

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Часть 2

Методические указания
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Точность измерительных приборов»
для студентов очной и заочной форм обучения
по направлению
12.03.01 Приборостроение

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 531.7

Р е ц е н з е н т:

А.Ю. Тараховский – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения»

Составители: А.И. Балакин, Н.А. Балакина

А64 Анализ точности измерительных приборов (часть 2): метод. указания к выполнению лабораторных работ / Сост. А.И. Балакин, Н.А. Балакина. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 73 с.

Предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплины «Точность измерительных приборов».

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Точность измерительных приборов». Овладение практическими навыками проведения анализа точности измерительных приборов.

УДК 531.7

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 5 от 30 ноября 2018 г.

Рекомендованы в качестве методических указаний для студентов очной и заочной форм обучения по направлению 12.03.01 Приборостроение.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОПТИМЕТРА..... 5

1. Общие сведения о приборе 5
2. Порядок выполнения лабораторной работы 11
3. Содержание отчета по лабораторной работе 12
4. Контрольные вопросы 14

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОМПАРАТОРА..... 15

1. Общие сведения о приборе 15
2. Порядок выполнения лабораторной работы 24
3. Содержание отчета по лабораторной работе 25
4. Контрольные вопросы 26

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ УГЛОМЕРНЫХ ПРИБОРОВ 27

1. Общие сведения о приборе 27
2. Порядок выполнения лабораторной работы 36
3. Содержание отчета по лабораторной работе 37
4. Контрольные вопросы 37

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РЫЧАЖНО-ЗУБЧАТЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК И ИХ АНАЛИЗ..... 38

1. Общие сведения о приборах 38
2. Порядок выполнения лабораторной работы 42
3. Содержание отчета по лабораторной работе 46
4. Контрольные вопросы 46

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА УВЕРСКОГО..... 47

1. Общие сведения о приборе 47
2. Порядок выполнения лабораторной работы 52
3. Содержание отчета по лабораторной работе 53
4. Контрольные вопросы 53

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МИКРОСКОПА УИМ-21	54
1. Общие сведения о приборе	54
2. Порядок выполнения лабораторной работы	67
3. Содержание отчета по лабораторной работе	68
4. Контрольные вопросы	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	69
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	70

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОПТИМЕТРА

Цель работы: ознакомление с конструкцией вертикального оптиметра и оптической схемой трубки оптиметра, а также получение навыков проведения измерений на вертикальном оптиметре и выявления действующих ошибок механизма прибора.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРЕ

1.1. Назначение и метрологическая характеристика прибора

Вертикальный оптиметр предназначен для измерения отклонений наружных размеров калибров-пробок, концевых мер длины и других точных деталей, а также для измерения отклонений геометрической формы детали относительным методом.

Таблица 1.1 – Метрологические характеристики прибора

Диапазон измерений прибора, мм	0 – 180
Пределы измерения по шкале, мм	$\pm 0,1$
Цена деления шкалы, мм	$\pm 0,001$
Погрешность показаний, мкм, в интервале	
$\pm 0,06$ мм	0,02
$\pm 0,1$ мм	0,03

1.2. Описание конструкции и принципа действия

Вертикальный оптиметр состоит из двух основных узлов (рис. 1.1) трубки оптиметра 1 и стойки 2.

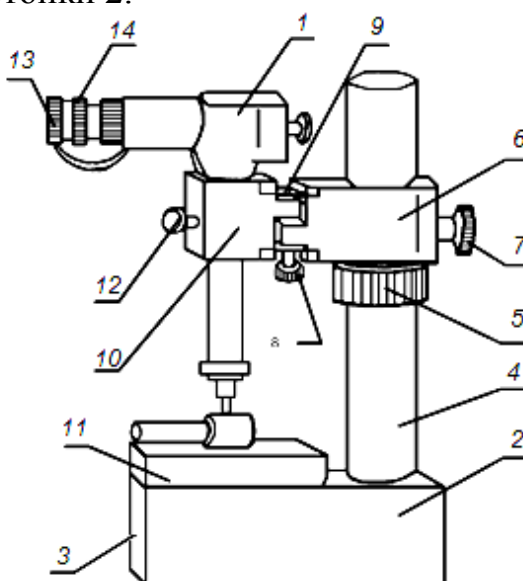


Рисунок 1.1 – Общий вид вертикального оптиметра

В основании 3 стойки 2 укреплен колонка 4, по которой с помощью подъемной гайки 5 перемещать кронштейн 6.

