратор ИЗА-7.

3. УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ МИКРОМЕТРА

Микрометр – специальный измерительный инструмент, который предназначается для измерения изделий малого размера. Микрометр – высокоточный прибор, преобразовательным механизмом в котором служит микропара – представляющая собой винт и гайку, которые и помогают достичь такой высокой точности. Как и штангенциркули, микрометры различают по видам:

- *в зависимости от конструктивных особенностей*: ручные и настольные,
- *в зависимости от назначения*: гладкие, листовые, рычажные, проволочные, трубные, призматические, канавочные, зубомерные, резьбомерные, для мягких материалов, специальные и универсальные.

Наиболее распространенным является гладкий микрометр, который конструктивно состоит из скобы, которая оборудована «пяткой», подвижного винта с прецизионной резьбой, трещотки, а также втулки-стебля, на которую нанесены две шкалы. На верхней шкале размер указывается в миллиметрах, на нижней – в половинах миллиметра. На конической части барабана нанесены деления для отсчёта сотых долей миллиметра (рисунок 1).

Измеряемый предмет помещается между винтом и пяткой, после чего фиксируется в неподвижном состоянии, путем вращения винта. Именно благодаря трещотке создается осевое усилие, которое и удерживает предмет между пяткой и шпинделем. Показания снимаются сперва по шкале стебля, а после по шкале барабана, затем полученные значения измерений складывают и получают результат.

Поскольку изготовление винта с точным шагом на большой длине вызывает большие сложности, в настоящее время микрометры выпускают в нескольких типоразмерах. Существуют микрометры, которые измеряют длины от 0 до 25 мм (они являются наиболее распространенными), другие микрометры могут точно измерять длины от 25 до 50 мм, третьи - от 50 до 75 мм, и так до 500-600 мм. Все микрометры, которые рассчитаны на измерение изделий от 25 мм и более, снабжаются установочными концевыми мерами, которые позволяют выставить прибор «на ноль». Для более быстрых измерений изготавливаются инструменты с электронной «цифровой» индикацией, конечное значение измерений в которых выводится на отдельный электронный дисплей.

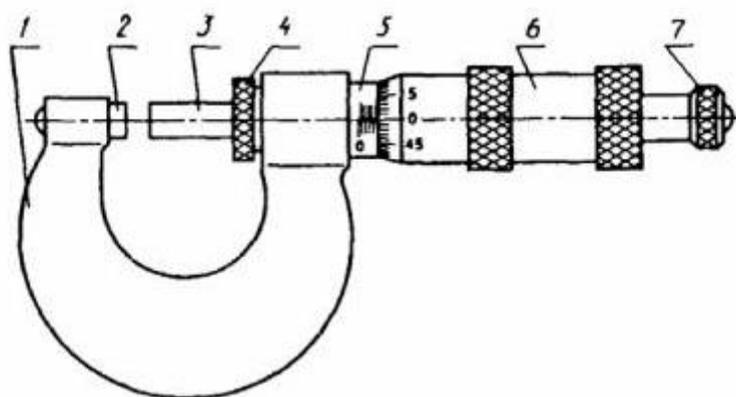


Рисунок 1 – Внешний вид гладкого микрометра, здесь 1 – скоба, 2 – пятка, 3 – микрометрический винт, 4 - стопор, 5 – стебель, 6 – барабан, 7 – трещотка (фрикцион).

В ряде случаев промышленностью выпускается в виде самостоятельного изделия микрометрические головки МГ, которые служат для измерения перемещения (см. рис.2).

Как устройство, так и работа микрометра не представляют особых сложностей. При закручивании трещотки винт начинает равномерно двигаться, вращаясь внутри гайки и прижимая деталь. Как только винт упрется в деталь, нужно прокрутить трещотку до трех щелчков, а затем зафиксировать стопор.

Нижняя шкала на стебле с ценой деления 1 мм нужна для учета полных оборотов. Ее называют основной. На рисунке 4 ниже размер предполагаемой детали лежит между 16 и 17 мм.

На верхней вспомогательной шкале деления смещены на 0,5 мм вправо. Метки расположены между метками нижней шкалы для точности и удобства считывания показаний. На рисунке значение лежит на 0,5 мм правее от 16 мм.

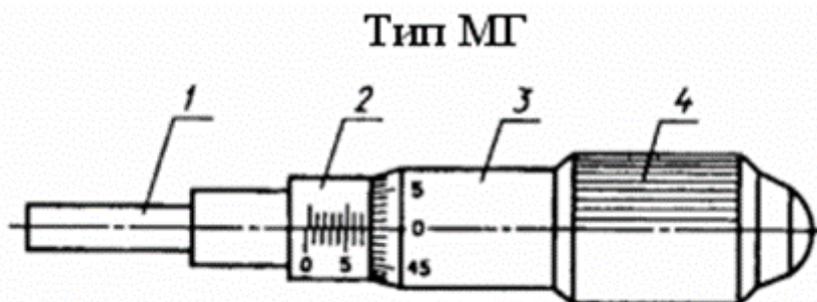


Рисунок 3 – внешний вид микрометрической головки, здесь 1 - микрометрический винт, 2 – стебель, 3 – барабан, 4 – трещотка (фрикцион)

Еще одна шкала – точная микрометрическая. Она показывает сотые доли миллиметра. В нашем случае стрелка показывает цифру 16, т.е. 0,16 мм. Остается суммировать полученные числа: целое значение на основной шкале – 16, плюс 0,5 на вспомогательной, плюс 0,16 на микрометрической. Таким образом, размер измеряемой детали – 16,66 мм.

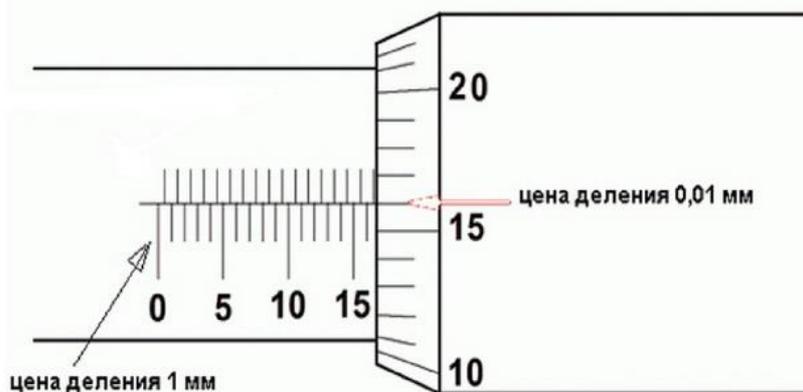


Рисунок 4 – Пример отсчета по шкалам микрометра

Действие микрометра основано на перемещении винта вдоль оси при вращении его в неподвижной гайке. Перемещение пропорционально углу поворота винта вокруг оси. Полные обороты отсчитывают по шкале, нанесённой на стебле микрометра, а доли оборота — по круговой шкале, нанесённой на барабане. Оптимальным является перемещение винта в гайке лишь на длину не более 25 мм из-за трудности изготовления винта с точным шагом на большей длине. Поэтому микрометр изготавливают нескольких типоразмеров для измерения длин от 0 до 25 мм, от 25 до 50 мм и т. д. Предельный диапазон измерений наибольшего из микрометров заканчивается на отметке в 3000 мм.

Для микрометров с пределами измерений от 0 до 25 мм при сомкнутых измерительных плоскостях пятки и микрометрического винта нулевой штрих шкалы барабана должен точно совпадать с продольным штрихом на стебле, а скошенный край барабана — с нулевым штрихом шкалы стебля. Для измерений длин, больших 25 мм, применяют микрометр со сменными пятками; установку таких микрометров на ноль производят с помощью установочной меры, прикладываемой к микрометру, или концевых мер. Измеряемое изделие зажимают между измерительными плоскостями микрометра. Обычно шаг винта равен 0,5 или 1 мм, и соответственно шкала на стебле имеет цену деления 0,5 или 1 мм, а на барабане наносится 50 или 100 делений для получения отсчёта 0,01 мм. Постоянное осевое усилие при контакте винта с деталью обеспечивается фрикционным устройством — трещоткой (храповиком). При плотном соприкосновении измерительных поверхностей микрометра с поверхностью измеряемой детали трещотка начинает проворачиваться с лёгким треском, при этом вращение микровинта следует прекратить после трёх щелчков.

Кинематическая схема микрометра приведена на рис. 5.

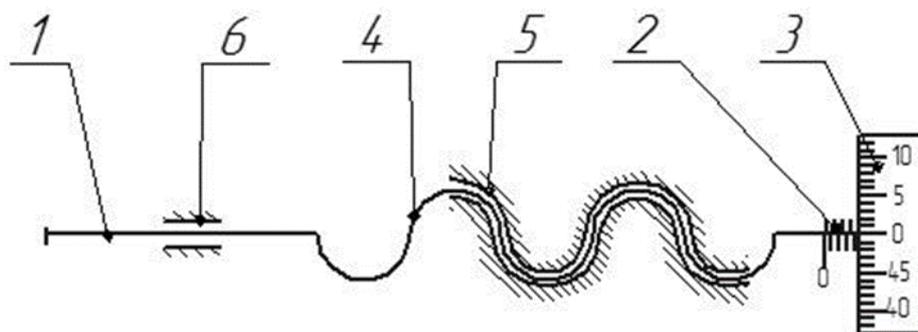


Рисунок 5 - Кинематическая схема микрометрической винтовой пары микрометра,

где 1 – стебель винта, 2 – грубая шкала, 3 – точная шкала, 4 – винт, 5 – гайка, 6 – направляющая

4. НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОГРЕШНОСТЯХ РАБОТЫ ТОЧНЫХ ПРИБОРОВ

При выполнении этого раздела следует ознакомиться с содержанием раздела 4, изложенного на стр. 35-39.

5. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Исследование погрешностей микрометра производится на установке (рис. 6), собранной на базе горизонтального компаратора ИЗА-7.

Компаратор построен по принципу продольного компаратора с неподвижными отсчетным и визирным микроскопами и с последовательным расположением образцовой шкалы и объекта, жестко связанных между собой.

На рис. 6 у компаратора демонтирован визирный микроскоп. Компаратор горизонтальный ИЗА - 7 предназначен для измерения длин путем сравнения измеряемой длины объекта со штриховой линейной мерой компаратора (шкалы, сетки и т.д.). В основу принципа действия положен оптический визирный метод.

Измеряемый объект может быть установлен на столе так, что ось его будет прямолинейным продолжением оси штрихов шкалы, ось штрихов шкалы совпадает с направлением движения стола. Длина объекта сравнивается со шкалой компаратора при помощи двух микроскопов, расстояние между которыми постоянно и оптически оси параллельны. Один микроскоп (визирный) служит для наведения на штрих или точку объекта, второй (отсчетный) - для отсчета по шкале компаратора. Миллиметровая шкала освещается при помощи лампы. Изображение ее штрихов совмещается в поле зрения микроскопа с плоскостью вращающейся шкалы, на которой нанесены витки двойной спирали Архимеда и сто делений круговой шкалы.

Вращающаяся шкала установлена так, что десять интервалов между двойными витками спирали точно укладываются в одном интервале миллиметровой шкалы, поэтому расстояние между витками соответствует 0,1 мм. Так как за один оборот, вращающейся шкалы любой виток спирали сместится в поле зрения микроскопа на 0,1 мм, то цена деления круговой шкалы будет равна 0,001 мм. Индексом для отсчета миллиметровых делений шкалы компаратора служит нулевой штрих неподвижной (горизонтальной) шкалы десятых долей миллиметра. Если штрих справа от шкалы, то он уже прошел индекс, если слева, то еще не дошел. Подвижная шкала позволяет с точностью до 0,0001 оценить отрезок от 0 (индекса) до точки отсчета на шкале десятых.

Исследуемый микрометр 1 (см. рис. 5) закреплен с помощью кронштейна 2 на столе компаратора 3.

Перемещение стола компаратора производится с помощью исследуемого микрометрического винта 1.

Величина перемещения стола определяется по точной шкале 4, закрепленной на столе компаратора, с помощью отсчетного микроскопа 5. Отсчеты снимаются по спиральному окулярному микрометру 6 с ценой деления 1 мкм (совмещение би-спирали шкалы с изображением штрихов эталонной шкалы 4 производится вращением маховика 7).

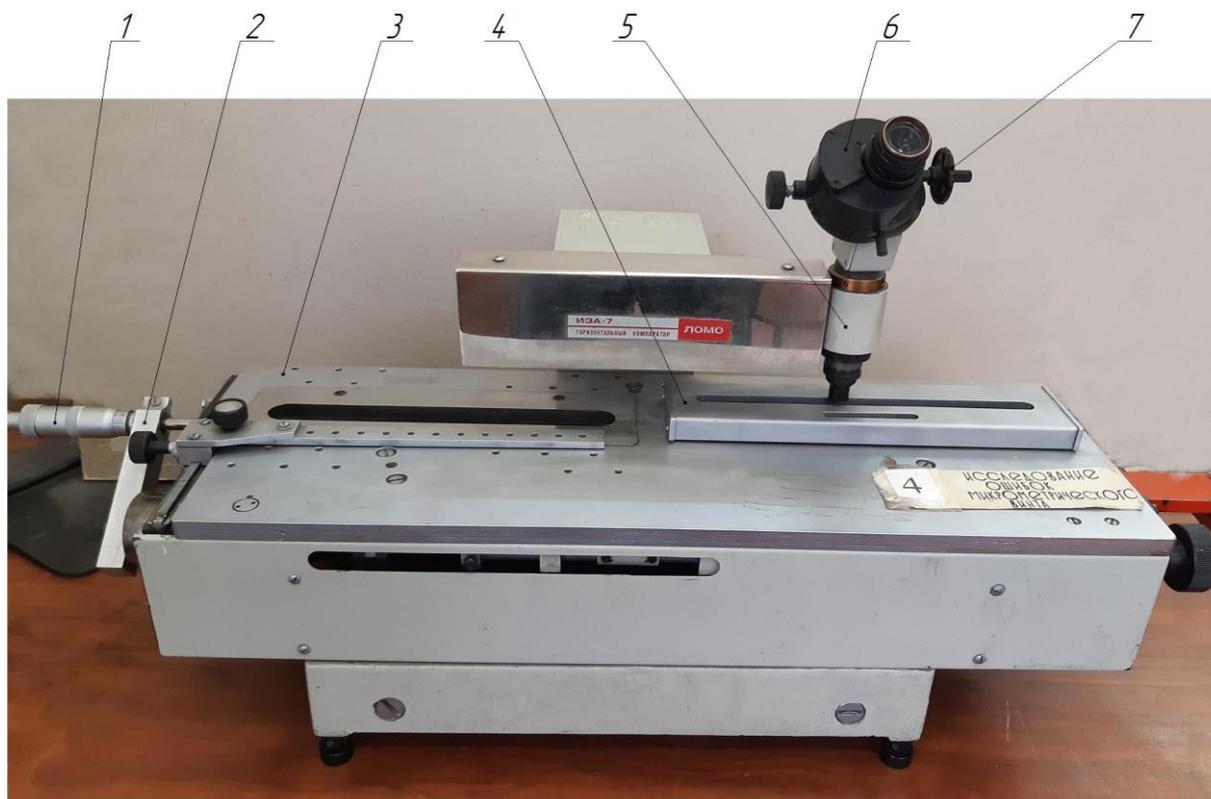


Рисунок 6 – Внешний вид установки для исследования микрометра, где 1 – исследуемый микрометр, 2 – кронштейн, 3 – компаратор ИЗА-7, 4 – образцовая шкала, 5 – отсчетный микрометр, 6 – спиральный окуляр-микрометр, 7 – маховичок окуляр-микрометра

Табл. 1. Технические характеристики компаратора

Пределы измерения	0 ÷ 200 мм
Цена деления основной шкалы	1 мм
Цена деления окуляр-микрометра	0,001 мм

Табл. 2. Технические характеристики отсчетного микроскопа

Увеличение	61,5 ^x
Линейное поле зрения	2,3 мм
Апертура	0,15
Предельная погрешность измерения	$\pm[0,9 + L/(300 - 4H)]$ мкм

В таблице 2, где L - измеряемая длина, H - превышение плоскости измеряемого объекта над плоскостью образцовой шкалы.

6. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Микрометр предназначен для измерения линейных перемещений различных объектов с точностью до 1 мкм. Исследование его погрешности может быть основано на сравнении результатов перемещений, задаваемыми с

помощью микрометра, с истинными значениями величины перемещения, снимаемых с более точного устройства. В качестве «истинной» измеряемой величины в данной работе принимается величина перемещения стола компаратора, которое определяются по точной шкале (закрепленной на столе компаратора) с помощью отсчетного микроскопа.

6.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОМЕТРА И ЕЁ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Для каждого контролируемого диапазона перемещений микрометра погрешность функционирования определяется как разность задаваемого микрометром и истинного значений перемещения

$$\Delta y = y_m - y_{и},$$

где Δy - погрешность функционирования, y_m - перемещение, задаваемое микрометром, $y_{и}$ - “истинное” перемещение (измеренное компаратором).

Постоянная составляющая $\Delta \bar{y}$ указанной погрешности в каждом контролируемом положении должна определяться как среднее значение погрешности функционирования при многократных повторных ее измерениях:

$$\Delta \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y_i}{n}$$

где n - число измерений.

Однако, ввиду трудоемкости измерений, в лабораторной работе производятся однократные измерения погрешности ($n=1$). Результат измерений принимается условно равным постоянной составляющей погрешности функционирования микрометра. Для выявления накопленной составляющей погрешности микрометра измерения осуществляются при перемещении стола в рабочем диапазоне через 1 мм (два оборота маховичка микрометра).

Для определения характеристик местной (периодической) составляющей погрешности микрометра измерения производятся в начале, в середине и в конце рабочего диапазона (в 3-х положениях) через 1/5 оборота шкалы. Данные измерения согласовать с преподавателем.

Измерения производятся по всей длине шкалы исследуемого микрометра в диапазоне 25 мм (начальный отсчет 50 мм конечный 75 мм).

Совмещаем 0 на барабане микрометра с делением 50 (либо это значения 0 для некоторых типов микрометров) на шкале микрометра, затем снимаем отсчет по спиральному окуляр-микрометру и записываем его.

Далее, вращая винт микрометра (два оборота винта соответствуют перемещению на 1 мм), перемещаем стол компаратора на 1 мм. Истинную

величину перемещения снимаем по шкале спирального окуляр-микрометра. Эти отсчеты заносим в таблицу 3.

Перемещая таким образом стол компаратора на 25 мм через 1 мм, снимаем и записываем 25 отсчетов. Затем проделываем то же самое в обратном ходе.

Таблица 3. Результаты измерения погрешности функционирования микрометра

Прямой ход, $\Delta \bar{y}$, мм				Обратный ход, $\Delta \bar{y}$, мм			Погрешность мертвого хода микрометра, Δv_i , мм
Номер измерения	Отсчет по компаратору y_u , мм	Отсчет по микрометру, y_m , мм	Погрешность микрометра, Δy , мм	Отсчет по компаратору, y_u , мм	Отсчет по микрометру, y_m , мм	Погрешность микрометра, Δy , мм	
0	75,9682	50,0000	-	75,9682	50,0000	-	-
1	76,9382	51,0000	0	76,9672	51,0045	-0,0059	-0,0059
...
24	99,9482	75,0006	0,0184	99,9483	75,9878	0,0122	0,0062
$\Delta \bar{y} = 0,0111$ мм				$\Delta \bar{y} = 0,0012$ мм			

Пример снятия отсчета по шкале компаратора приведен на рис. 7.