Таким образом, осуществляется грубая установка трубки оптиметра 1 на заданное расстояние до столика 11. Крепление кронштейна 6 осуществляется винтом 7. Тонкая настройка трубки оптиметра осуществляется винтом 8, который перемещает кронштейн 10 с закрепленной в нем винтом 12 трубкой 1.

Кронштейн 10 подвешен на пружинном параллелограмме 9.

Окуляр 13, навинчиваемый на тубус 14, позволяет наблюдателю, в зависимости от его зрения, установить необходимое расстояние между окуляром и плоскостью указателя и изображения шкалы.

Принцип действия и оптическая схема трубки оптиметра

Трубка оптиметра является основным элементом оптиметра – его измерительным преобразователем. Принцип действия трубки оптиметра основан на сочетании принципа автоколлимации и оптического рычага.

Зеркало, которое служит для получения автоколлимационного изображения, связано с измерительным стержнем и при перемещении стержня отклоняется на соответствующий угол.

Наблюдаемое в поле зрения автоколлимационное изображение шкалы, расположенное в фокальной плоскости объекта, перемещается относительно неподвижного указателя пропорционально перемещению измерительного стержня.

В оптиметре линия измерения расположена вертикально. Контактной измерительной поверхностью служат поверхности наконечников, надеваемых на измерительный стержень трубки оптиметра. Измеряемое изделие помещается на столе. Отсчеты производятся в процессе наблюдения в окуляр трубки оптиметра.

Оптическая схема трубки оптиметра представлена на рис. 1.2. В нее входят: зеркало 1, объектив 2, призма 3 внутреннего отражения, сетка 4 и окуляр 5. Осветительную систему составляют зеркало 6 в оправе и призма 7, установленная в рамке окуляра. Сетка 4 представляет собой стеклянную плоскопараллельную пластину со шкалой и индексом; деления шкалы нанесены на одной половине пластинки, а индекс на другой. Шкала со стороны окуляра закрыта призмой 7 так, что через окуляр можно видеть только индекс и изображение шкалы, отраженное от зеркала 1. Сетка установлена в фокальной плоскости объектива.

Лучи света, отражаясь от зеркала 6, через призму 7, освещают шкалу, пройдя призму 3 и объектив 2, они параллельным пучком падают на зеркало 1, отражаются от него и снова попадают в объектив 2, проходят призму 3, сетку 4, окуляр 5 и попадают в поле зрения наблюдателя. В окуляре 5 одновременно видно изображение шкалы и индекс, нанесенный на сетку.

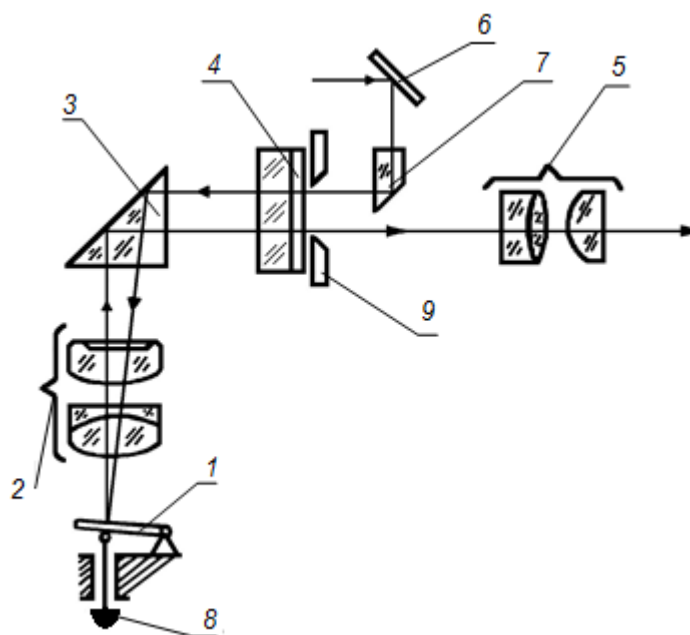


Рисунок 1.2 – Оптическая схема трубки оптиметра

Таким образом, принцип автоколлимации – это свойство объектива превращать пучок расходящихся лучей, исходящих из точечного источника света, расположенного в фокусе объектива, в пучок параллельных лучей, который после отражения зеркалом собираются в том же фокусе объектива.

Увеличенное изображение шкалы наблюдается через окуляр оптиметра.

Если плоскость зеркала 1 располагается перпендикулярно главной оптической оси (такое положение зеркало принимает при настройке оптиметра по блоку концевых мер), то исходная шкала и ее изображение будут находиться на одном уровне по вертикали и нулевой штрих изображения шкалы будет совпадать с указателем.

Если при измерении окажется, что размер детали отличается от размера блока концевых мер, то измерительный стержень 8 (рис. 1.2) переместится вверх или вниз, зеркало при этом отклонится на некоторый угол φ , вследствие чего изображение шкалы в поле зрения окуляра также будет перемещаться относительно неподвижного индекса (указателя).

Величина смещения будет соответствовать отклонению действительного размера детали от размера блока концевых мер, по которому был настроен оптиметр.

Между величиной перемещения измерительного стержня и величиной перемещения изображения существует следующая зависимость: перемещение измерительного стержня на величину h (рис. 1.3) вызывает наклон зеркала на угол φ , величина которого определяется из соотношения:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{b},$$

где b – длина плеча, равная расстоянию от оси вращения зеркала O до точки касания измерительного стержня A .

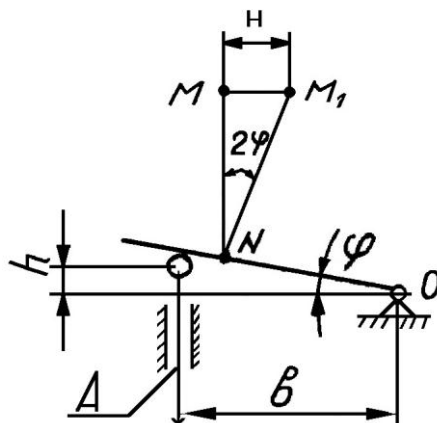


Рисунок 1.3 – Зависимость между величиной перемещения измерительного штифта и величиной перемещения изображения

Луч MN при отражении от зеркала отклоняется на угол 2φ и точка M вследствие этого переместится в точку M_1 .

Из треугольника MNM_1 имеем

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{H}{MN},$$

где H – величина перемещения луча при наклоне зеркала на угол φ ;
 MN – фокусное расстояние объектива.

Так как в обоих случаях речь идет о малых углах, то значение $\operatorname{tg} \varphi$ и $\operatorname{tg} 2\varphi$ можно заменить величинами φ и 2φ .

После некоторых преобразований получим искомую величину передаточного отношения

$$\frac{H}{h} = 2 \cdot \frac{MN}{b}.$$

На рис. 1.4 показана шкала, видимая в поле зрения трубки оптиметра. Шкала имеет двести делений, расположенных симметрично по обе стороны от нуля (по 100 делений с каждой стороны).

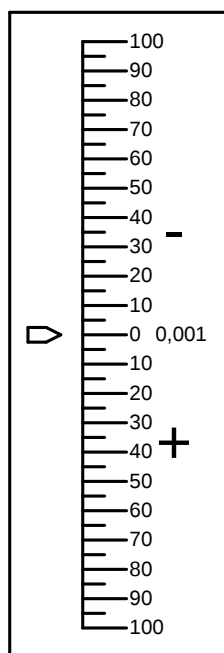


Рисунок 1.4 – Шкала трубки оптиметра

Механические и оптические соотношения всей системы оптиметра подобраны таким образом, что видимое в окуляр смещение шкалы на одно деление соответствует осевому перемещению измерительного штифта на 0,001 мм.