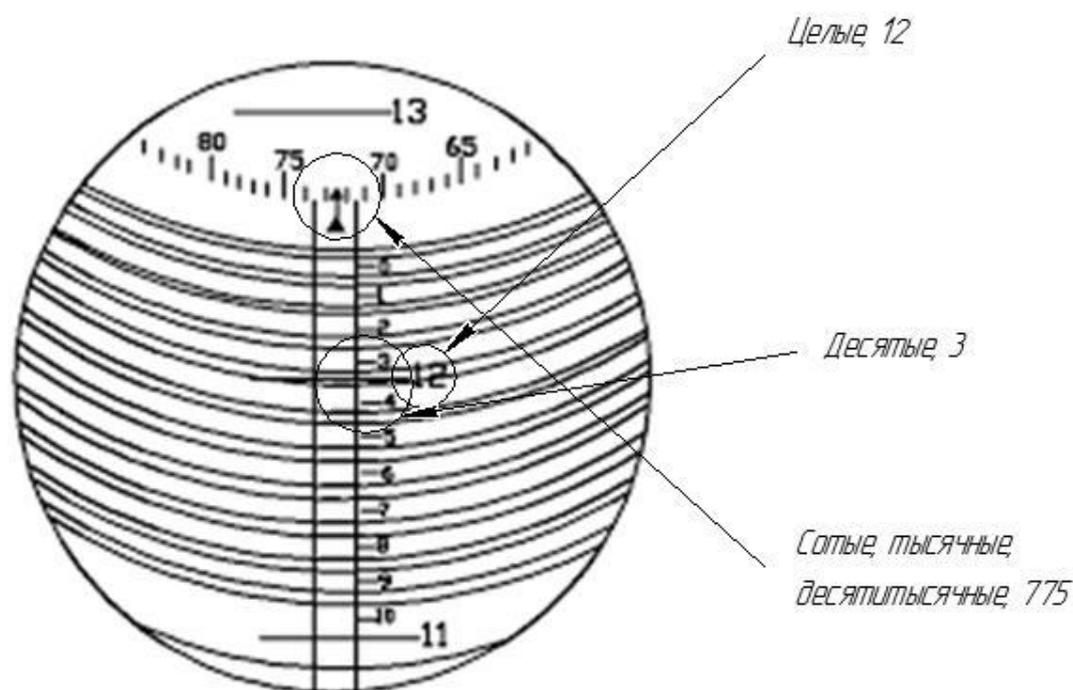


Рисунок 7 - Вид поля зрения спирального окуляр-микрометра (отсчет 12,3775 мм снимается, когда горизонтальный оцифрованный штрих шкалы целых величин расположен строго по центру между двумя ближайшими концентрическими окружностями)

6.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ

Погрешность воспроизводимости микрометра в каждом контролируемом положении определяется разностью значений выходного информативного параметра (показаний цифрового вольтметра) при повторных циклах измерения одной и той же величины входного информативного параметра:

$$\Delta v_{ks} = y_k - y_s,$$

где y_k, y_s значения выходного информативного параметра при k и s циклах функционирования (измерения) соответственно.

Эта погрешность содержит систематическую и случайную составляющие.

Систематическая составляющая погрешности воспроизводимости обусловлена мертвым ходом и гистерезисными явлениями. Эту составляющую можно найти, вычислив среднюю разность между соответствующими отсчетами, снятыми по микроскопу (y_{mi}) в случае многократной установки одного и того же отсчета по микрометру при "прямом" и "обратном" направлениях движения, т.е.

$$\Delta \bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{y}_{mi}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_{mi}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (\vec{y}_{mi} - \bar{y}_{mi})}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta v_i}{n}, \quad (3)$$

где n - число повторных измерений (не менее 20).

Случайная составляющая погрешности воспроизводимости микрометра обусловлена главным образом нестабильностью трения в кинематических парах, вибрациями, погрешностями установочных совмещений.

Характеристиками случайной составляющей являются стандартное отклонение $S_{\Delta v}$ и практическое предельное вероятное отклонение δv , вычисляемые по приведенным ниже формулам (4) и (5), соответственно.

$$S_{\Delta v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta v_i - \Delta \bar{v})^2}{n-1}}, \quad (4)$$

$$\delta v = 3S_{\Delta v}. \quad (5)$$

В связи с трудоемкостью измерений, систематическая и случайная составляющие погрешности воспроизводимости определяются только для одного из контролируемых положений (указанного преподавателем). В остальных контролируемых положениях погрешность воспроизводимости выявляется однократным измерением разности положений винта микрометра, соответствующих одному и тому же положению микрометра при "прямом" и "обратном" направлениях движения.

Методика измерения погрешности воспроизводимости состоит в следующем.

Для необходимо 20 раз навестись на одно деление барабана слева и 20 раз справа (в данной работе на деление 55,0). Истинное значение наводок снять со спирального окуляр-микрометра. Данные измерений занести в таблицу 4, в

которой, в качестве примера указаны возможные величины отсчетов и найденная погрешность воспроизводимости.

Таблица 2. Результаты измерения погрешности воспроизводимости

Номер наведения	Отсчет слева, \vec{y}_{mi} , мм	Отсчет справа, \overleftarrow{y}_{mi} , мм	Погрешность воспроизводимости, Δv , мм
1	80,9703	80,9701	0,0002
2	80,9603	80,9688	0,0010
3	80,9503	80,9673	0,0023
...
20	80,9303	80,9700	- 0,0029
			$\Delta \bar{v} = 0,0028$

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 7.1. Краткое описание работы.
- 7.2. Схема микрометра и установки для исследования.
- 7.3. Результаты исследования в виде таблиц и расчетов.
- 7.4. Построить графики измерения погрешности функционирования и воспроизводимости микрометра в его рабочем диапазоне.
- 7.5. Построить полигоны рассеяния погрешности воспроизводимости положений микрометра в одном из контролируемых положений.
Пример построения полигона приведен в приложении рис. 8.
- 7.6. Вычислить характеристики систематической и случайной составляющих погрешности воспроизводимости.
- 7.7. Ответить на вопросы для зачета.

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 8.1. В чем заключается методическая погрешность измерения точностных характеристик микрометра в данной установке?
- 8.2. Выявить по графику и объяснить, чем вызвана накопленная и периодическая (местная) составляющие погрешности функционирования микрометра.

8.3. Указать по схеме микрометра источники и причины люфтового и упругого мертвого хода.

8.4. Объяснить причину изменения погрешности воспроизводимости микрометра в его рабочем диапазоне.

8.5. Как следовало бы осуществить методику измерений для выявления предельного вероятного значения погрешности воспроизводимости и погрешности функционирования микрометра в рабочем диапазоне?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий Ю. Г. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. «Машиностроение», М., 1971 г.
2. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. Наука, Л., 1968г.
3. Иванцов А.И. Основы теории точности измерительных устройств. Изд. Стандартов, М., 1977 г.
4. Кулагин В.В. Основы конструирования оптических приборов. Учебное пособие для приборостроительных вузов. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1982 г.
5. Латыев С.М. Компенсация погрешности в оптических приборах. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1985 г.
6. Митрофанов С.С. Оптические и оптико-электронные измерительные приборы. Часть I. Пособие к выполнению лабораторных работ. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2010. - 110 с. <https://lib.ifmo.ru>.
7. Митрофанов С.С. Оптические измерительные приборы. Учебное пособие. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2018. - 34 с., <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2276.pdf>.

Пример построения полигона рассеяния погрешности микрометра

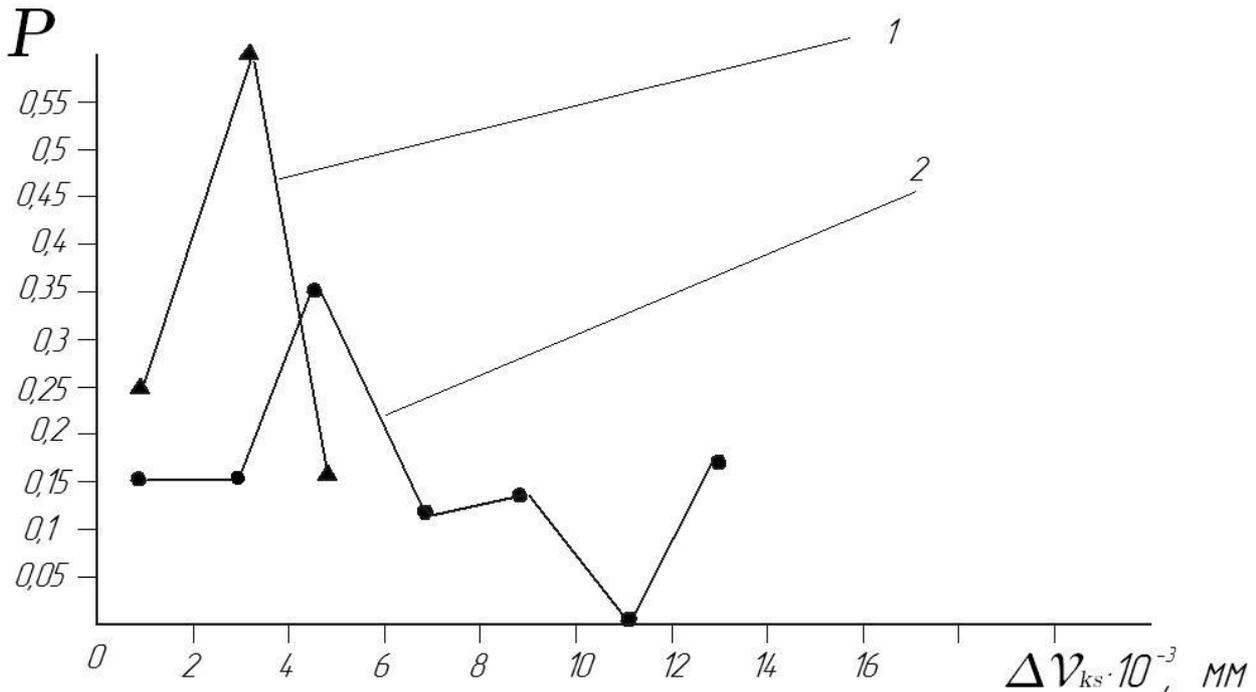


Рисунок 8 – Полигон рассеяния погрешности воспроизводимости микрометра для точки деления 4,55 мм, где 1 – кривая при отсчете слева, 2 – кривая при отсчете справа

По вертикальной оси (P) откладываем частоты – отношение количества значений снимаемой величины y_i , попавших в данную зону полигона (в десятичных дробях) к общему числу (20), т.е., например, $1/20 = 0,05$; $2/20 = 0,1$ и т. д.

По горизонтальной оси отложен промежуток от минимального значения отсчета до максимального значения, разделенный на несколько зон.

Число зон выбирается не менее 4. Ширина зоны определяется как разность максимального и минимального значения, поделенного на число зон.

Полигон рассеяния построен правильно, если сумма значений точек графика по вертикальной оси будет равна 1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ (на примере двухклинового компенсатора)

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
- 1.2. Провести анализ конструкции механизма двухклинового компенсатора (ДК), составить структурную, функциональную схемы ДК и вывести функцию преобразования движения (ФПД).
- 1.3. Произвести измерения угла отклонения пучка лучей.
- 1.4. По результатам измерений и выведенной ФПД:
 - рассчитать величину преломляющего угла клиньев компенсатора;
 - определить погрешность мертвого хода механизма привода;
 - вычислить погрешность бокового увода.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Механизм двухклинового компенсатора дальногомера.
- 2.2. Автоколлиматор АК-1У.
- 2.3. Блок питания автоколлиматора.
- 2.4. Зеркало автоколлимационное.

3. НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Измерение дистанции внутрибазными дальномерами геометрического типа сводится к измерению параллактического угла ε или линейного параллакса α_L изображения в поле зрения. Для измерения линейных параллаксов изображения объекта используются оптические микрометры, часто называемые оптическими компенсаторами. Компенсатор позволяет получить весьма малые перемещения изображения (порядка единиц и даже долей микрона) при относительно больших перемещениях или поворотах механизма привода. С механизмом привода связана дистанционная шкала.

В оптических дальномерх геометрического типа в качестве измерительных компенсаторов используются линзовые, одноклиновые и двухклиновые компенсаторы.

Линзовые компенсаторы бывают двух видов:

- 1 - компенсатор Босковича с качающейся линзой;

2 - компенсатор с подвижной линзой.

Компенсатор Босковича (рис. 1) применяется в дальномерах фотоаппаратов и представляет собой афокальную оптическую систему, состоящую из положительной 2 и отрицательной 1 цилиндрических линз одинаковой силы, изготовленных из одного сорта стекла. Положительная линза может поворачиваться вокруг оси, проходящей через центр кривизны её поверхности. При покачивании положительной линзы плоская ее поверхность наклоняется на угол θ , равный углу поворота рычага, вызывающего покачивание. Вследствие этого плоскопараллельная пластинка из двух линз превращается в оптический клин.

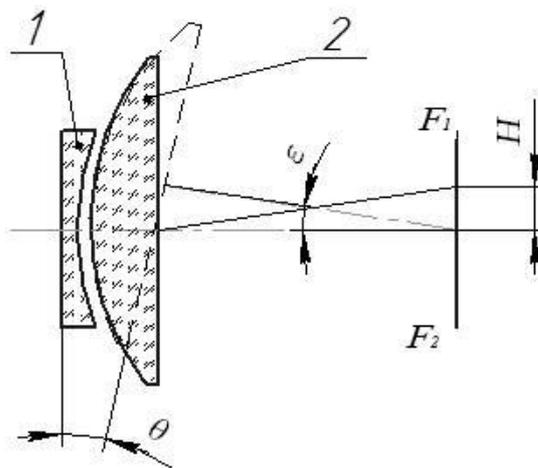


Рисунок 1 – Компенсатор Босковича, где 1 – неподвижная (отрицательная) линза, 2 – подвижная (положительная) линза, θ – угол наклона подвижной линзы, ε – угол смещения изображения, FF' – плоскость изображения, H – смещение изображения объекта

Угол отклонения компенсатора

$$\varepsilon = \theta(n-1),$$

где θ – угол между плоскими поверхностями компенсатора (угол клина), n – показатель преломления стекла линз.

При этом измеряемая дальность D определится по следующей формуле:

$$D = \frac{H}{\theta(n-1)},$$

здесь B – база прибора.

Линзовый компенсатор с подвижной линзой (рис. 2) отличается от компенсатора Босковича лишь тем, что он состоит из двух сферических линз, - положительной 2 и отрицательной 1, - с одинаковыми фокусными расстояниями, образующих афокальную систему с увеличением, равным единице.

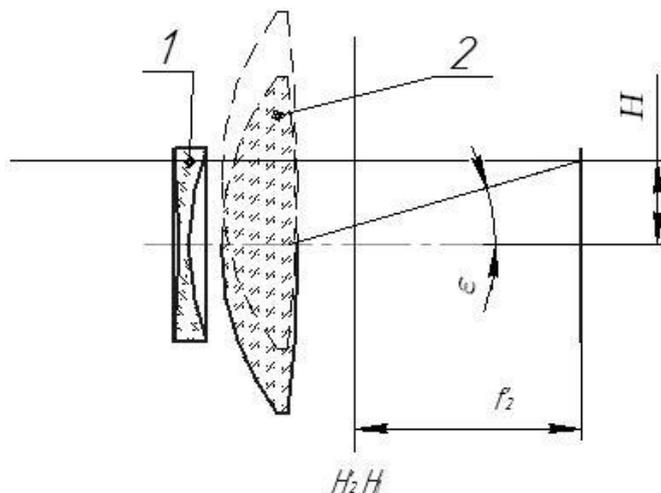


Рисунок 2 – Линзовый компенсатор, где 1 – неподвижная (отрицательная) линза, 2 – подвижная (положительная) линза, ϵ – угол смещения изображения объекта, f_2 – фокальный отрезок линзы, H_2H – положение главных плоскостей линз, H - смещение изображения

Для дальномеров с большими увеличениями (более 20^\times) линзы компенсаторов делаются ахроматизированными, а для дальномеров с небольшими увеличениями - простыми.

Одна из возможных конструкций линзового компенсатора приведена на рис. 3. Здесь положительная линза 1 линзового компенсатора является подвижной, отрицательная же линза 2 – неподвижна. Перемещение линзы 1 производится с помощью микрометрического винта 3, поступательное движение которого передается рычагу 4. Последний вызывает перемещение линзы 1, оправа которой двигается по направляющим 5. Когда линзы компенсатора центрированы, то пучок, проходящий через компенсатор, не меняет своего направления, но если положительная линза с фокусным расстоянием f' переместится на величину H , то пучок изменит своё положение на угол ϵ :

$$\operatorname{tg} \epsilon = \frac{H}{f'}. \quad (1)$$

Компенсатор может работать в любых пучках лучей.

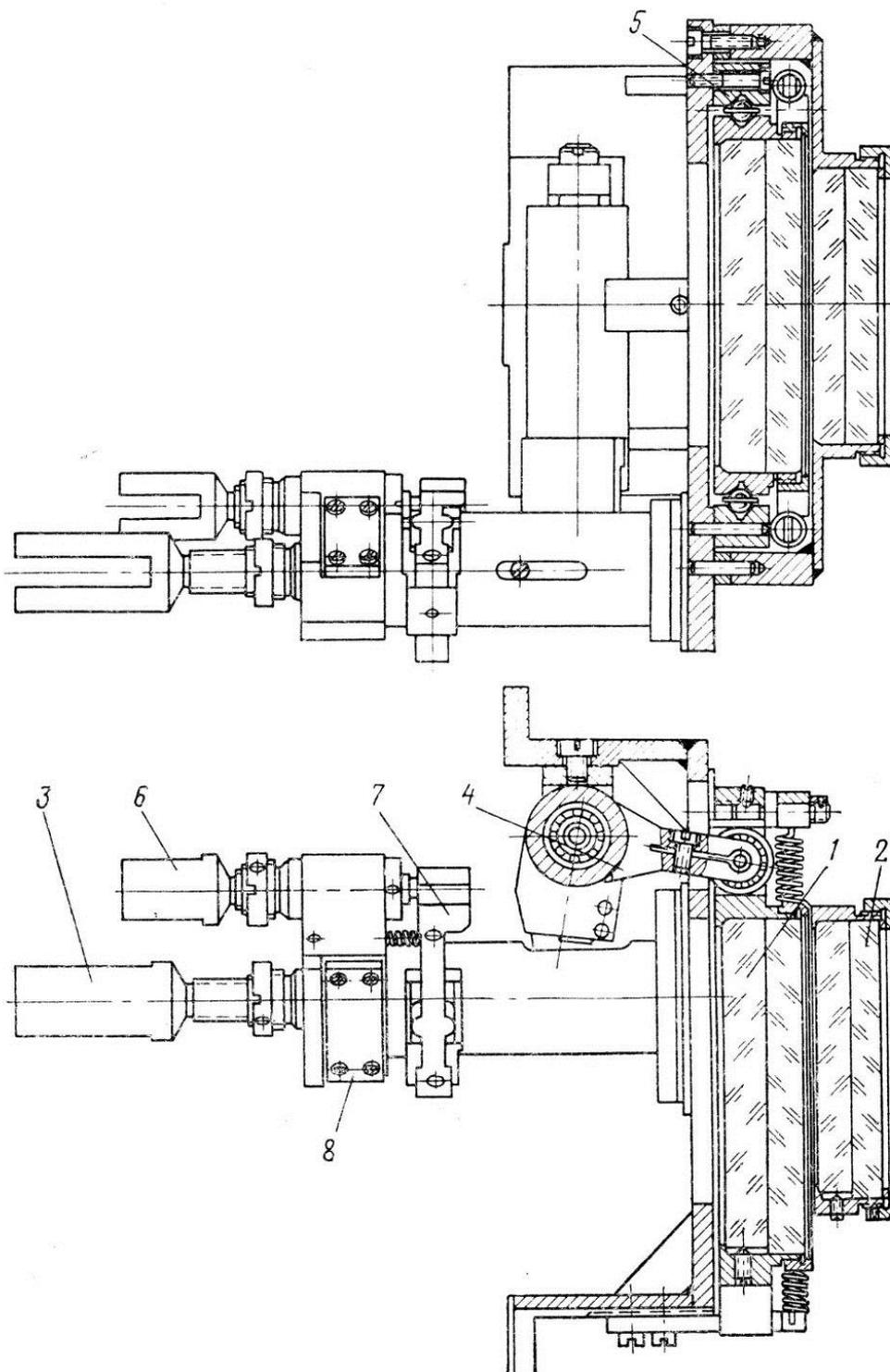


Рисунок 3 – Конструкция линзового компенсатора, где 1 – подвижная положительная линза, 2 – неподвижная отрицательная линза, 3 – микрометрический винт, 4 – рычаг, 5 – направляющая, 6 – привод, 7 – рычаг привода, 8 – гайка

Для того, чтобы обеспечить необходимую точность измерительного механизма, перемещение положительной линзы принимается равным приблизительно 20 мм. В диапазоне изменения углов компенсатором около

10' фокусное расстояние линз компенсатора оказывается довольно большим, до нескольких метров, как видно из выражения (1):

$$f' = \frac{20 \cdot 3440}{10} = 6880 \text{ мм} \approx 7 \text{ м.}$$

Но даже при таких больших фокусных расстояниях линзу компенсатора нужно перемещать с высокой точностью.