Трубки оптиметра изготавливаются двух типов – с цветными шторками в поле зрения окуляра и без них. Шторки 9 (рис. 1.2) облегчают работу на оптиметре только при массовом контроле. При пользовании шторками нет надобности производить отсчет по шкале – достаточно установить, где находится индекс – внутри или вне ограниченного шторками поля.

1.3. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора.

Оптиметр является прибором, реализующим метод сравнения с мерой. Для измерения детали необходимо с помощью арретира поднять измерительный стержень с наконечником; ввести под него измеряемое изделие; отпустить измерительный наконечник до соприкосновения с изделием, арретированием проверив постоянство показаний; определить по шкале трубки оптиметра отклонение от размера блока концевых мер и подсчитать действительный размер измеряемого изделия. При измерении диаметров сферическим наконечником перемещением изделия находят наибольший размер.

Процесс измерения включает следующие операции:

а) если номинальный размер и допуск неизвестен.

1. Измерение детали прибором, реализующим метод непосредственной оценки измерений с погрешностью, не превышающей диапазон показаний оптиметра.

2. Составление блока концевых мер размером «А» по результатам измерения.
3. Настройку трубки оптиметра на ноль по блоку концевых мер.
4. Измерение деталей и определение показаний «а» по трубке оптиметра.
5. Нахождение действительных размеров контролируемых деталей

$$R = A \pm a,$$

где А – размер блока концевых мер, мм;

а – показания трубки оптиметра, переведенное в мм.

б) Если номинальный размер и допуск известны.

1. Набрать блок концевых мер размером «А», соответствующий середине интервала допуска.
2. Выполнить пункты 3, 4, 5 пункта «а».

1.4. Поверка погрешности показаний трубки оптиметра

Погрешность показаний оптиметра при поверке от нулевого штриха не должна превышать:

$\pm 0,0002$ мм на любом участке шкалы в интервале $\pm 0,06$ мм;

$\pm 0,0003$ мм – на интервале свыше $\pm 0,06$ мм.

В соответствии с МИ 1958 – 89 поверку правильности показаний оптиметра производят парным методом по концевым мерам 4-го разряда или 1-го класса с применением сферических наконечников (рис. 1.5).

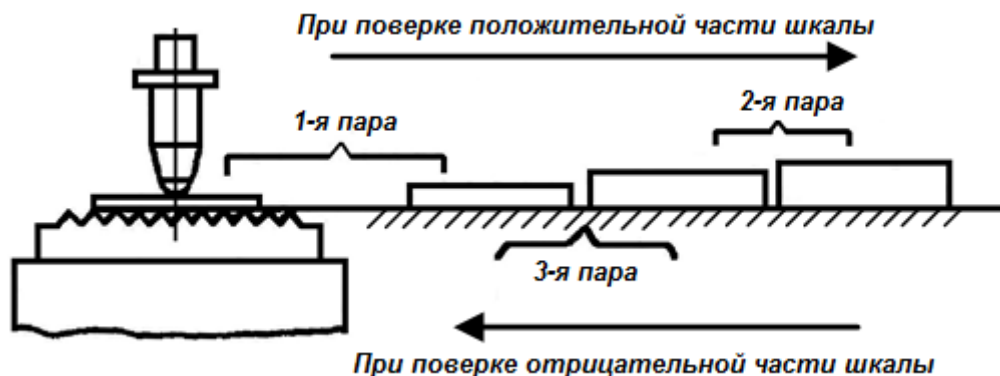


Рисунок 1.5 – Поверка показаний трубки оптиметра парным методом

Шкалу проверяют в четырех интервалах: от 0 до +60, от 0 до +100, от 0 до -60 и от 0 до -100 мкм.

Для проверки шкалы в интервале от 0 до +60 мкм берут четыре концевые меры с разностью размеров номинально равной размеру поверяемого интервала, т.е. 0,06 мм, например, 2,0; 2,06; 2,12 и 2,18 мм. Из этих мер составляют последовательно три пары: 2,00 и 2,06; 2,06 и 2,12; 2,12 и 2,18 мм. На накладной стол помещают меру 2,00 мм, нулевое деление шкалы уста-

навливают вблизи указателя. После трехкратного арретирования делают первый отсчет. Не меняя нулевой установки, производят второй отсчет по концевой мере 2,06 мм. Затем нулевое деление шкалы устанавливают по концевой мере 2,06 мм и установив меру 2,12 мм производят третий отсчет. Порядок снятия отсчетов повторяют в последовательности указанной выше. Результаты измерений заносят в табл. 1.2.