В современных дальномерах точность изменения угла отклонения лучей компенсатором должна достигать порядка 0,25 – 0,3'', что соответствует перемещению, равному $\Delta x = \frac{20 \cdot 0,3''}{600''} = 10 \text{ мк.}$

Допустимая относительная погрешность фокусного расстояния составит $\frac{\Delta f'}{f'} = \frac{0,3''}{600''} = 0,0005$ или 0,05%.

Очевидно, что такая точность выполнения фокусного расстояния линз не может быть получена в производственных условиях. Поэтому в конструкции линзовых компенсаторов всегда имеются компенсационные устройства для исключения погрешностей фокусных расстояний линз компенсатора, а также погрешностей шага микрометрического винта. Компенсационные устройства должны позволять изменять диапазон отклонения пучка лучей компенсатором на 1%.

Как уже указывалось, положительная и отрицательная линзы компенсатора представляют собой афокальную оптическую систему с увеличением, равным единице. Для этого фокусные расстояния линз должны быть равны, а их главные плоскости совмещены. Поэтому линзы компенсатора представляют собой мениски с вынесенными главными плоскостями, как показано на рис. 4.

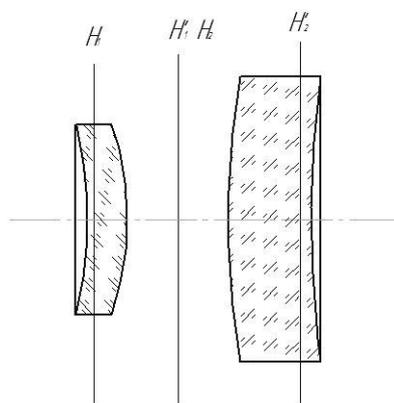


Рисунок 4 – Линзовый компенсатор на основе мениска

Подвижный клин 2 за объективом 1 в качестве измерительного компенсатора (рис. 5) применяется главным образом в специальных

внутрибазных дальномерах. Предел параллактических углов, которые можно скомпенсировать подвижным клином, равен углу отклонения самого клина.

Двухклиновые компенсаторы являются наиболее распространенными из известных оптических микрометров. Они применяются в дальномерах фотоаппаратов, в военных дальномерах в качестве измерительных, а также вспомогательных устройств для выверки по дальности и высоте, и в некоторых дальномерах для точной наводки по высоте.

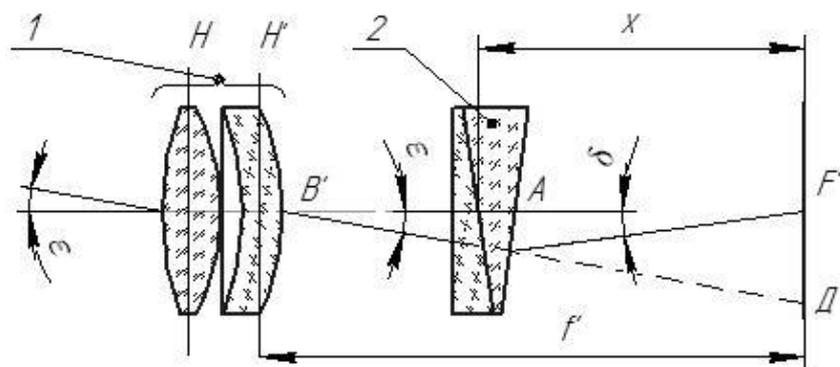


Рисунок 5 – Двухклиновой компенсатор,
где 1 – объектив, 2 – клин, ϵ – угол наклона пучка лучей, δ – угол отклонения пучка клином, f' – фокальный отрезок объектива, x – расстояние от клина до фокальной плоскости

Двухклиновой компенсатор состоит из двух одинаковых оптических клиньев, поворачивающихся от некоторого среднего положения на равные углы, но в противоположные стороны. Он устанавливается перед объективом в параллельном пучке лучей. Величина угла отклонения пучка лучей δ , даваемого компенсатором, определяется следующей формулой:

$$\delta = 2\sigma_k \cos \varphi,$$

где σ_k – угол клина, φ – угол поворота клина.

Из этой зависимости видно, что диапазон компенсации параллактических углов составляет $\pm 2\sigma_k$. Так как параллактический угол всегда одного и того же знака, то, чтобы использовать весь рабочий (линейный) диапазон компенсатора, необходимо начало отсчета параллактических углов сместить в сторону отрицательных значений ϵ .

В современных дальномерах обычные двухклиновые компенсаторы в качестве измерительных применяются редко, так как им присущи существенные недостатки:

- а) высокие требования к точности углов отклонения клиньев;
- б) нелинейная зависимость между углом отклонения компенсатора и углом поворота приводного вала.

Это требует применения специальных преобразователей при передаче показаний дальномера и лишает возможности использовать линейные элементарные механизмы, связанные с компенсатором, а также требует точного согласования шкалы с компенсатором по фазе.

В современных дальномерах геометрического типа применяются двухклиновые компенсаторы с синусным механизмом, не имеющие недостатков.

На рисунке 6 приведена схема двухклинового компенсатора, где 1, 2 – первый и второй оптический клин, соответственно, A, A' - вектор падающего и прошедшего пучка лучей соответственно; φ - угол поворота клиньев; σ - преломляющий угол клиньев; n - показатель преломления материала клиньев; X, Y, Z - система координат; δ - угол отклонения пучка лучей.

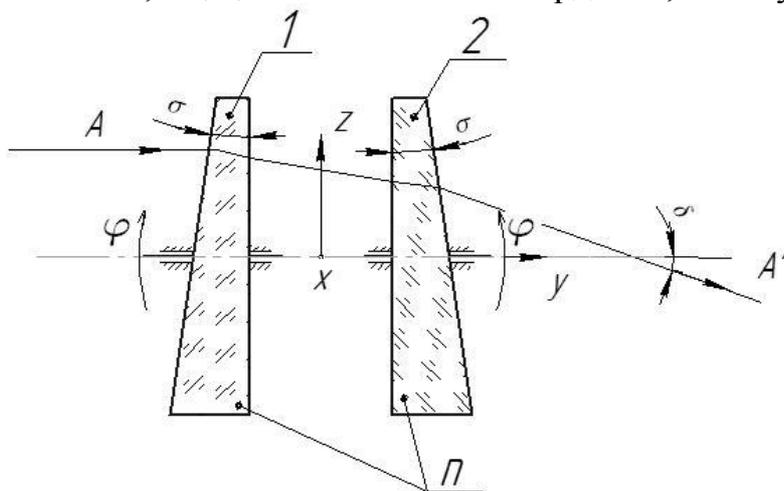


Рисунок 6 – Оптическая схема двухклинового компенсатора, где 1, 2 – клинья, σ – угол клина, φ – угол поворота клиньев, δ – угол отклонения пучка лучей клиньями, n – показатель преломления стекла клиньев

Оптический клин отклоняет проходящий через него луч света на угол δ пропорционально преломляющему углу клина σ , причем луч отклоняется в сторону большего основания. При вращении пары клиньев (с равными преломляющими углами и показателями преломления стекла) вокруг общей оси вращения в разные стороны, но с равными угловыми скоростями, пара таких клиньев будет эквивалентна одному клину с переменным преломляющим углом. Тем самым проходящий луч такой системой клиньев будет отклоняться на угол δ , определяющийся эквивалентным преломляющим углом. При взаимном развороте клиньев на 180° двухклиновой компенсатор по своему действию будет эквивалентен плоскопараллельной пластинке, поэтому отклонения луча не произойдет.

Закон изменения угла отклонения δ в общем виде можно представить следующим выражением

$$\delta = \sin\sigma \cdot \cos \left\{ \frac{(1 - \sin^2\sigma \cdot \cos 2\varphi) + \cos\sigma \sqrt{n^2 - \gamma^2 \sin^2\sigma} - \sqrt{1 - n^2 + (\cos\sigma \cdot \sqrt{n^2 - \gamma^2 \sin^2\sigma} - \gamma^2 \sin^2\sigma \cdot \cos 2\varphi)}}{2} \right\},$$

где $\gamma = \sqrt{n^2 - \sin^2\sigma - \cos\sigma}$.

Для угла клина $\sigma < 5^\circ$ справедливо будет следующее приближенное выражение угла отклонения пучка δ лучей:

$$\delta \approx 2\sigma(n - 1)\text{Sin}\varphi,$$

где σ - преломляющий угол клиньев в радианах.

При вращении микрометрического винта 1 (рис. 7, 9) происходит перемещение подвижной части 2, которая толкает ролики 3, вызывая этим вращение оправе клинья. Закон функционирования для двухклинового компенсатора определяется выражением

$$\varepsilon = 2\sigma\text{Sin}\varphi, \quad (1)$$

здесь $\text{Sin}\varphi = \frac{x}{R}$, или $\varepsilon = 2\varepsilon \frac{x}{R}$

Из формулы (1) видно, что в первом приближении траектория отклоняемого клиновым компенсатором луча в плоскости изображений будет описываться уравнением прямой. На самом же деле траектория луча не есть прямая линия. Отступление траектории от прямолинейной называется погрешностью бокового увода α , которая может быть определена по следующей приближенной формуле, полученной Эрфле:

$$\alpha \approx 2\sigma^3(n - 1)^2\text{Sin}\varphi \cdot \text{Cos}^2\varphi.$$

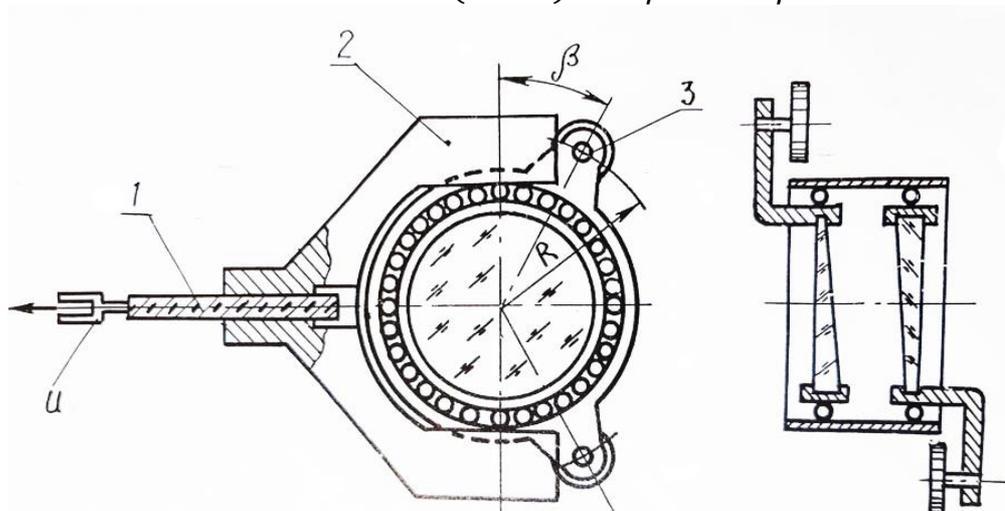


Рисунок 7 – Схема двухклинового компенсатора с синусным механизмом, где 1 – микрометрический винт, 2 – подвижная скоба, 3 – ролики, β – угол поворота клиньев, R – радиус расположения роликов

Также из формулы (1) следует, что угол отклонения линейно зависит от перемещения роликов. Кроме того, видно, что в знаменатель формулы входит величина r . Эту величину можно регулировать в процессе сборки и тем самым устранить ошибки углов отклонения клиньев компенсатора.

В конструкции двухклиновых компенсаторов с синусным механизмом предусматривается возможность регулировки величины r . Благодаря этому требованию к точности углов отклонения клиньев компенсатора могут быть снижены настолько какой будет предусмотрен диапазон регулировки величины r .

Компенсатор с синусным механизмом (рис. 8 а, б) состоит из трех конических шестерен одинакового диаметра и с равным числом зубьев - ведущей 5 и двух ведомых 4, внутри которых расположены оправы с клиньями 2. Ведущая шестерня поворачивается с помощью синусного рычажного механизма и вызывает такой же поворот шестерен с клиньями компенсатора.

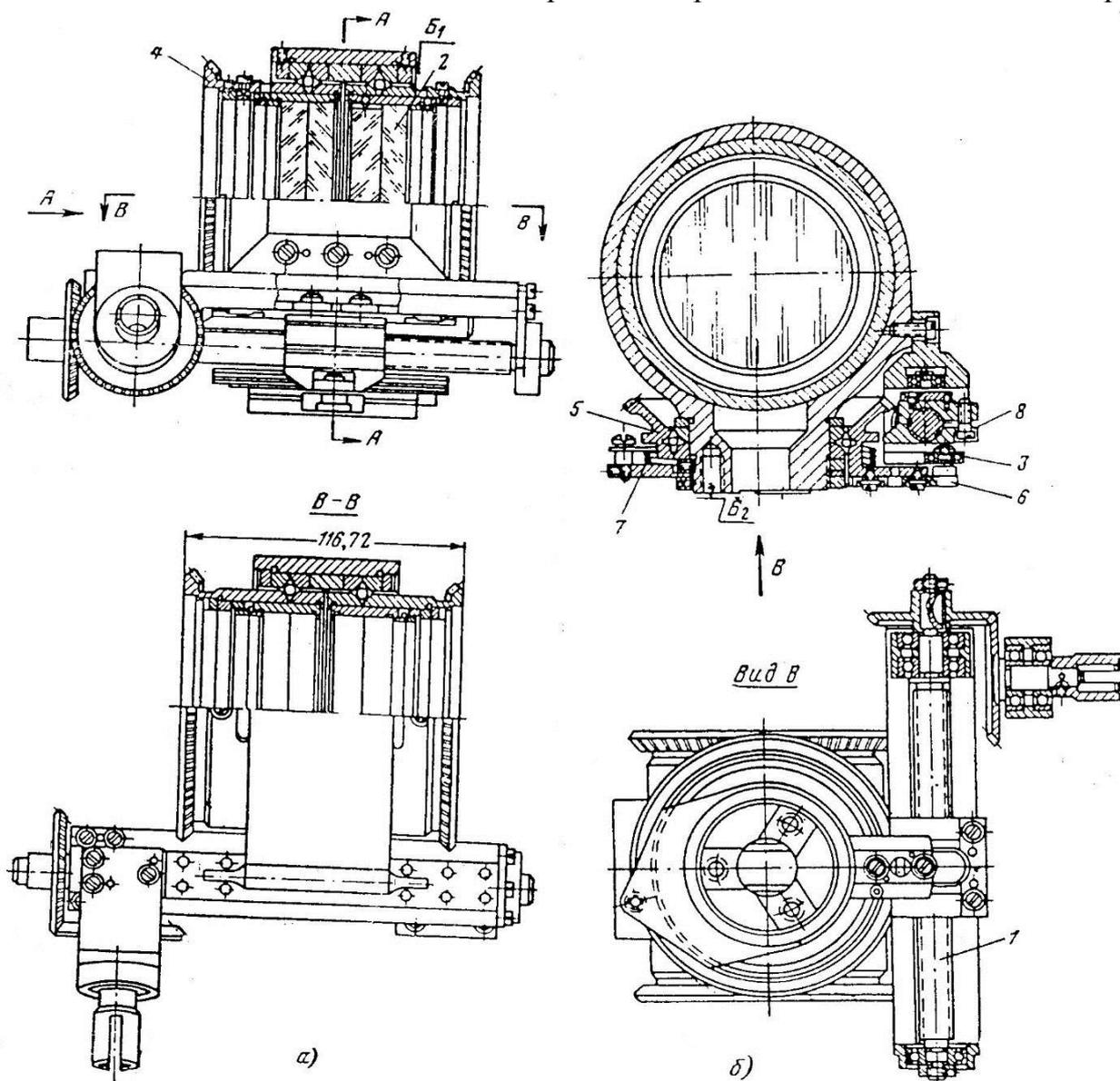


Рисунок 8 а, б – Конструкция двухклинового измерительного компенсатора с синусным механизмом, а – продольный разрез и вид сверху, б – поперечный разрез и вид снизу,

где 1 - микрометрический винт; 2 - оправы с клиньями; 3 - ролик; 4 - шестерня с клином; 5 - ведущая шестерня; 6 - рычаг синусного механизма; 7 - пружина, 8 - подвижная гайка синусного механизма

Синусный механизм состоит из ходового винта 1, по которому перемещается гайка 8 с пазом, в этот паз входит ролик 3 рычага 6 синусного механизма. Рычаг представляет собой ведущую каноническую шестерню с Т-

образным пазом, в который входит деталь 6, несущая ролик 3. Деталь с роликом может перемещаться в пазу, благодаря чему достигается изменение длины плеча рычага синусного механизма, позволяющее компенсировать погрешности углов отклонения клиньев компенсатора и погрешности ходового винта синусного механизма.

Для устранения мертвого хода синусного механизма в конструкции компенсатора предусмотрена пружина 7, благодаря которой на ведущей шестерне возникает вращающий момент, действующий в одну сторону. Это предохраняет смещение в зазоре пары винт-гайка и устраняет погрешность "мертвого хода" подвижной гайки относительно ходового винта синусного механизма.

Внешний вид двухклинового измерительного компенсатора с синусным механизмом представлен на рис. 9. Номера позиций деталей аналогичны рис. 7 а, б.



Рисунок 9 – Внешний вид двухклинового измерительного компенсатора с синусным механизмом,
где 1 – маховичок микрометричного винта, 2 – подвижная скоба, 3 – ролики, 4 – шестерня, 5 – направляющая, 6 – рычаг привода, 8 – гайка

Конструктивные параметры механизма привода двухклинового компенсатора:

Показатель преломления стекла клиньев	$n = 1,5183.$
Число заходов винта	$K = 2.$
Шаг винта	$t = 2,5 \text{ мм.}$
Плечо рычага	$R = 75 \text{ мм.}$

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Исследование двухклинового измерительного компенсатора 1 (рис. 9) с синусным механизмом производится на установке, включающей отсчетное устройство задания угла поворота клиньев 2, автоколлиматор АК- 1У 3 и юстировочное зеркало 4, которое входит в штатный комплект поставки автоколлиматора. Оптические оси компенсатора 1 и автоколлиматора 3 совмещены.

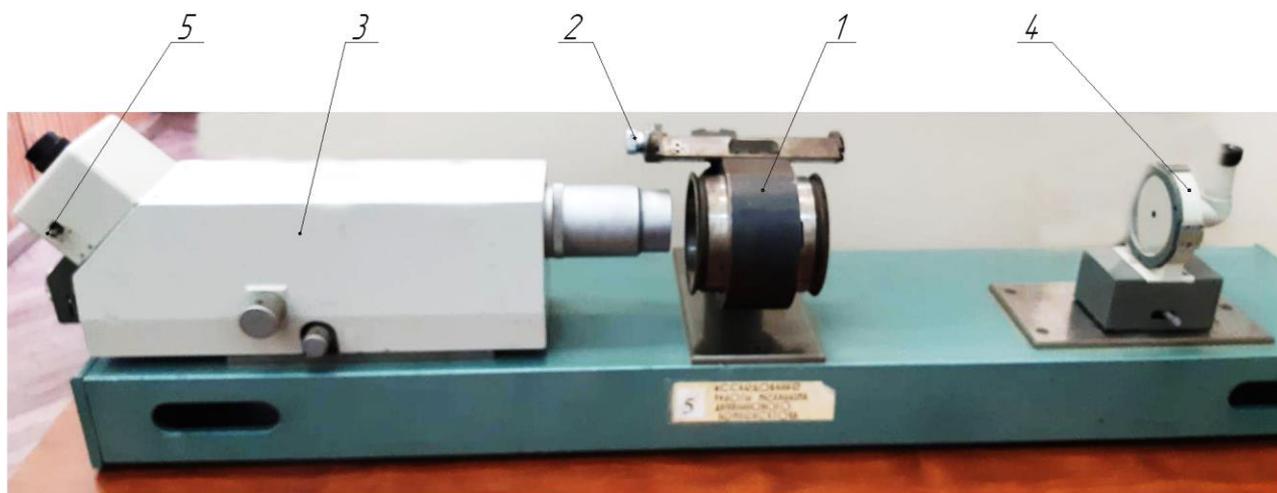


Рисунок 9 – Установка для исследования компенсатора, где 1 – измерительный компенсатор, 2 – маховичок микрометрического винта, 3 – автоколлиматор, 4 – зеркало, 5 – маховичок микрометра автоколлиматора

На установке автоколлиматором измеряются удвоенные вертикальные углы отклонения пучка лучей компенсатором.

Автоколлиматор (рис. 10) состоит из следующих основных узлов:

- корпуса 3;
- основания 8;
- окулярной головки 6;
- объектива 7.

Корпус 3 - алюминиевая отливка, с одной стороны в него ввинчивается объектив 7, а с другой - окулярная головка 6 с компенсатором. Окулярная головка закрыта крышкой. Основание 8 закрепляется на плите с помощью двух постоянных магнитов, включаемых маховичком 1. Основание имеет механизм для установки автоколлиматора перпендикулярно отражающей поверхности зеркала.

Для установки в вертикальной плоскости служит маховичок 5, а в горизонтальной - маховичок, расположенный на противоположной стороне.

Окулярная головка 6 содержит минутную и секундную шкалы, положительную и отрицательную линзы компенсатора.

Секундная шкала компенсатора, жестко связанная с положительной

линзой, имеет возможность перемещаться в двух направлениях относительно минутной шкалы маховичком 5 при измерении отклонения углов зеркала в вертикальной плоскости и другим маховичком в горизонтальной плоскости.

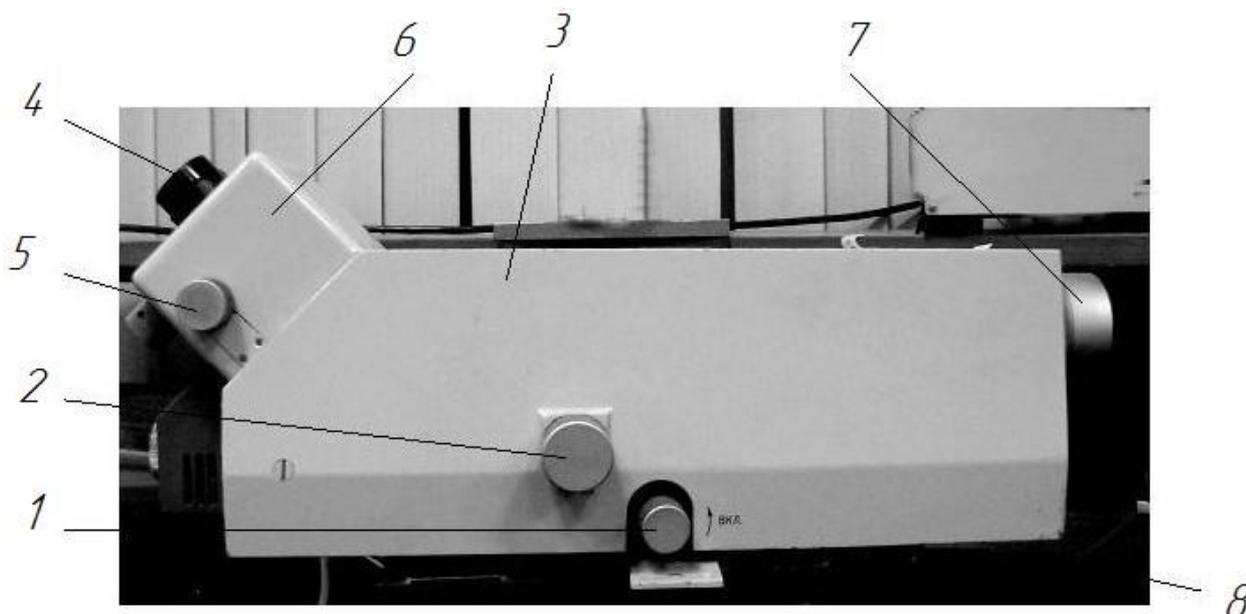


Рисунок 10 – Общий вид автоколлиматора, где 1 – маховичок включения магнитов, 2 – маховичок вертикальной настройки, 3 – корпус, 4 – окуляр, 5 – маховичок микрометра вертикальных углов, 6 – окулярная головка, 7 – объектив, 8 – основание

Для удобства работы окуляр имеет диоптрийное перемещение для настройки по глазу оператора.

Вид поля зрения автоколлиматора показан на рис. 11.

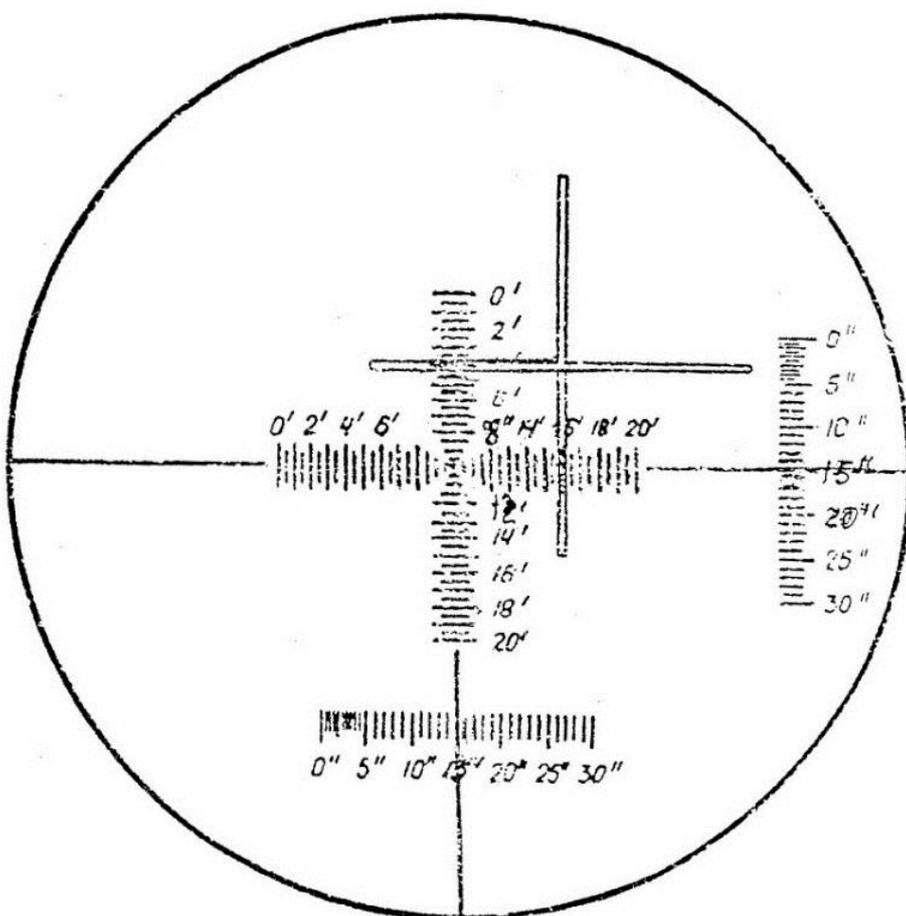


Рисунок 11 - Вид поля зрения автоколлиматора АК-1У

Здесь отсчет вертикального угла автоколлиматора снимается с вертикальных шкал: минутной, расположенной в центре поля зрения ($15'$), и секундной – в нижней части ($15''$), и он равен $15'15''$.

Отсчет можно снимать только в положении, когда горизонтальная часть креста совмещена с ближайшим штрихом минутной шкалы вертикальных углов.

Совмещение осуществляется вращением маховичка 5 микрометра автоколлиматора.

Углы отклонения пучка лучей компенсатором задаются шкальным механизмом 2 , цена деления которого составляет $0,41''$, полный оборот – $41''$.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Изучить конструкцию компенсатора, составить структурную схему механизма привода двухклинового компенсатора с обозначением элементарных преобразователей, их входных и выходных информативных параметров и функций преобразования движения.

Изучение конструкции механизма или узла следует, начинать с выяснения назначения механизма и выполняемых им функций. Далее следует выяснить условия работы и требования, а также определить типы кинематических пар по виду движения, виду трения и виду замыкания.

Часто в приборах не вся кинематическая цепь выполняет функции точного механизма. Кроме него, могут быть механизмы привода, установочные, регулировочные. Поэтому в первую очередь следует определить границы кинематических цепей, для которых имеет смысл производить расчет на точность. При этом полезно ориентироваться на расположение в механизме отсчетного устройства относительно выходного звена. Далее необходимо определить тип отсчетного устройства (шкальное, цифровое, записывающее), выяснить, имеется ли отсчетное приспособление (нониус, отсчетный микроскоп, шкальный механизм) и разобраться в конструктивной связи элементов отсчетного устройства со звеньями кинематической цепи.

Необходимо представлять себе, что звенья механизмов могут состоять из совокупности деталей, жестко соединенных между собою, т. е. из целого конструктивного узла. При изучении конструкции следует выяснить назначение каждой детали в узле. Далее необходимо обратить внимание на расположение отсчетных устройств относительно наблюдателя - оператора, обслуживающего прибор, а также на расположение и конструктивные особенности органов управления. Требуется уделить внимание и таким вспомогательным элементам кинематики, как муфты, ограничители движения и фиксаторы положения. Следует вспомнить также, что в конструкции механизма роль одного из звеньев всегда выполняет корпусная деталь; обычно она является базовой для большого числа деталей прибора.

При изучении конструкции особое внимание следует обратить на разного рода регулировочные устройства, а также устройства для обеспечения силового замыкания звеньев. Выясняя конструктивные особенности этих устройств, необходимо прежде всего определить их назначение (установка начального положения, согласование диапазонов работы отдельных частей механизма, компенсации ошибок, обеспечение эксплуатационных функций механизма и т. д.).

Схема структурная - схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи (ГОСТ 2.701-84 СТ СЭВ 527-77).

Составление структурных схем кинематики лучше начинать с выходных звеньев и далее последовательно изображать на схеме все элементы механизмов вплоть до входных звеньев, которыми часто бывают шкалы и органы управления. Если шкала отсчетного устройства не совмещена с органом управления, то цепь разветвляется — одна ветвь идет до шкалы «точного» отсчета, другая — до органа управления. Для большей наглядности схема всегда строится в развернутом виде, а не в соответствии с конструктивной компоновкой.

На структурной схеме должны быть четко указаны связи между элементарными механизмами цепи. Для изображения отдельных элементов

схемы следует пользоваться системой их условных обозначений по ГОСТ 2.770-68 (ЕСКД). В некоторых случаях допускаются отступления от этой системы с целью повышения наглядности и выразительности рисунка. Все звенья цепи необходимо пронумеровать, начиная от входа механизма. При изображении звеньев на схеме желательно выдерживать приблизительно правильные соотношения между их размерами (например, зубчатых колес, длин рычагов, диаметров кулачков и т. п.).

Кинематическая схема строится для промежуточного положения механизма, которое следует выбрать таким, чтобы все звенья цепи были отчетливо видны и было понятным их взаимодействие. Желательно указать на схеме систему отсчета для входной и выходной координат; необходимо также обозначить буквами на схеме координаты входного, выходного и промежуточных звеньев механизма. Кинематическая схема должна быть надписана сверху (должна иметь название), а в правом нижнем углу листа располагается спецификация.

5.2. Вывести функцию преобразования движения цепи привода двухклинового компенсатора.

Закон движения сложной цепи составляется на основе известных законов движения элементарных типовых механизмов (см. табл. в приложении 1).

Начинать следует от выходного элемента цепи и, последовательно перебирая все звенья, закончить рассмотрение на входе. В результате получится система уравнений (законов движения элементарных механизмов, составляющих рассматриваемую цепь). После решения этой системы получается общий закон движения для всего механизма. Далее, полезно получить промежуточные законы движения, связывающие выходную координату всей цепи с входными координатами каждого из элементарных механизмов.

Если кинематическая цепь прибора имеет один или несколько элементарных механизмов с нелинейными законами движения, то необходимо выяснить, с какой целью это сделано. Возможны два варианта:

а) вся схема специально предназначена для решения нелинейной функции (обычно в счетно-решающих системах).

В этом случае полный закон движения составляется с учётом указанной нелинейности;

б) нелинейные механизмы включены с целью упрощения конструкции и повышения точности.

В этом случае закон движения, обычно, линеаризуется, т. е. принимается допущение о его линейности, в результате чего появляется теоретическая ошибка. Это допущение войдет и в общее выражение закона движения всей кинематической цепи. В дальнейшем, при определении источников ошибок механизма, эта теоретическая ошибка должна быть учтена.

5.3. Составить функциональную схему механизма привода двухклинового компенсатора.

Схема функциональная - схема разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом (ГОСТ 2.701-84 СТ СЭВ 527-77).

Схемами функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте.

5.4. Провести измерения угла отклонения пучка лучей двухклиновым компенсатором во всем диапазоне изменения входного информативного параметра в прямом и обратном ходе. Результаты измерений занести в таблицу 1 (приложение 2).

Выполняется путем задания числа оборотов маховичка 2 (рис. 10) от 1 до 20 и снятия соответствующего вертикального угла отклонения пучка лучей с помощью автоколлиматора 3.

5.5. По результатам измерений определить угол клина двухклинового компенсатора и величину погрешности "мертвого хода" механизма привода.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Краткое описание работы.
- 6.2. Структурная схема компенсатора.
- 6.3. Функциональная схема компенсатора
- 6.4. Таблицы, содержащие данные измерений.
- 6.5. Требуемые по заданию работы расчеты параметров.
- 6.6. Расчет угла клина, погрешности мертвого хода механизма привода, погрешности бокового увода.
- 6.7. Функция преобразования движения цепи привода двухклинового компенсатора

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

7.1. Назначение измерительных компенсаторов; типы измерительных компенсаторов, особенности привода.

7.2. Причины возникновения погрешности "мертвого хода" в подвижных системах оптических приборов.

7.3. Выявить возможные источники погрешности "мертвого хода" в приводе клинового компенсатора.

7.4. Предусмотрена ли в конструкции привода клинового компенсатора возможность регулировки передаточного отношения?

7.5. Пояснить с помощью векторной диаграммы, почему при вращении клиньев компенсатора пучок лучей

7.6. Благодаря чему осуществляется линейная связь между поворотом винта и отклонением пучка лучей.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий Ю. Г. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. «Машиностроение», М., 1971.
2. Сухопаров С. А. Сборка и юстировка морских оптических дальномеров. ГНТИ, Оборонгиз, М., 1961.
3. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Учебное пособие для приборостроительных вузов. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1982.
4. Латыев С. М. Компенсация погрешности в оптических приборах. Л., «Машиностроение», Ленинградское отд., 1985.
5. Митрофанов С. С. Оптические и оптико-электронные измерительные приборы. Часть I. Пособие к выполнению лабораторных работ. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2010. - 110 с., <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2276.pdf>.

Таблица 1. Элементарные типовые механизмы и законы их движения

1		$y = \frac{k \cdot t}{2\pi} x$ <i>k - число заходов; t - шаг резьбы</i>
2		$y = -\frac{k \cdot t}{2\pi} x$
3		$y = -\frac{k \cdot t}{2\pi} x$
4		$y = \frac{k \cdot t}{2\pi} x$
5		$y = \arcsin \frac{x}{R}$
6		$y = \arctg \frac{x}{R}$
7		$y = -\frac{a}{b} x$
8		$y = -\frac{a}{b} x$
9		$y = \frac{a}{b} x$
10		$y = R \cdot \sin x$
11		$y = R \cdot \operatorname{tg} x$

12	<p>$a=c$ $b=d$</p>	$y=x$ $h=a(1-\cos\alpha)$
13		$y=\frac{d_1}{d_2}x$
14		$y=R \cdot x$
15		$y=-\frac{z_1}{z_2}x$
16		$y=\frac{z_1}{z_2}x$
17		$y=\frac{z \cdot m}{2}x$
18		$y=\frac{k}{z}x$
19		$y=e \cdot \sin x$
20	<p>спир. Архимеда с шагом T</p>	$y=\frac{T}{2\pi}x$
21	<p>спир. Архимеда с шагом T</p>	$y=\arcsin\left(\frac{T}{2\pi R}x\right)$
22		$y=\operatorname{tg}\beta \cdot x$
23		$y=a \cdot \operatorname{tg}\beta \cdot \sin x$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Таблица 1. Результаты измерения угла отклонения пучка лучей двухклиновым компенсатором

Число оборотов винта	Отсчет в прямом ходе, δ_1		Отсчет в обратном ходе, δ_2		Средняя величина отсчета, δ_{cp}	Угол отклонения пучка лучей, δ	Погрешность воспроизводимости, ΔV
	угл. величина	рад.	угл. величина	рад.			
1							
2							
...							
20							

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАБОТЫ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы и конструкцией установки для исследования погрешностей рычажного механизма.
- 1.2. Определить назначение регулировочных устройств в исследуемом рычажном механизме, составить его функциональную схему и построить график идеальной функции преобразования движения (ФПД).
- 1.3. Задавая изменение входного информативного параметра через 1 мм в рабочем диапазоне (не менее 10 мм), определить изменение выходного информативного параметра и построить график реальной ФПД.
- 1.4. Определить значение погрешности выходного информативного параметра в конце диапазона измерений и оценить нелинейность графика реальной ФПД.
- 1.5. Разработать методику регулировки рычажного механизма для обеспечения заданного коэффициента преобразования.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Двуплечий рычажный механизм.
- 2.2. Индикатор часового типа.
- 2.3. Микрометрический винт.

3. РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ИХ ПОГРЕШНОСТИ

Рычажные механизмы, благодаря своей конструктивной простоте, технологичности, надежности и компактности используются во многих оптических приборах. С их помощью производится передача и преобразование угловых и линейных движений как в измерительных функциональных устройствах приборов (например, в оптиметрах, спектральных приборах, дальномерах), так и в устройствах управления (фокусирующие устройства микроскопов, устройства наведения теодолитов). В подавляющем большинстве это плоские одноплечие, выполненные по "синусной" или "тангенсной" схеме, либо двуплечие рычаги.

Характеристиками движения механизмов являются математические модели, устанавливающие функциональные связи между обобщенными координатами и конструктивными параметрами механизма. Наиболее общей

является характеристика, называемая функцией преобразования движения (ФПД), имеющая вид:

$$y = f(x_i, q_s),$$

где y – обобщенная выходная координата, x_i – обобщенные выходные координаты (входы $i = 1, 2, \dots, k$), q_s – конструктивные параметры ($s = 1, 2, \dots, m$).

Значение ФПД необходимо для синтеза кинематической цепи при проектировании и анализе кинематических свойств механизма, она используется для выполнения кинематических, силовых и динамических расчетов, а также расчетов на точность и надежность.

Для составления ФПД сложных механизмов используются ФПД типовых элементарных механизмов. Сложная цепь расчленяется на составляющие её элементарные механизмы и общая ФПД составляется совместным решением систем частных ФПД.

Кроме ФПД, при проектировании механизмов используют прямую A_{yx} и обратную A_{xy} передаточные функции, т.е.

$$A_{yx} = \frac{dy}{dx}, \quad A_{xy} = \frac{dx}{dy}.$$

Передаточные функции характеризуют кинематическую чувствительность механизмов.

Одним из преимуществ рычажных механизмов является обратимость движения. Одноплечие рычажные механизмы преобразуют вращательное движение в поступательное и наоборот. Двуплечие рычажные механизмы преобразуют линейное движение в линейное с возможностью ускорения или замедления его, что определяется соотношением длин плеч рычага, а также с возможностью передачи линейного движения практически в любом направлении, что определяется углом между плечами рычага двуплечего рычажного механизма.

Немаловажным достоинством рычажного механизма (РМ) является относительная простота компенсации его основных погрешностей: теоретической и технологической погрешности длин плеч рычагов.

Теоретическая погрешность ΔY_m возникает из-за допущений, принимаемых в законе функционирования, и в конструкции РМ (рис. 1) и может быть оценена по формуле

$$\Delta Y_T = y - y_0 = \arctg \left[\left(\frac{x + \frac{r}{\cos y} - r}{R} \right) \right] - \arctg \left(\frac{x}{R} \right) \approx \frac{r \left(\frac{1 - \cos y}{\cos y} \right)}{R} \approx \frac{ry^2}{2R}.$$

Допущения в законе функционирования возникают при замене точной ФПД на приближенную. В одноплечих РМ это происходит, например, при замене синусной или тангенсной зависимости приближенной линейной функцией [2]. Для малых углов эта замена не приводит к появлению значительных погрешностей, однако при больших углах эти погрешности становятся ощутимыми и влияют на точность работы механизма.