Погрешность показаний на поверяемом интервале шкалы оптиметра Δ_i (мкм) определяется по формуле

$$\Delta_i = \frac{\sum r_i - (l_n - l_1) \cdot 1000}{n - 1},$$

где l_n – действительный размер последний из четырех взятых мер, мм;

l_1 – действительный размер первой меры, мм;

$\sum r_i$ – алгебраическая сумма найденных значений интервала (без учета поправок на применение меры), мкм;

n – число взятых мер (в данном случае четыре).

Размеры l_n и l_1 берутся одинаково по разряду или по классу.

Проверка шкалы в интервале от 0 до -60 мкм проводится аналогично, но в обратном порядке, т.е. начиная с концевой меры размером 2,18 мм.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией вертикального оптиметра, принципом действия и оптической схемой трубки оптиметра.

2. Изучить методику поверки показаний вертикального оптиметра.

3. Изучить методику проведения измерений с помощью вертикального оптиметра.

4. Провести проверку взаимодействия основных узлов прибора, для чего проверить плавность перемещений столика и кронштейна стойки.

5. Установить вертикальный оптиметр в стойку таким образом, чтобы лучи света от источника попадали на зеркало.

6. Используя набор концевых мер, по методике, приведенной в п. 4, произвести поверку показаний вертикального оптиметра. Результаты записать в табл. 1.2.

7. Сделать заключение о возможности дальнейшего использования вертикального оптиметра для проведения измерений.

8. По выше изложенной методике произвести измерения пяти гладких калибров по трем сечениям и двум направлениям. Результаты показаний записать в табл. 1.3.

Дать оценку годности калибров по заданному преподавателем качеству и отклонению, построив схему расположения интервалов допусков калибров (табл. А.3 прил. А). Определить действительный размер калибра

в сечении. Выявить профиль продольного сечения. Определить величину погрешности формы деталей в продольном сечении. Допуски и отклонения гладких калибров и рекомендуемые замены полей допусков системы ОСТ на поля допусков по системе ЕСДП приведены в табл. А.1, А.2 Прил. А.

Заключение о годности калибров делается на основании сравнения действительных размеров проходной и непроходной пробок с соответствующими допустимыми предельными размерами по ГОСТ 24853–81. Калибр будет годен в том случае, если его действительные размеры будут располагаться в пределах интервала допуска на изготовление нового калибра. Если действительный размер проходной стороны калибра-пробки К-ПР меньше его наименьшего размера, но укладывается в интервал допуска на износ, а размер непроходной стороны К-НЕ находится в пределах интервала допуска, то калибр считается частично изношенным.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- наименование и цель работы;
- назначение, конструкция и метрологические характеристики прибора;
- оптическая схема трубки оптиметра;
- результаты поверки показаний вертикального оптиметра (табл. 1.2) и заключение о возможности его дальнейшего использования;
- результаты измерения калибров (табл. 1.3);
- схема интервалов допусков калибров с расчетом их исполнительных размеров;

Таблица 1.2 – Результаты поверки показаний оптиметра

	Поверяемый участок шкалы, мм	Меры, входящие в пары (группа пар)	Измеренная разность в каждой паре мер, r_i , мкм	Погрешность на данном участке шкалы, мкм $\Delta i = \frac{\sum r_i - (l_n - l_1)}{n - 1}$
Положительная часть шкалы	0 ... + 0,06	2 - 2,06		
		2,06 - 2,12		
		2,12 - 2,18		
		$\sum r_i$		
	0 ... + 0,1	2 - 2,1		
		2,1 - 2,2		
		2,2 - 2,3		
		$\sum r_i$		