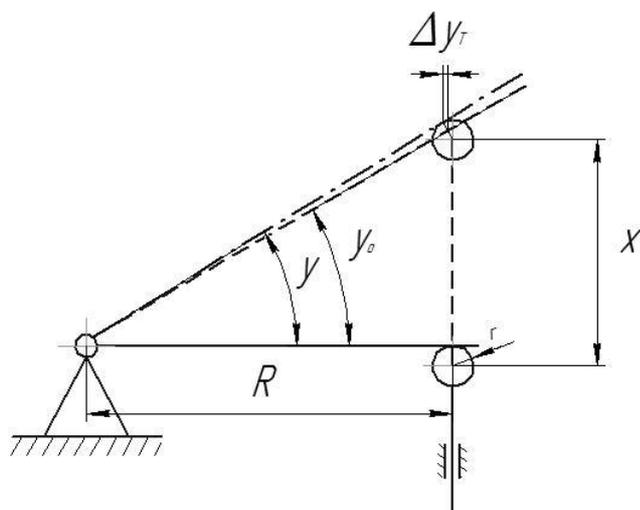


Рисунок 1 - Теоретическая погрешность, возникающая при замене реальной конструкции высшей кинематической пары ее идеализированным приближения

Другой разновидностью теоретической погрешности одноплечего РМ является приближение реальной конструкции высшей кинематической пары к ее идеализированному схемному представлению.

В двухплечем РМ теоретические погрешности возникают также, если одно из плеч выполнено по «синусной» схеме (рис. 2, б), а другое - по «тангенсной» (рис. 2, а), в то время как принята линейная зависимость между входной и выходной координатами рис. 3. Либо углы между плечами рычага и направлениями поступательного движения не равны друг другу.

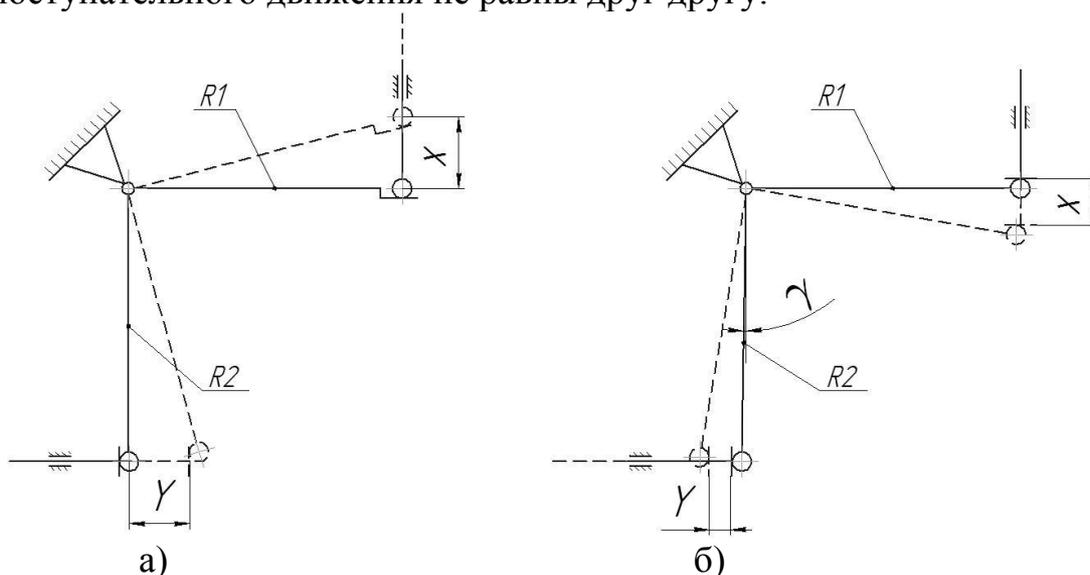


Рисунок 2 – К вопросу появления теоретических погрешностей рычажного механизма

В первом случае теоретическая погрешность определится как

$$\Delta Y_T = R_2 \sin \left[\arctg \left(\frac{x}{R_1} \right) - \left(\frac{R_2 x}{R_1} \right) \right] \approx - \frac{R_2 x^3}{2R_1^3} \approx - \frac{y^3}{2R_2^2}$$

и в втором случае, когда углы между плечами рычага и направлениями поступательного движения толкателей рычажного механизма не равны друг другу - теоретическая погрешность определится следующим выражением

$$-\Delta Y_T = R_2 \left\{ \sin \left[\arcsin \left(\frac{x}{R_1} \right) + \nu \right] - \sin \gamma \right\} - \frac{R_2 x}{R_1} \approx - \left(\frac{\nu \gamma^2}{2} + \frac{\nu^2 \gamma}{2R_2} + \frac{\nu^3 \gamma^2}{12R_2^2} \right).$$

Погрешности длины плеча рычага РМ приводят к изменению величины передаточной функции (изменится угол наклона графика ФПД). Погрешность угла между рычагами, а точнее, неравенство углов между плечами рычага и направлениями перемещения входного и выходного толкателей, вызывает нелинейность ФПД (нелинейность графика).

Компенсация теоретических погрешностей всех видов производится обычно изменением длины плеча рычага ΔR . Так как это изменение приводит к мультипликативному изменению погрешности положения $\Delta Y_{\Delta R}$ ведомого звена, а теоретические погрешности имеют степенной характер, то полная компенсация возможна только в одном из положений ведомого звена. Для других же положений рабочего диапазона величина недокомпенсации $\Delta Y_{нк}$ определяется разностью между теоретической погрешностью и погрешностью от изменения длины плеча рычага

$$\Delta Y_{нк} = \Delta Y_T - \Delta Y_{\Delta R}.$$

Другой способ компенсации теоретической погрешности может быть основан на установке площадки толкателя под углом $\Delta \gamma_k$ к начальному положению рычага (рис. 3).

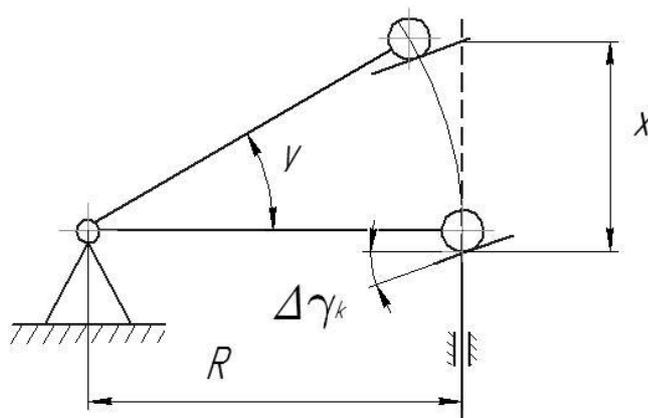


Рисунок 3 – Схема компенсации теоретической погрешности путем наклона площадки толкателя

В этом случае при смещении толкателя на величину X рычаг повернется на угол, который будет отличаться от расчетного на величину, которую можно определить следующим выражением:

$$\Delta Y_{\Delta \gamma_k} \approx -tg \Delta \gamma_k \frac{R - R \cos \gamma}{R} \approx -\gamma^2 \frac{\Delta \gamma_k}{2}.$$

Подобрав соответствующее значение Δy_k , можно произвести более полную компенсацию теоретической погрешности по сравнению с компенсацией изменением длины плеча рычага, так как $\Delta Y_{\Delta y}$ является степенной функцией. Значение Δy_k здесь также будет определяться в зависимости от выбранного положения точки полной компенсации.

Значение недокомпенсации при этом определится следующей формулой:

$$\Delta Y_{\text{нк}} \approx \frac{y^3}{6} - y^2 \frac{\Delta y_k}{2}.$$

Компенсация технологических погрешностей

Наибольшее влияние на точность работы РМ оказывает погрешность изготовления размеров плеч рычага. Значительные ошибки вносят также погрешности формы контактирующих поверхностей высших кинематических пар, а также зазоры в шарнирах.

Компенсацию погрешностей длин рычагов производят обычно регулировкой размера рычагов. Корректировка погрешности изготовления длины плеча синусного рычага в РМ осуществляется обычно с помощью разъемной конструкции.

Погрешности формы Δh опорных поверхностей высших кинематических пар (например, рычага R_1 и толкателя) вследствие пересопряжения точки контакта в процессе работы РМ приводят к появлению частичных погрешностей $\Delta y_{\Delta h_1}$, $\Delta y_{\Delta h_2}$, определяемой для двуплечего РМ выражениями,

$$\Delta y_{\Delta h_1} \approx R_1 \frac{\Delta h_1}{R_2}, \quad \Delta y_{\Delta h_2} \approx \Delta h_2,$$

где Δh_1 и Δh_2 - погрешности формы высших кинематических пар на входе и выходе механизма, соответственно.

Зазор в шарнире рычага приводит к погрешности передачи углового движения (погрешности функционирования), к ограничению чувствительности и неудобствам управления механизмом.

Подробно влияние этих ошибок на погрешности рычажного механизма рассмотрено в [2].

При проектировании рычажных механизмов также необходимо ориентироваться на психофизиологические возможности человека, в частности, учитывать вид движения, тип органа управления и условия движения. Некоторые рекомендации приведены в приложении 1 на стр. 12.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для исследования погрешностей работы двуплечего рычажного механизма (рис. 4) представляет собой закрепленный на шарнире двуплечий рычаг 1, входной информативный параметр которому задается при помощи микрометрического винта 2, а выходной информативный параметр снимается

стрелочным индикатором 3 линейных перемещений. В конструкции двуплечего рычажного механизма предусмотрена возможность регулировки длины плеча рычага и угла между плечами. Регулировка осуществляется при помощи соответствующих винтовых пар 4 и 5, соответственно.

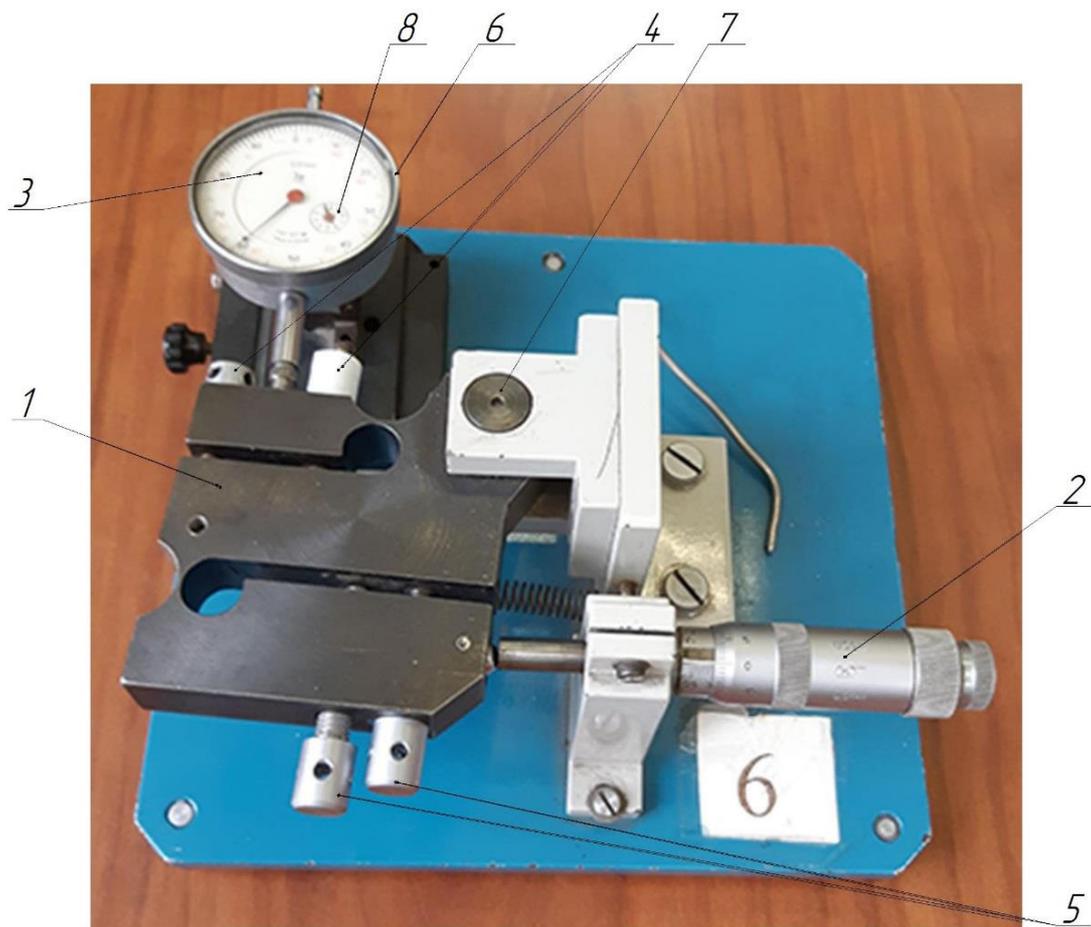


Рисунок 4 – Схема двуплечего рычажного механизма с регулировочными устройствами, здесь 1 – двуплечей рычажный механизм, 2 – микрометрический винт, 3 – индикатор, 4 – винты для регулировки длины плеча, 5 – винты для регулировки угла γ , 6 – кольцо регулировки “0” индикатора, 7 – шарнир рычажного механизма, 8 – счетчик числа оборотов основной стрелки

Кинематическая схема данного устройства для исследования рычажного механизма представлена на рис. 5.

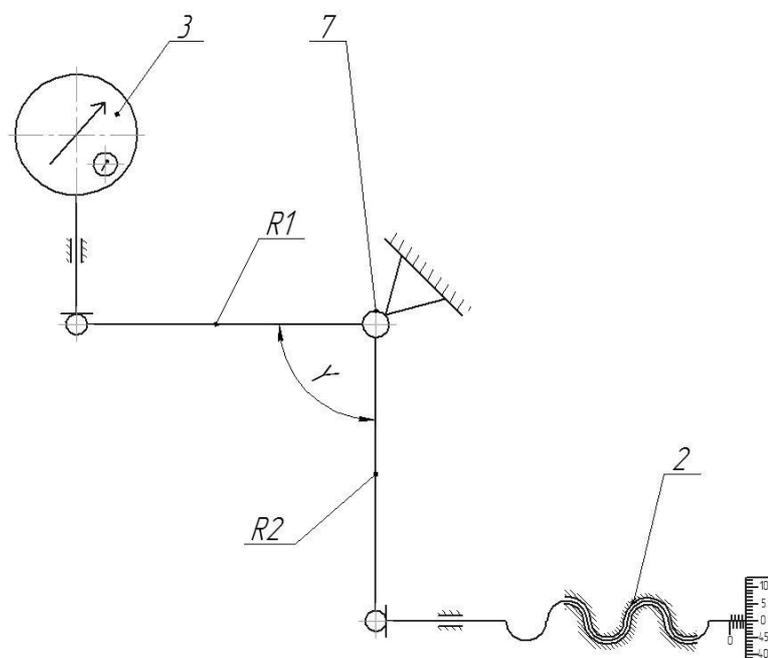


Рисунок 5 – Кинематическая схема двухлевого рычажного механизма, где 3 – индикатор, 7 – шарнир рычажного механизма, 2 – винтовой микрометричный механизм, R_1 , R_2 – плечи рычагов, γ – угол между рычагами

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Выставить на шкале барабана микрометра 2 деление «40» (рис. 4). На большой и малой шкалах индикатора установить «0».

а) Для грубой установки «0» надо отжать винт, стопорящий «ласточкин хвост» на кронштейне, где установлен индикатор 3, и подвигать индикатор по направляющей. Затем зажать винт.

б) Точную наводку на «0» большой шкалы можно осуществить поворотом кольца 8 на корпусе индикатора 3.

Если барабан микрометра 2 прокручивается, не задавая движения РМ (вхолостую), то необходимо отверткой затянуть винт на торце микрометра.

5.2. Вращаем микрометрический винт 2 (2 оборота, что соответствует линейному перемещению в 1 мм), рычажный механизм перемещается на 1 мм. Отсчет снимаем по шкале индикатора (стрелка индикатора вращается по часовой стрелке).

Таким же образом перемещаем РМ от 1 до 10 мм с шагом 1 мм и заносим данные измерения y_1 и y_2 в таблицу 1.

Пример заполнения таблицы 1.

Табл. 1. Результаты исследования погрешности функционирования рычажного механизма

Наименование параметра										
x , мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y_1 , мм	0,991	...	...	...	...	...	...	...	...	9,955
y_2 , мм	1,000	...	...	...	...	...	...	...	...	9,960

5.3. По данным измерений строим графики $y_1 = f(x)$.

Для наглядности графика при его построении необходимо взять **большой масштаб**.

В нашем случае зависимость $y = f(x)$ определяется конструктивными параметрами рычажного механизма и имеет вид ФПД

$$Y = \frac{R_2}{R_1} X, \quad (1)$$

где R_1 и R_2 - длины плеч, равные 60 мм.

Для нормального функционирования РМ с передаточным отношением 1:1, плечи R_1 и R_2 должны быть равны, и тогда формула 1 принимает вид

$$Y = X.$$

Из таблицы 1 видно, что $y_1 < x$. Это свидетельствует о наличии погрешности функционирования механизма, что есть следствие влияния первичных погрешностей длин плеч у рычагов механизма. Их влияние (называется этот параметр частичной погрешностью) можно найти дифференцированием ФПД по этому параметру. Например, для рычага R_1 она имеет вид

$$\Delta Y_{\Delta R_1} = \left(\frac{R_2}{R_1^2} X \right) \Delta R_1.$$

Тогда, продифференцировав эту формулу, получаем:

$$\Delta Y_{\Delta R_1} = -\frac{R_2}{R_1^2} X \Delta R_1,$$

откуда

$$\Delta R_1 = -\frac{\Delta Y_{\Delta R_1} R_1^2}{R_2 X}.$$

Для регулировки РМ необходимо уменьшить плечо ΔR_1 , т.к. значение ΔR_1 , отрицательное. Если $y > x$, то плечо R_1 необходимо увеличить.

Зная шаг резьбы регулировочного винта (в установке он равен 1 мм), можно определить угол поворота регулировочного винта (в нашем примере угол равен 300°).

5.3. После регулировки снова возвращаемся в нулевое положение и снова снимаем 10 отсчетов (y_2), которые заносим в таблицу 1.

По данным измерений строим график $y_1 = f(x)$ и сравниваем с первым графиком.

Примеры построения графиков приведены на рис. 6.

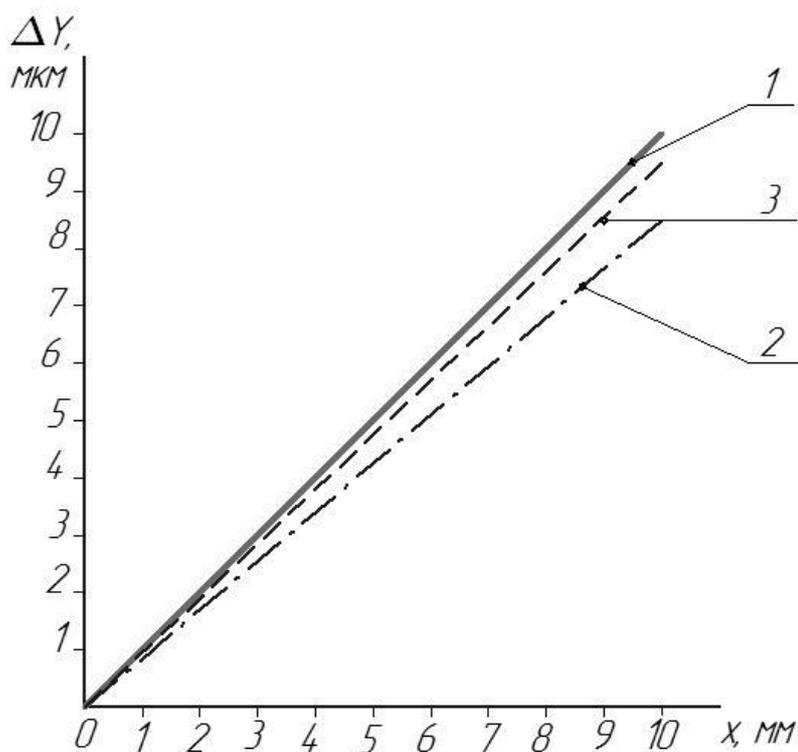


Рисунок 6 - График погрешности функционирования рычажного механизма, где 1- теоретическая прямая (при $R_1 = R_2$), 2 – зависимость, полученная при измерениях y_1 , 3 – при измерениях y_2 .

5.4. Зная шаг резьбы регулировочного винта, но равен 1 мм, можно определить, что для регулировки плеча R_1 винт требуется повернуть на половину оборота. Прделав регулировку при положении микрометрического винта, соответствующему десятому отсчету, возвращаемся в начальное положение, выставляем «0» и снова снимаем 10 отсчетов.

Данные y_2 заносим в таблицу 1.

По данным измерений строим график $y_2 = f(x)$ и сравниваем прямую «3» с прямыми «1» и «2».

5.5. Угол α регулируется в том случае, если график функции $y = f(x)$ будет изогнутой линией, а не прямой, например, как показано на рис. 7.

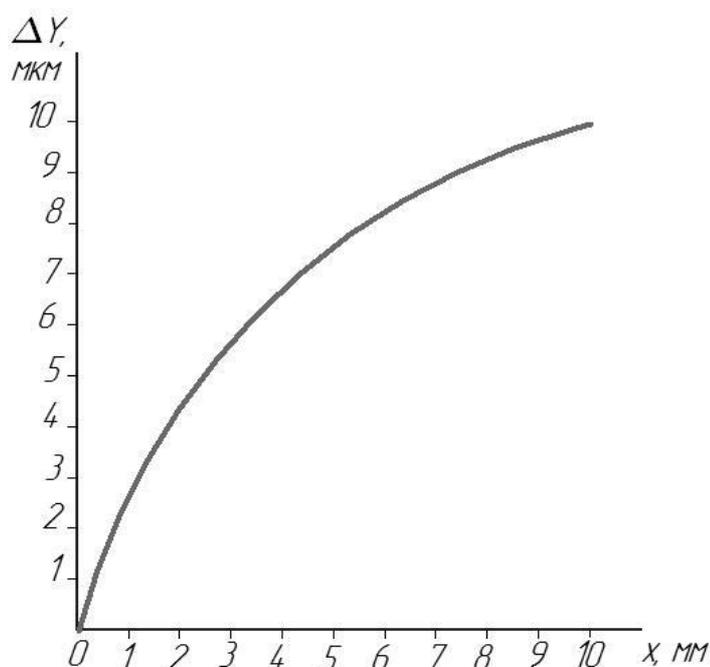


Рисунок 7 - График погрешности функционирования рычажного механизма при наличии погрешности угла между плечами рычагов

В этом случае для регулировки РМ надо пользоваться винтами 5 регулировки угла γ (см. рис. 4 и рис. 5). В данной работе это не требуется.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Функциональная схема исследуемого рычажного механизма.
- 6.2. ФПД исследуемого рычажного механизма.
- 6.3. Графики идеальной ФПД и реальной ФПД до регулировки РМ.
- 6.4. Изложенная методика регулировки РМ.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 7.1. Назначение рычажных механизмов в функциональных устройствах оптических приборов.
- 7.2. Чем отличаются "синусный" и "тангенсный" рычажные механизмы?
- 7.3. Перечислить основные источники погрешностей РМ.
- 7.4. Чем вызвана теоретическая погрешность РМ? Способы ее компенсации.

7.5. Перечислить возможные технологические погрешности РМ и способы компенсации технологических погрешностей.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Учебное пособие для приборостроительных вузов. - Л., Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982.
2. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985,
3. Справочник конструктора оптико-механических приборов. В. А. Панов, М. Я. Кругер и др., под общ. ред. В. А. Панова. Л., Машиностроение, Ленинградское отделение, 1980.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИССЛЕДОВАНИЕ И ЮСТИРОВКА ПРОЕКЦИОННОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с устройством автоколлимационных измерительных приборов на примере проекционного автоколлиматора и методами их юстировки.

2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 2.1. Ознакомиться с устройством проекционного автоколлиматора.
- 2.2. Исследовать влияние первичных погрешностей на точность работы автоколлиматора, рассчитать допуски на сборку и юстировку его узлов и деталей.
- 2.3. Разработать методику юстировки осветительной и проекционной системы.
- 2.4. Отъюстировать автоколлиматор.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 3.1. Автоколлиматор проекционный.
- 3.2. Блок питания.
- 3.3. Отражатель с эталонным углом.
- 3.4. Зеркало плоское.
- 3.5. Пластина матовая.

4. УСТРОЙСТВО ПРОЕКЦИОННОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА

Обычные визуальные автоколлиматоры обладают двумя существенными недостатками: монокулярностью наблюдения и малостью угла поля зрения (ограниченного, как правило, линейным полем зрения окуляра).

Первый из них приводит к быстрой утомляемости оператора, а второй - к увеличению времени поиска автоколлимационного блика, т. е. к усложнению настройки автоколлиматора на объект.

Проекционный автоколлиматор свободен от вышеперечисленных недостатков и позволяет существенно повысить производительность и комфорт работы.

Автоколлиматор (рис. 1) содержит следующие основные узлы:

- 1 - телеобъектив;
- 2 - зеркало с отверстием;
- 3 - экран;
- 4 - конденсор-сетка;
- 5 - светофильтр;
- 6 - источник света (светодиод белого света);
- 7 - индикатор;
- 8 - защитная линза-коллектив;
- 9 - преобразователь движения;
- 10 - винтовая передача.

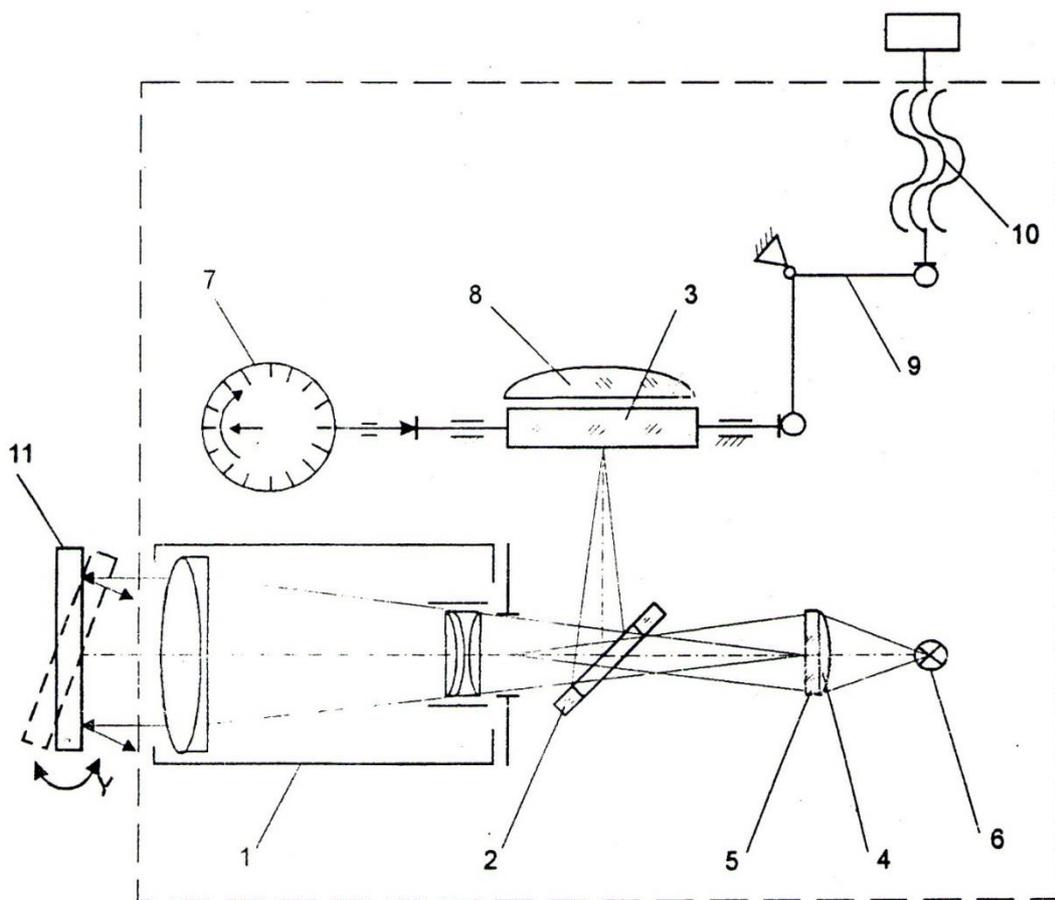


Рисунок 1 - Функциональная схема проекционного автоколлиматора

Изображение штриха, нанесенного на плоскую поверхность линзы-конденсора, получаемого от автоколлимационного зеркала 11, проектируется телеобъективом 1 на матовую поверхность экрана 3 с би-штрихом.

В процессе измерения угла наклона автоколлимационного зеркала би-штрих экрана совмещают с изображением автоколлимационного штриха

Перемещение экрана при этом осуществляют при помощи винтовой передачи через рычаг (преобразователь движения), а измерение осуществляют по индикатору.

Перемещение автоколлимационного изображения штриха при наклоне

зеркала на угол α равно:

$$l \approx 2f \alpha, \quad (1)$$

где f - фокусное расстояние телеобъектива.

Следовательно, измеряя l , можно определить

$$\alpha \approx \frac{l}{2f} = \frac{n\Delta A}{2f} = n\Delta A'', \quad (2)$$

где n - число измеренных делений индикатора, ΔA - цена деления в линейной мере, $\Delta A''$ - цена деления шкалы индикатора в угловой мере.

Автоколлиматор имеет следующие характеристики:

- фокусное расстояние 500 мм,
- угол поля зрения $4^{\circ}12'$,
- практический диапазон измеряемых углов $\pm 30''$
- цена деления индикатора в угловой мере $2''$

Конструктивно корпус автоколлиматора выполнен в форме прямого параллелепипеда, укрепленного на штативе для ориентирования на автоколлимационное зеркало по высоте, вертикальному и горизонтальному углам.

Для юстировки автоколлиматора предусмотрена возможность подвижки всего телеобъектива вдоль оптической оси, перемещение отрицательного компонента телеобъектива относительно положительного, разворот и смещение вдоль оси сетки-конденсора. Патрон лампы освещений имеет три юстировочные подвижки: две подвижки перпендикулярные оптической оси и одну - вдоль оси.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется в два этапа:

5.1. Юстируется система освещения для получения равномерно и достаточно ярко освещенного изображения штриха сетки.

5.2. Юстируется проекционная система для получения резкого изображения сетки на экране при параллельном ходе лучей между объективом и автоколлимационным зеркалом и устранения рена шкалы, т.е. обеспечения расчетной цены деления шкалы индикатора.

Прежде чем приступить к юстировке, перед автоколлиматором помещают плоское зеркало «ловушку» и, заклоняя автоколлиматор, добиваются, чтобы на матовом экране появилось изображение сетки.

Правильное освещение сетки достигается заполнением входного зрачка телеобъектива изображением нити лампы, создаваемого конденсором. Так как штрих сетки нанесен на самом конденсоре и должен находиться в фокальной плоскости телеобъектива, то юстировка осуществляется подвижками

светодиода. Наблюдение производим по матовому стеклу, которое вплотную приставляем к телеобъективу. Величины подвижек рассчитываются, исходя из параметров конденсора, которые следующие: фокусное расстояние $f = 16$ мм, видимое увеличение $\Gamma = 2,5^x$.

Для получения резкого изображения сетки на экране требуется, чтобы сетка и экран находились в фокальной плоскости телеобъектива (в противном случае будет наблюдаться либо нерезкое изображение сетки, либо параллакс). Юстировка осуществляется подвижкой вдоль оси сетки (конденсора-сетки) и трубки объектива коллиматора. Вращением сетки добиваются параллельности изображения штриха сетки штрихам на матовом экране.

Чувствительность подвижек можно найти из величины допустимой расфокусировки:

$$\Delta z = \frac{0,2}{u^2}. \quad (3)$$

Для продолжения работы перед автоколлиматором помещают отражатель с эталонным углом и, заклоняя автоколлиматор, добиваются, чтобы на матовом экране появилось два изображений сетки.

Обеспечение расчетной цены деления шкалы индикатора (устранение ошибки "рен") достигается (исходя из формулы 2) регулировкой фокусного расстояния объектива. Погрешность измерения углов из-за погрешности фокусного расстояния равна:

$$\Delta z_{\Delta F} = -\frac{L\Delta F}{2F^2} = -\frac{A\Delta F}{F}. \quad (4)$$

Допуская $\Delta\alpha_{\Delta f}$ не более деления на всем диапазоне измерений, получаем

$$\Delta f = \frac{\Delta A'' f}{\alpha}. \quad (5)$$

По известной формуле для оптической силы системы из двух компонентов

$$\varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_1 \varphi_2 d,$$

а также из того, что

$$\Delta f'_{\Delta d} = -f_3'^2 \cdot \Delta\varphi_{\Delta d} = f_3'^2 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \Delta d. \quad (6)$$

Рассчитаем величину изменения воздушного промежутка для обеспечения условия (5):

$$\Delta d = \frac{\Delta f'_{\Delta d}}{f_3'^2 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2}. \quad (7)$$

Регулировка величины фокусного расстояния осуществляется подвижкой отрицательного компонента телеобъектива. Обеспечение расчетной цены деления,

кроме регулировки фокусного расстояния, осуществляется также, при необходимости, изменением расстояния от объектива до экрана, перемещая последний (либо объектив, что в данной конструкции более удобно) в пределах глубины резкости объектива.

Проверка правильности юстировки осуществляется измерением эталонного угла отражателя (эталонный угол равен в нашем случае $2600''$), либо с помощью репетитора, когда поворот автоколлимационного зеркала измеряется одновременно юстируемым и эталонным автоколлиматором.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены следующие сведения.

6.1. Краткое содержание работы.

6.2. Методика схема установки методика юстировки.

6.3. Результаты расчетов, рекомендации по юстировке.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

7.1. Пояснить назначение оптических элементов автоколлиматора, расположение предмета и изображения для конденсора и объектива.

7.2. Перечислить основные задачи при юстировке осветительной и проекционной систем, изложить методику юстировки.

7.3. Доказать, что юстировка лампочки может осуществляться вручную, без регулировочных устройств. Не указанные данные по чувствительности подвижки рукой взять из таблицы, указанной в приложении на стр. 94.

7.4. Рассчитать чувствительность подвижки отрицательного компонента телеобъектива при регулировке его фокусного расстояния.

7.5. Рассчитать чувствительность подвижки телеобъектива при фокусировке изображения.

7.6. Описать методику юстировки параллельности пучка лучей, выходящих из автоколлиматора.

7.7. Рассчитать чувствительность разворота марки при устранении перекоса изображения.

7.8. Рассчитать допуск на разворот светоделительного зеркала вокруг оси, лежащей в плоскости падения осевого луча и отражающей поверхности.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гукайло М. Н. Автоколлимация. Машгиз, М. К., 1963г.
2. Афанасьев В.А. и др. Автоколлимационные приборы. М., Недра, 1982.
3. Высокоточные угловые измерения. Под ред. Ю. Г. Якушенкова. М., Машиностроение, 1987.
4. Латыев С.М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, Ленингр. отд., 1985.
5. Латыев С.М. и др. Некоторые тенденции синтеза и анализа точности оптических приборов.// Оптический журнал, №4, 2000.

ПРИЛОЖЕНИЕ

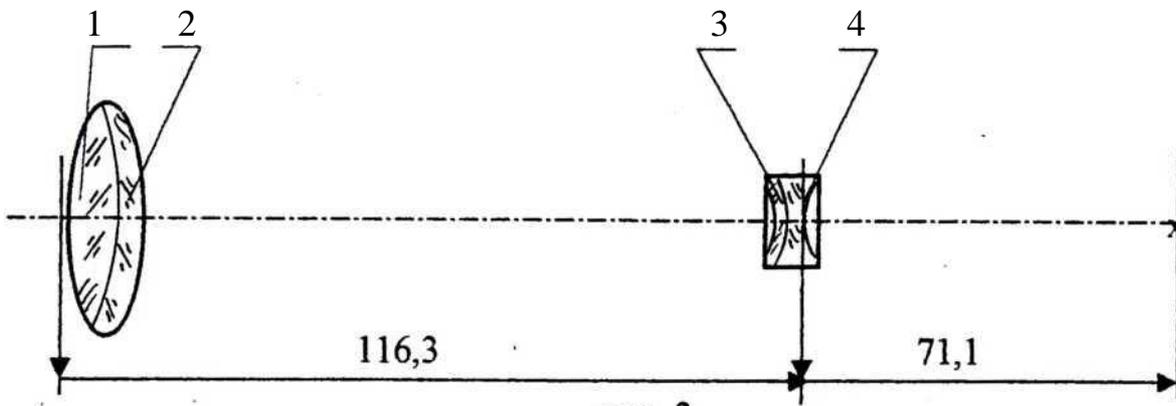


рис. 2.

Конструктивные параметры: $f = 502,12$; $2\omega = 4^\circ 15'$

Рисунок 1 - Оптическая схема телеобъектива

Таблица 1. Конструктивные параметры

Номер поверхности	Радиус, r , мм	Толщина, d , мм	Показатель преломления, n_d	Марка стекла	Световой диаметр, D_{CB} , мм
1	53,21	9,17	1,5163	К-8	27,4
2	-39,45	2,18	1,6475	ТФ-1	27,4
3	-126,47	72,08			27,4
4	-8,318	1,0	1,5294	ОФ-1	6,8
5	6,166	1,68	1,7172	ТФ-3	7,7
6	13,14				7,7

Таблица 2. Оптические параметры

Номер позиции	Фокусное расстояние, f , мм	Передний фокальный отрезок, S_F , мм	Задний фокальный отрезок, S'_F , мм	Переднее расстояние до главной плоскости, S_H , мм	Заднее расстояние до главной плоскости, S'_H , мм
1	45,41	41,81	42,74	3,6	-2,67
2	-89,43	88,82	-91,37	-0,61	-1,94
3	-6,53	6,90	-6,80	0,37	-0,27
4	14,27	-15,00	12,62		-1,62
1,2	88,13	-86,56	82,19	1,57	-5,94
3,4	-11,37	12,10	-12,20	0,73	-0,83
1,2,3,4	502,12	-3976,95	52,60	-3474,83	-449,52

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ЮСТИРОВКА УГЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПРОЕКЦИОННОЙ ГОЛОВКИ

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с устройством углоизмерительной головки.
- 1.2. Выяснить основные первичные погрешности изготовления и сборки деталей головки, рассчитать допуски на них.
- 1.3. Разработать методику юстировки осветительной и проекционной систем.
- 1.4. Отъюстировать головку.
- 1.5. Предъявить отъюстированную угломерную головку.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Углоизмерительная головка.
- 2.2. Блок питания.
- 2.3. Стекло матовое.
- 2.4. Отвертка.

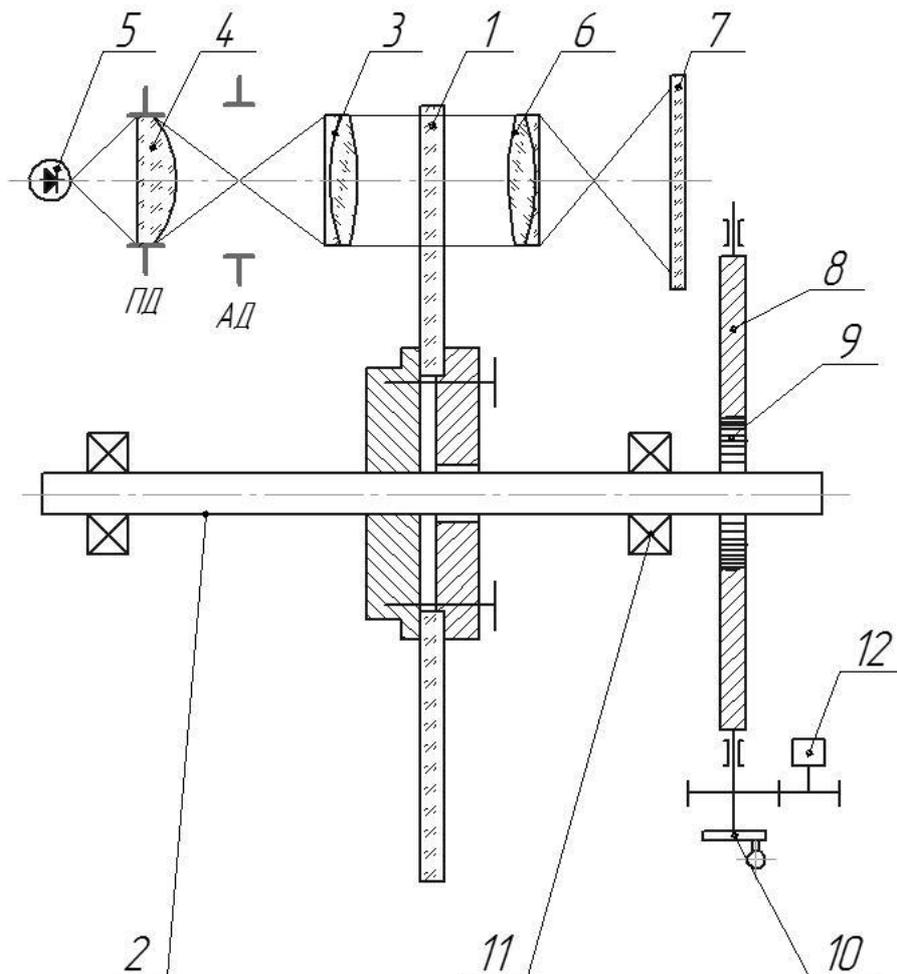
3. УСТРОЙСТВО УГЛОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПРОЕКЦИОННОЙ ГОЛОВКИ

Углоизмерительная головка (рис.1) содержит стеклянный лимб 1 с градусными делениями, закрепленный на измерительном валике 2 в подшипниках 11, осветительную 3-5 и проекционную системы, создающие изображение шкалы лимба на матовом экране 7 с нониусом, червячный привод 8-9 с маховиком 10 для вращения валика и подключаемый электродвигатель 12.

Осветительная система построена по принципу Келера и должна создавать телецентрический ход лучей для освещения шкалы лимба. Для этого коллектор 4 строит изображение светодиода 5 в фокальной плоскости (в плоскости апертурной диафрагмы *АД*) конденсора 3, а сам конденсор проецирует оправу коллектора (играющую роль полевой диафрагмы *ПД*) в плоскость штрихов лимба. В качестве конденсора используется стандартный микрообъектив *ОМ-27 20x0,40* с фокусным расстоянием f' , равным 8,4 мм. Конструктивно вся осветительная система смонтирована на одной плите. Конденсор и коллектор можно смещать вдоль оптической оси, светодиод осветителя имеет три действенные подвижки.

Проекционный микрообъектив *МШ 40x0,65* с фокусным расстоянием f' , равным 4,35 мм, работает с увеличением $\beta_0 = 77,1^x$ (обратить внимание на то, что качество изображения при этом еще удовлетворительно), когда одно градусное

деление лимба точно равно расстоянию между 60 делениями шкалы экрана (см. рис. 2). Таким образом, цена одного деления шкалы экрана - 1 угл. мин. Расстояние между соседними штрихами экрана составляет 0,9 мм, а высота штрихов - 5 мм.



*Рисунок 1 – Схема углоизмерительной головки,
 где 1 - лимб, 2 - вал, 3 – конденсор, 4 – коллектор, 5 – светодиод,
 6 – проекционный объектив, 7 – экран, 8 – червячное колесо, 9 – червяк,
 10 – маховичок привода, 11 – подшипники, 12 – электродвигатель,
 ПД – полевая диафрагма, АД – апертурная диафрагма*

Вся проекционная система, включая микрообъектив 6, призму и 3 плоских зеркала (на рис. 1 не показаны), служащих для излома хода лучей в целях сокращения продольных габаритов, а также экран, смонтированы на корпусе головки.

При юстировке микрообъектив 6 можно смещать вдоль оси, зеркала разворачивать в пределах зазоров в отверстиях под крепежные винты их оправ; экран 7 смещать вдоль оптической оси и наклонять.



Рисунок 2 – Изображение шкал на экране

4. ЮСТИРОВКА ПРОЕКЦИОННОЙ ГОЛОВКИ

В процессе выполнения работы необходимо:

- 4.1. Установить лимб перпендикулярно оси вращения, т.е. устранить торцевое биение, и отцентрировать его, т.е. устранить эксцентриситет лимба.
- 4.2. Отъюстировать осветительную систему так, чтобы получить равномерное и достаточное освещение экрана и изображения шкалы лимба.
- 4.3. С помощью проекционной системы получить резкое изображение шкалы на экране, добиться нужного масштаба изображения, устранить наклон штрихов и параллакс.

Перед юстировкой лимба следует подсчитать допуски на торцевое и радиальное биения лимба. Допуск на торцевое биение считается исходя из глубины резкости проекционного объектива и допустимого параллакса.

Торцевое биение лимба выдерживается в пределах допуска технологически: шлифовкой за одну установку цапф измерительного валика и опорного торца оправы лимба, либо регулировкой оправы.

Допуск на радиальное биение определяется исходя из того, чтобы погрешность измерения $\Delta y_{\Delta e}$, обусловленная эксцентриситетом лимба e , не превышала половины цены деления шкалы экрана:

$$\Delta y_{\Delta e} = \frac{e}{R_m} \sin \theta,$$

где $R_m = 40$ мм - радиус лимба, θ - направление эксцентриситета.

Радиальное биение лимба в данной работе можно устранить легким постукиванием, наблюдая одновременно за биением центрировочной круговой риски, либо концов штрихов делений шкалы.

Юстировка осветительной системы производится подвижками коллектора светодиода - для построения изображения тела излучения светодиода в фокальной плоскости конденсора и заполнения светом апертурной диафрагмы и подвижками узла конденсора с призмой - для проецирования оправы коллектора в плоскость лимба.

Величины подвижек рассчитываются, исходя из того, что номинальное увеличение: конденсора $\beta_{кон} = -0,1^x$; коллектора $\beta_{кол} = -0,6^x$; а фокусное расстояние коллектора $f_{кол}' = 14$ мм.

Для получения резкого изображения шкалы лимба на экране и устранения параллакса объектив либо экран перемещают вдоль оптической оси. Чувствительность перемещений объектива Δx определяют, исходя из глубины резкости Δz либо допустимого параллакса:

$$\Delta x = \frac{\Delta z}{\beta_0^2}$$

Юстировка резкости изображения осуществляется подвижкой объектива, а устранение "рена" шкалы - подвижкой экрана. Величину и чувствительность подвижки экрана можно рассчитать исходя из допустимой разномасштабности в 0,1 деления его шкалы.

Устранение наклона изображения достигается разворотом одного из зеркал вокруг оси, лежащей в плоскости падения осевого луча и отражающей плоскости зеркала, а также в небольших пределах разворотом оправы экрана. Чувствительность разворотов определяется из того, что не допускается заметный глазу взаимный наклон штрихов лимба и экрана.

На матовом экране 7 нанесена шкала длиной в 60 делений, т.о. изображение одного градусного деления лимба должно точно соответствовать длине шкалы экрана. Если этого не происходит, то имеет место погрешность "рен", которую устраняют подвижками экрана и проекционного объектива.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены следующие сведения.

- 5.1. Краткое содержание работы.
- 5.2. Методика схема установки методика юстировки.
- 5.3. Результаты расчетов, рекомендации по юстировке.

6. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 6.1. Пояснить назначение элементов оптической схемы проекционной головки, расположение предмета и изображения для каждого "силового" элемента.
- 6.2. Перечислить основные задачи при юстировке осветительной и

- проекционной систем.
- 6.3. Доказать (в численном виде), что юстировка светодиода осветителя может производиться от руки, без регулировочных устройств, а конденсор не требует продольных подвижек.
 - 6.4. Рассчитать допуски на радиальное и торцевое биение лимба, пояснить, как они могут быть получены.
 - 6.5. Рассчитать чувствительность фокусирующей подвижки проекционного объектива.
 - 6.6. Рассчитать чувствительность перемещения экрана при устранении погрешности "рен". Почему данную погрешность устраняют смещением экрана?
 - 6.7. Доказать, что устранение перекоса изображения наклоном зеркала возможно с помощью прокладок, устанавливаемых под его оправу.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гукайло М. Н. Автоколлимация. Машгиз, М. К., 1963г.
2. Афанасьев В.А. и др. Автоколлимационные приборы. М., Недра, 1982.
3. Высокоточные угловые измерения. Под ред. Ю. Г. Якушенкова. М., Машиностроение, 1987.
4. Латыев С.М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, Ленингр. отд., 1985.
5. Латыев С.М. и др. Некоторые тенденции синтеза и анализа точности оптических приборов.// Оптический журнал, №4, 2000.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОПЕРЕЧНЫХ НАВОДОК

1. ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1.1. Изучить факторы, влияющие на чувствительность поперечных наводок.
- 1.2. Ознакомиться с лабораторной установкой и методикой исследования.
- 1.3. Исследовать характер погрешностей при поперечных наводках.
- 1.4. Исследовать зависимость чувствительности поперечных наводок от:
 - а) освещенности экрана;
 - б) типа светофильтра, контрастности изображения;
 - в) абберационных явлений;
 - г) вида совмещаемых марок.
- 1.5. Сделать выводы по результатам исследований.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 2.1. Установка для исследования чувствительности поперечных наводок.
- 2.2. Блок питания.
- 2.3. Люксметр.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ НАВОДОК

В процессе использования оптического прибора часто приходится производить количественные измерения, при совершении которых приходится совмещать марку и измерительную шкалу или изображение предмета с плоскостью, в которой установлена марка. Это совмещение может быть и способом измерения величины. В связи с тем, что при измерении совмещение марки может производиться как в направлении перпендикулярном визирной оси, так и вдоль оси. Поэтому будем различать *поперечную* и *продольную* индикацию или индикацию продольного и поперечного наведения. Рассмотрим более часто

применяемую на практике поперечную индикацию.

Индикация поперечного наведения осуществляется различными способами в зависимости от формы марки, так как при этом используется различная чувствительность глаза к совмещению, а именно:

а) совмещение изображения предмета с маркой производится путем наложения одного на другой (рис. 1).

Такой способ совмещения называется методом наложения. Ошибки совмещения будут возникать вследствие ограничения нашего зрения и толщины марки. При марке в виде штриха чувствительность совмещения будет определяться разрешающей способностью Ψ глаза, равной $60''$. Если прибор имеет увеличение Γ , то точность совмещения предмета с маркой будет равна $\Delta\beta$, т. е.

$$\Delta\beta = \frac{\Psi}{\Gamma} = \frac{60''}{\Gamma}.$$

Способ широко применяется в различных приборах вследствие простоты реализации. Для уменьшения погрешности из-за конечной толщины штриха штрих марки делают с разрывами по его длине.

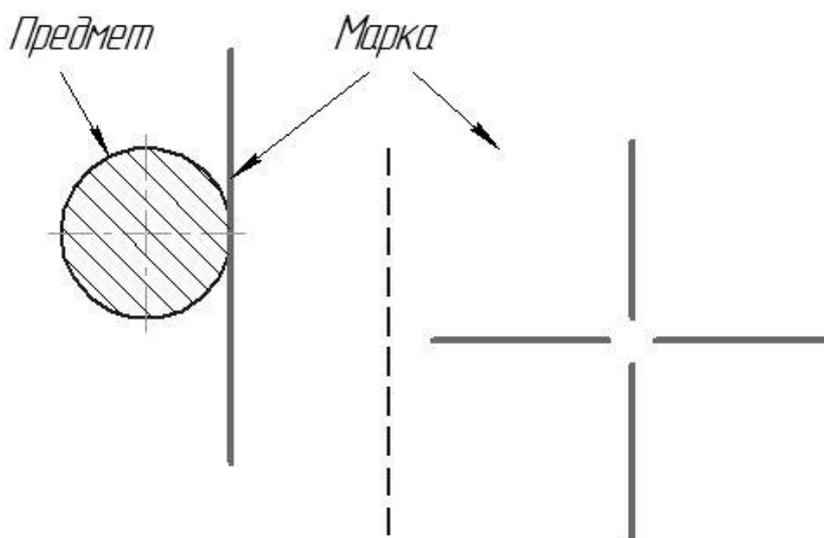


Рисунок 1 – Совмещение марки и объекта методом наложения

Так как разрешающая способность глаза будет изменяться в зависимости от освещенности и контраста, то и точность индикации тоже будет меняться.

б) Марка делается в виде двух параллельных штрихов (биссектора)

При совмещении изображения (объекта) с маркой, первое помещается между штрихами марки. Такое совмещение называется **биссектрированием**.

Чувствительность глаза к точности расположения изображения предмета в середине биссектора будет определяться нониальной чувствительностью глаза, составляющей 6 - 10". Точность визирования возрастает в 6 - 10 раз по сравнению с первым методом. Оператор оценивает не только положение марки между двумя штрихами биссектора, но и симметричность расположения, добиваясь одинаковой освещенности правой и левой частей от марки.

При использовании прибора с увеличением Γ точность совмещения $\Delta\beta$ равна

$$\Delta\beta = \frac{10''}{\Gamma}.$$

Если предметом будет штрих шириной S' (рис. 2), то наибольшая точность совмещения получается при соотношении толщин штрихов S и ширины биссектора a , как следует из приведенных соотношений

$$S = \frac{S'}{3} \quad \text{и} \quad a = (1,6 \div 2,5)S'.$$

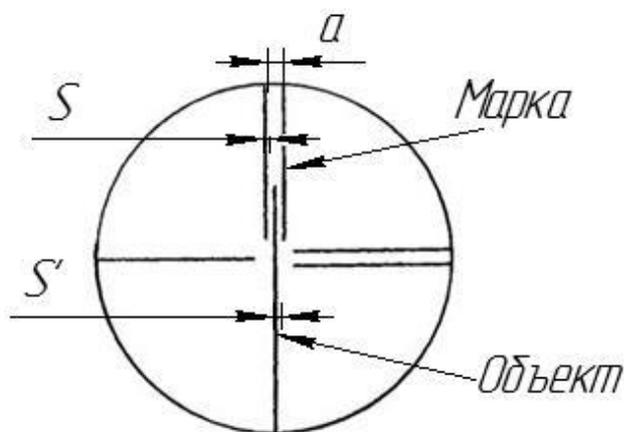


Рисунок 2 - Совмещение методом бисектривования

Здесь используется нониальная чувствительность глаза, равная 10".

в) Метод разделения поля зрения отсчетного устройства

Получаем два изображения предмета или две его половины, разделенные прямой линией, если визирная линия не проходит через предмет, то видим эти половины сдвинутыми вдоль линии раздела (рис. 3).

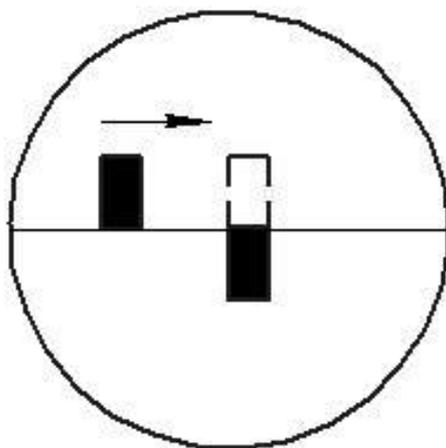


Рисунок 3 - Совмещение методом разделенного поля зрения

При наведении визирной линии на цель ее половины совмещаются, и мы видим нормальное изображение марки.

Раздвоение изображения получают путем помещения в оптическую систему разделительных призм. Примером может служить блок призм, применяемый в окулярной головке ОГУ - 22.

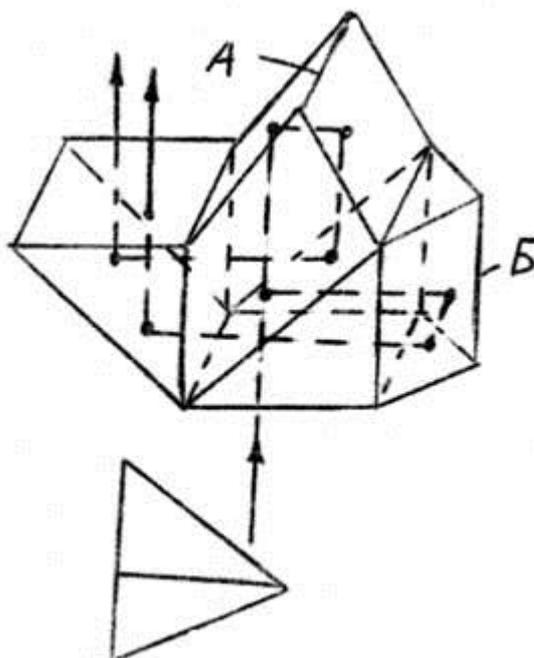


Рисунок 4 – Применение блока призм для разделения поля зрения

Такая призма исключает установку индикаторной марки в плоскости изображения. Визирная линия будет проходить через точку пересечения ребер *А* и *Б*.

Разделение поля зрения возможно с помощью призмы Кестерса и применяется в трубах двойного изображения.

Точность визирования та же, что и в предыдущем случае (6 - 10''), но при

этом прибор значительно усложняется.

Во всех указанных способах индикации известно, что погрешность наводки зависит от вида совмещаемых марок и их конструктивных параметров, типа светофильтра, контрастности изображения, aberrаций оптической системы, психофизиологических данных оператора, состояния прибора.

Следует заметить, что погрешность и чувствительность наводки разные понятия. Под чувствительностью, в нашем случае более правильно говорить о пороге чувствительности, следует понимать то минимальное угловое или линейное смещение, которое может быть замечено оператором.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке, схема которой приведена на рис. 5.

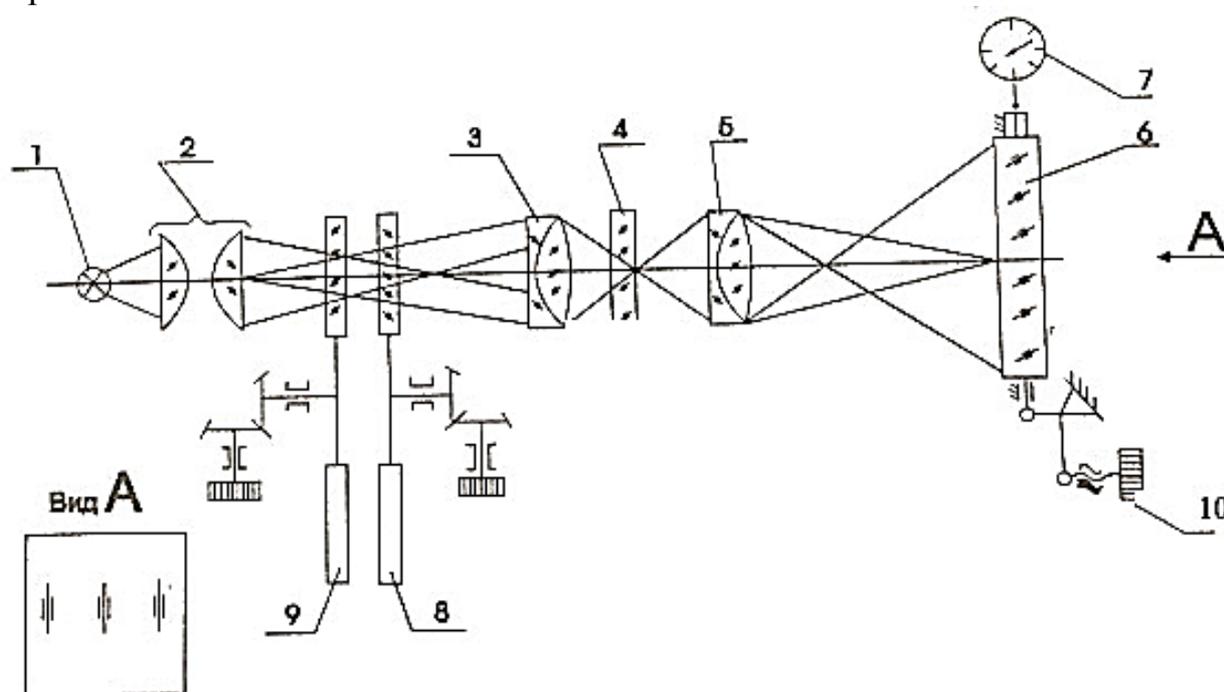


Рисунок 5 – Схема установки для исследования поперечных наводок, где 1 – источник излучения, 2 – конденсор, 3 – коллектор, 4 – тест-объект (марка), 5 – проекционный микрообъектив, 6 – экран, 7 – индикатор, 8, 9 – рукоятки включения сменных светофильтров, 10 – винтовой рычажный привод

Источник света 1 создает поток света, который с помощью конденсора 2 и коллектора 3 по методу Келлера освещает тест-объект 4, представляющий собой три темных штриха линейным интервалом между ними, равным линейному интервалу между биштрихами сетки на экране 6 (см. рис. 5 вид А). Изображение тест-объекта микрообъективом 5 переносится на экран 6.

Линейное перемещение экрана перпендикулярно оптической оси устройства измеряется индикатором часового типа 7 с ценой деления 0,001 мм. Перемещение осуществляется рычажно-винтовым приводом 10. Для исследования чувствительности поперечных наводок от спектра излучения применяются светофильтры синего, зеленого и красного цвета, включаемые поочередно рукояткой 8 и изменить освещенной тест-объекта можно включением рукояткой 9 нейтрального светофильтра соответствующей плотности.

Внешний вид установки приведен на рис. 6.

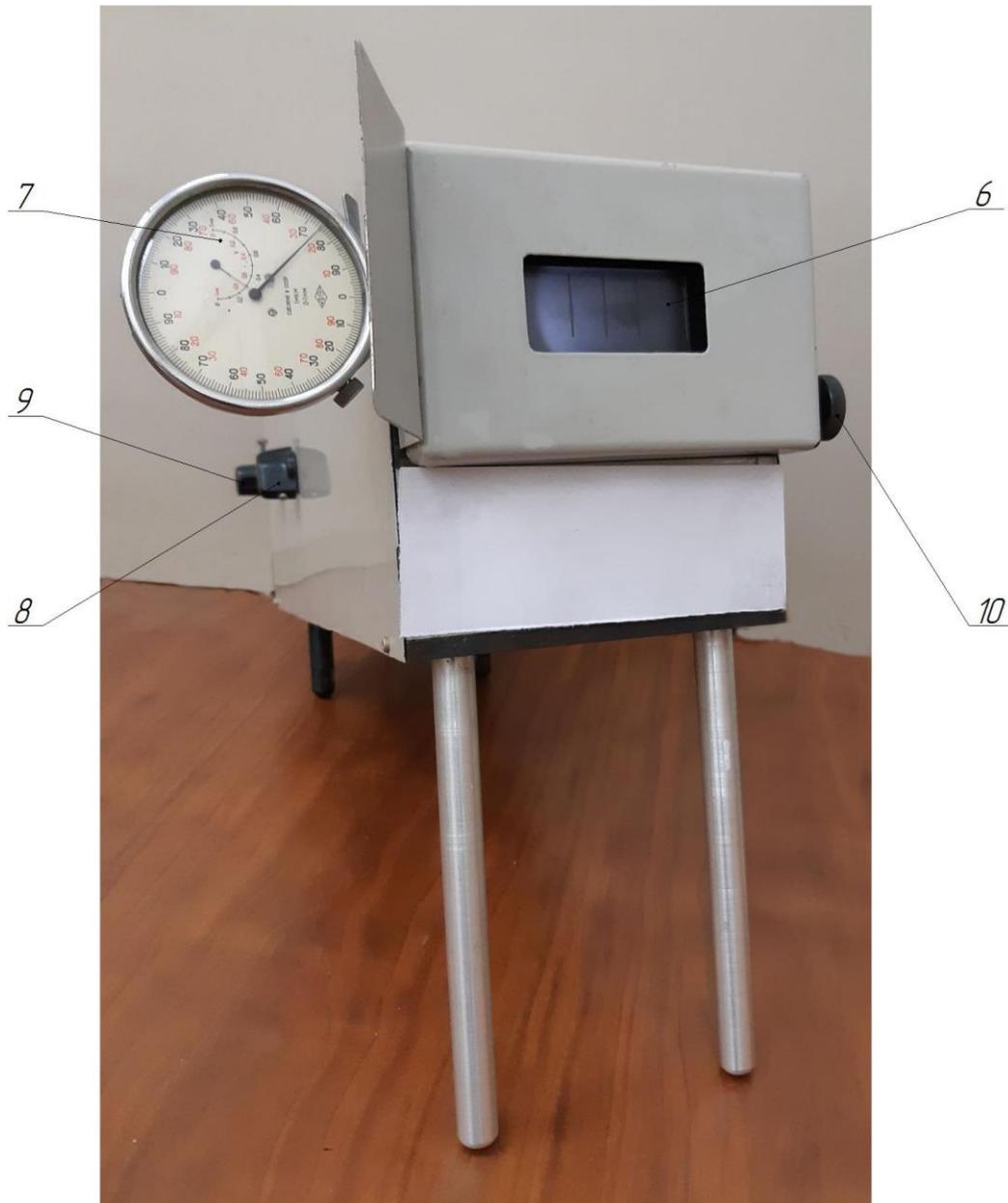


Рисунок 6 – Внешний вид установки для исследования поперечных наводок, где 6 – экран, 7 – индикатор, 8, 9 – рукоятки включения сменных светофильтров, 10 – маховичок винтового рычажного привода

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Биссектрирование с помощью биштриха - один из основных из наиболее часто используемых видов совмещаемых марок. При работе с ними возникают так называемые погрешности наведения.

Методика исследования чувствительности поперечных наводок основана на измерении величины рассеяния положения марки сетки при ее многократных повторных совмещениях с изображением объекта.

Погрешность совмещения исследуется в зависимости от величины освещенности, контраста, типа светофильтров, качества изображения объекта, вида совмещаемых марок. Эти ситуации могут моделироваться на установке для исследований.

В данной работе оператор производит совмещение марки (биштриха или штриха), нанесенной на экране, с изображением штриха сетки, перемещая экран с помощью винто-рычажного привода. Погрешность совмещения измеряется микронным индикатором.

Для определения числовых характеристик и закона рассеяния случайной составляющей производят многократные повторные совмещения (не менее 50), выполняемые при одностороннем движении экрана. По результатам измерения следует построить полигон рассеяния положений марки экрана, определить закон рассеяния, вычислить величину среднего и среднего квадратического отклонения.

Для выявления систематической составляющей производят многократные повторные совмещения марки при другом направлении движения экрана. Разность между центрами группирования рассеяний положения марки при прямом и обратном направлениях движения экрана (с учетом погрешности "мертвого хода" индикатора) характеризует искомую систематическую составляющую погрешности совмещения.

Степень зависимости чувствительности поперечных наводок от освещенности, контраста и т.д. характеризуется, главным образом, изменением величины среднего квадратического отклонения положений марки экрана при повторных совмещениях.

При этом **погрешность наведения** зависит:

- от психологических возможностей оператора;
- от типа светофильтров;
- от аберраций;
- от контрастности освещенности;
- от вида совмещаемых марок.

5.1. Влияние мертвого хода и психофизиологических особенностей оператора на погрешность наводки

Для этого делается 20 наводок слева и 20 наводок справа на центральный штрих и заносятся в таблицу 1, колонка I (см. приложение 1).

Один студент наводит, другой снимает отсчет по шкале микронного индикатора (отсчеты надо снимать либо по черной, либо по красной шкале).

По результатам измерений надо:

1) построить два полигона рассеяния при наводках слева и справа (пример построения полигонов, приведен в приложении 2, рисунок 8);

2) определить среднее значение \bar{y} по формуле

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

где y_i – отсчёт по шкале микрометра, n – число снятых отсчетов;

3) определить среднеквадратическую погрешность σ из выражения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}.$$

5.2. Влияние типа светофильтра на погрешность наводки

Для выполнения этой части работы производится по 20 наводок на центральный штрих слева (с одной стороны) поочередно с разными светофильтрами (3 - 4 светофильтра, светофильтры переключаются с помощью рукоятки 8, расположенной на левой стороне кожуха установки, см. рис. 6). Результаты измерений заносятся в таблицу 1, колонка II.

По результатам измерений:

1- построить 3-4 полигона рассеяния (т. е. для каждого фильтра), пример построения полигонов приведен в приложении 2;

2 - определить среднее значение \bar{y} ;

3 - определить среднеквадратическую погрешность σ .

Надо сравнить между собой значения y и объяснить, почему они отличаются. Отличия происходят от хроматизма увеличения, иллюстрация появления которого приведена на рис. 7.

Из-за разности углов преломления у разных длин волн через оптическое стекло возникает хроматизм увеличения Δu с одной стороны изображения предмета. Тогда отрезки a и b начинают казаться неравными, оператор сдвигает штрих, чтобы их выровнять и, при этом, возникает погрешность наведения. Для разных длин волн величины Δu будут разными.

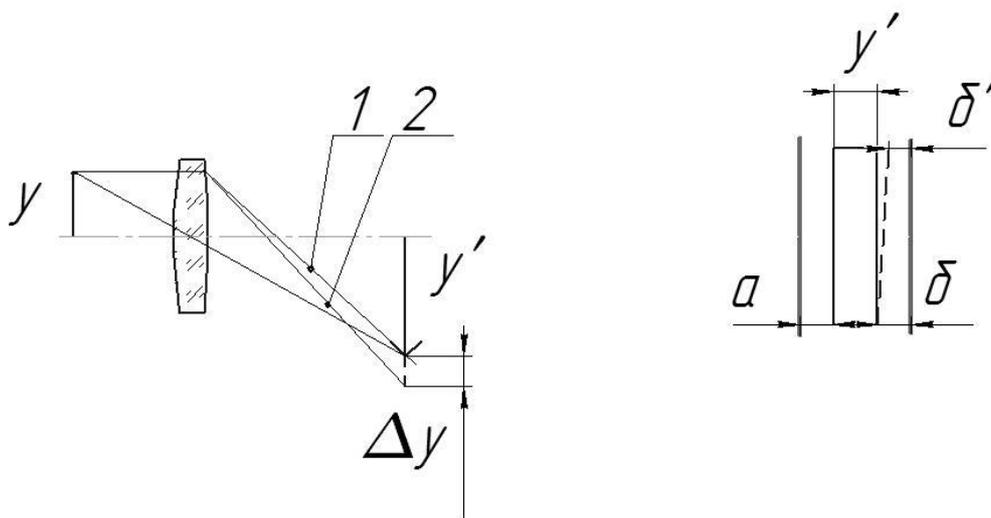


Рисунок 7 – Схема влияния хроматизма увеличения, где 1, 2 – лучи разных длин волн, y , y' – размер предмета и изображения, соответственно, Δy – хроматизм увеличения, a , b – отрезки до биштриха при наводке слева и справа для лучей 1, соответственно, b' – отрезок при наводке справа для лучей 2

5.3. Влияние aberrаций на погрешность наведения

Для этого производится 20 наводок слева (с одной стороны) на крайний штрих. По результатам измерений надо:

- 1 – вычислить величину \bar{y} ;
- 2 – вычислить величину σ .

Определить, как влияет aberrации на погрешность наведения, сравнивая данные расчетов этой части работы, с данными первой части работы (при наводке на штрих с той же самой стороны).

5.4. Влияние освещенности на точность наведения

Измерить освещенность матового экрана (без светофильтров). Затем, уменьшить освещенность в два раза (с помощью рукоятки 8 переключения светофильтров).

Затем 20 раз навестись на центральный штрих слева (с одной стороны). Данные этой колонки сравнить с данными первой колонки.

В дальнейшем:

- 1 - построить и сравнить полигоны рассеяния для колонки I (наведение слева) и колонки IV таблицы 1;
- 2 - определить $\Delta \bar{y}$;
- 3 - определить σ .

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ НАВОДОК В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Рекомендации, приведенные ниже, касаются выполнения наводок, в которых могут быть минимизированы погрешности путем компенсации их (или их составляющих).

6.1. Следует производить наводки на объект наблюдения с одной стороны.

6.2. В процессе наводок не следует менять спектральный состав осветителя. При включении разных светофильтров изменяется не только σ , но и смещается центр группирования $\Delta\bar{y}$.

Изменение σ обусловлено различиями спектральной чувствительностью зрения оператора и контрастом изображения.

6.3. Наименьшая погрешность будет получаться от сине-зеленого фильтра, создающего оптимальное соотношение этих факторов.

6.4. Смещение центра группирования происходит из-за хроматизма увеличения. Чтобы не было этой составляющей не следует переключать фильтры во время измерений.

6.5. При наведении на крайний штрих погрешность увеличивается из-за параллакса, т.е. сдвига изображений предмета относительно марки. Эта погрешность может быть уменьшена при юстировке прибора взаимным смещением сетки и объектива.

6.6. Так как погрешность увеличивается не только при малой освещенности (из-за уменьшения контраста изображения и чувствительности глаза), но и при сильном ее увеличении (из-за ослепления оператора и ее быстрой утомляемости), то следует выбирать оптимальную освещенность. Но для матового экрана она должна быть меньше, чем оптимальная E на рабочем месте, равная 50 – 250 лк.

6.7. Средняя квадратическая погрешность наведения при совмещении с биштрихом равна $\sigma = 6-8''$ или в линейной мере $\sigma = 7,5$ мкм (расстояние лучшего видения принято равным 250 мм.)

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены следующие сведения.

7.1. Краткое содержание работы.

7.2. Методика исследований и схема установки.

7.3. Результаты исследования: таблицы, графики, расчеты, рекомендации.

7.4. Выводы по результатам измерений.

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКЕ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 8.1. Какие погрешности оказывают влияние на точность наведения при поперечных наводках?
- 8.2. По результатам измерений и полигонам рассеяния показать наличие (отсутствие) систематической погрешности наведения, дать объяснение причинам появления этой погрешности.
- 8.3. Сравнить экспериментальное значение среднеквадратической погрешности наведения с ее теоретическим (ожидаемым) значением.
- 8.4. По результатам измерений сделать выводы о влиянии на точность совмещения качества изображения, спектрального диапазона работы прибора, освещенности экрана.
- 8.5. Дать рекомендации по уменьшению (компенсации) погрешности поперечных наводок.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий Ю. Г. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. "Машиностроение", М., 1971.
2. Гукайло М. Н. Автоколлимация. Машгиз, М.-К., 1963.
3. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений. Наука, Л., 1968.
4. Иванцов А. И. Основы теории точности измерительных устройств. Изд. Стандатов, М., 1977г.
5. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Учебное пособие для приборостроительных вузов. Л., Машиностроение, Ленингр. отд., 1982.
6. Кулагин В. В., Латыев С. М. Пороговая чувствительность движения точных механизмов с ручным управлением. ОМП, 1973, N5, с.16.
7. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, Ленингр. отд., 1985.
8. Сокольский М. Н. Влияние аберраций оптической системы на точность нониального совмещения штрихов. "Оптика и спектроскопия", 1970, XXIX, вып.1, с. 183.
9. Сокольский М. Л. Влияние аберраций оптической системы на точность измерительного устройства. "Измерительная техника", 1970, N 12.
10. Афанасьев В. А. Оптические измерения. М., Недра.
11. Погарев Г. В. О чувствительности поперечных и продольных установок, выполняемых с помощью отсчетных труб и микроскопов. ЛИТМО, 1963.
12. Справочник конструктора оптико-механических приборов. В. А. Панов, М. Я. Кругер и др., под общ. ред. В. А. Панова, Л., Машиностроение, Ленинградское отд., 1980.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Таблица 1. Результаты исследования чувствительности поперечных наводок

	I		II			III	IV
	Наводка на центральный штрих		Наводка на центральный штрих			Наводка на крайний штрих	Наводка на центральный штрих
	Освещенность, $E = 17$ лк.		Светофильтр			Освещенность, $E = 17$ лк.	Освещенность, $E = 8$ лк.
слева	справа	красный	зеленый	синий			
	слева	справа	слева	слева	слева	слева	слева
1	0,3440	0,3405	0,3520	0,3205	0,3440	0,0900	0,3370
...
20	0,3552	0,3942	0,3550	0,3390	0,3345	0,0790	0,3555
Σ	6,8475	...	...	...	...	...	...
\bar{y}	0,3424	...	...	...	...	...	...
σ	0,0087	...	...	...	...	...	...

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

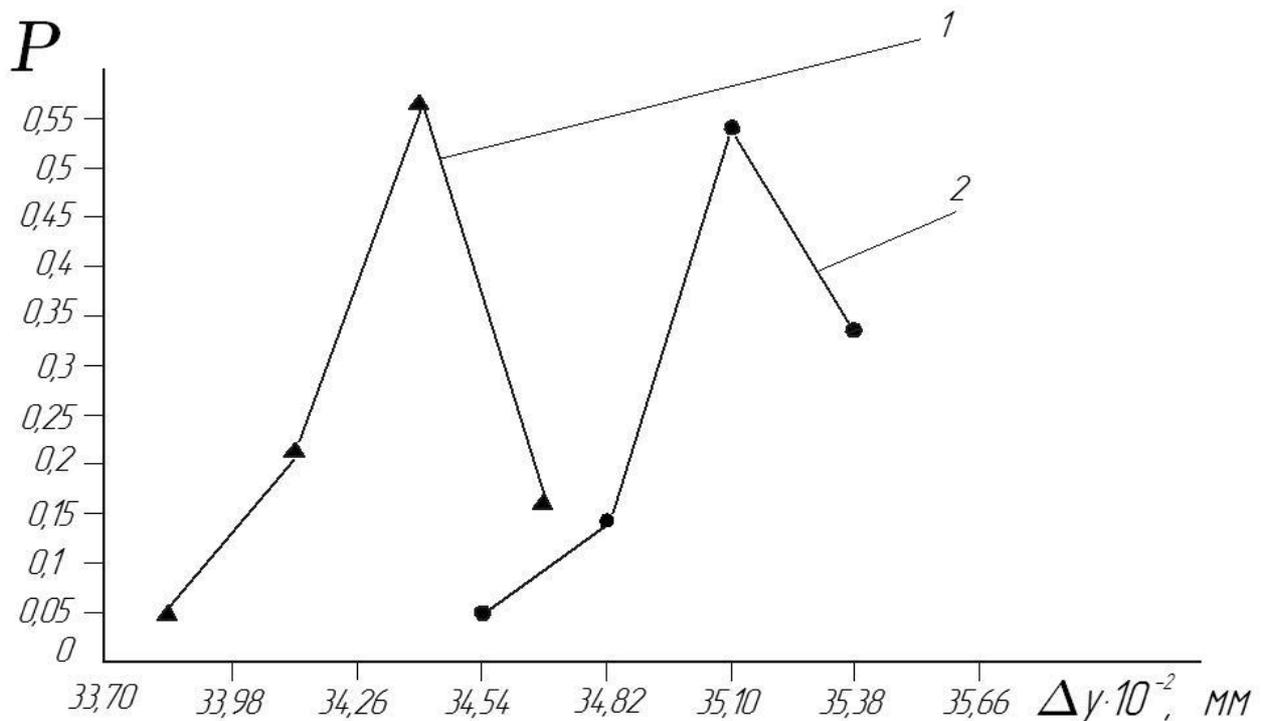


Рисунок 9 – Пример построения полигона рассеяния чувствительности наводки при разных уровнях освещенности, здесь кривая 1 – полигон рассеяния положения марки при наведении слева и освещенности $E = 17$ лк., кривая 2 – полигон рассеяния положения марки при наведении слева и освещенности $E = 8,5$ лк.

По вертикальной оси (P) откладываем частоты – отношение количества значений снимаемой величины y_i , попавших в данную зону полигона (в десятичных дробях) к общему числу (20), т.е., например, $1/20 = 0,05$; $2/20 = 0,1$ и т. д.

По горизонтальной оси отложен промежуток от минимального значения отсчета до максимального значения, разделенный на несколько зон.

Число зон выбирается не менее 4 и её размер определяется как разность максимального и минимального значения, поделенного на число зон.

По данным расчетов и графиков установить какие факторы и как влияют на точность измерения и предложить методы компенсации погрешности.

Полигон рассеяния построен правильно, если сумма значений точек графика по вертикальной оси будет равна 1.

Митрофанов Сергей Сергеевич

**Конструирование и точностной анализ оптических и
оптико-электронных приборов**

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверский пр., 49