Продолжение табл. 1.2

	Поверяемый участок шкалы, мм	Меры, входящие в пары (группа пар)	Измеренная разность в каждой паре мер, r_i , мкм	Погрешность на данном участке шкалы, мкм $\Delta i = \frac{\sum r_i - (l_n - l_1)}{n - 1}$
Отрицательная часть шкалы	0 ... - 0,06	2,18 - 2,12		
		2,12 - 2,06		
		2,06 - 2,0		
		$\sum r_i$		
	0 ... - 0,1	2,3 - 2,2		
		2,2 - 2,1		
		2,1 - 2		
		$\sum r_i$		

Таблица 1.3 – Результаты измерений

№	Маркировка калибра	Номер сечения	Направление		Среднее значение, мкм	Действительный размер в сечении, мм	Отклонение формы продольного сечения
			1	2			
1		I					
		II					
		III					
2		I					
		II					
		III					
3		I					
		II					
		III					
4		I					
		II					
		III					
5		I					
		II					
		III					

– вывод (погрешность показаний трубки оптиметра – заключение о возможности использования вертикального оптиметра, заключение о годности калибров по результатам измерения).

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По какому методу производятся измерения на вертикальном оптиметре?
2. Опишите конструктивные особенности и оптическую схему трубки оптиметра?
3. Рассказать порядок поверки показаний вертикального оптиметра?
4. Рассказать о последовательности настройки оптиметра на измерение?
5. Рассказать о последовательности выполнения измерений?
6. Каким образом делается вывод о годности калибров?
7. Перечислите источники возникновения погрешности измерения?
8. Имеет ли место ошибка схемы и каковы причины ее возникновения?
9. Назовите метрологические характеристики вертикального оптиметра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОМПАРАТОРА

Цель работы: ознакомление с конструкцией горизонтального компаратора и методикой исследования точности нанесения шкал, а также получение навыков проведения измерений на горизонтальном компараторе и выявления действующих ошибок механизма прибора.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРЕ

1.1. Назначение и метрологическая характеристика прибора

Горизонтальный компаратор ИЗА-2 является однокоординатным измерительным прибором и предназначен для измерения линейных размеров в пределах от 0 до 200 мм. В частности, прибор может быть применён для измерения линейных размеров между штрихами спектральных линий на негативах спектрограмм, измерения различных шкал сеток. Метрологические характеристики горизонтального компаратора ИЗА-2 представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Метрологические характеристики прибора

Диапазон измерений прибора, мм	0 – 200
Диапазон показаний прибора, мм	0 – 200
Цена деления шкалы, мм	1
Цена наименьшего деления спирального окулярного микрометра, мм	0,001
Увеличение визирного микроскопа	от 7 [×] до 10,5 [×]
Увеличение отсчетного микроскопа	61,5 [×]
Предельная погрешность измерения, мкм	по формуле (2.1)

Погрешность измерения определяется из выражения

$$\Delta = \pm \left(0,9 + \frac{L}{300 - 4H} \right), \text{ мкм} \quad (2.1)$$

где L – измеряемая длина, мм;

H – высота плоскости измерения объекта над плоскостью стола компаратора, мм.

1.2. Описание конструкции и принципа действия

Измерение производится путем сравнения длины измеряемой величины с штриховой линейной шкалой прибора. Это сравнение осуществляется с помощью визирного и отсчетного микроскопов, расстояние между кото-

рыми постоянно, а оптические оси их параллельны друг другу. Визирный микроскоп служит для наведения на штрих или точку измеряемой величины, а отсчетный – для снятия отсчета по шкалам прибора.

Компаратор (рис. 2.1) состоит из следующих основных частей: основания 1, на котором с помощью траверсы 5 крепятся визирный 12 и отсчетный 16 микроскопы, и передвигающегося по направляющим 2, 4 стола 3 с миллиметровой линейкой 11 и термометром 10. Объект измерения крепится на измерительном столе 3. При измерении необходимо измеряемый объект установить на столе так, чтобы линия измерения его была параллельна ходу стола. Установка производится с помощью упорной линейки 9, которая может передвигаться перпендикулярно оси стола и под некоторым углом к ней. После установки измеряемый объект закрепляют и производят измерения. Длина измеряемой величины определяется как разность двух отсчетов.

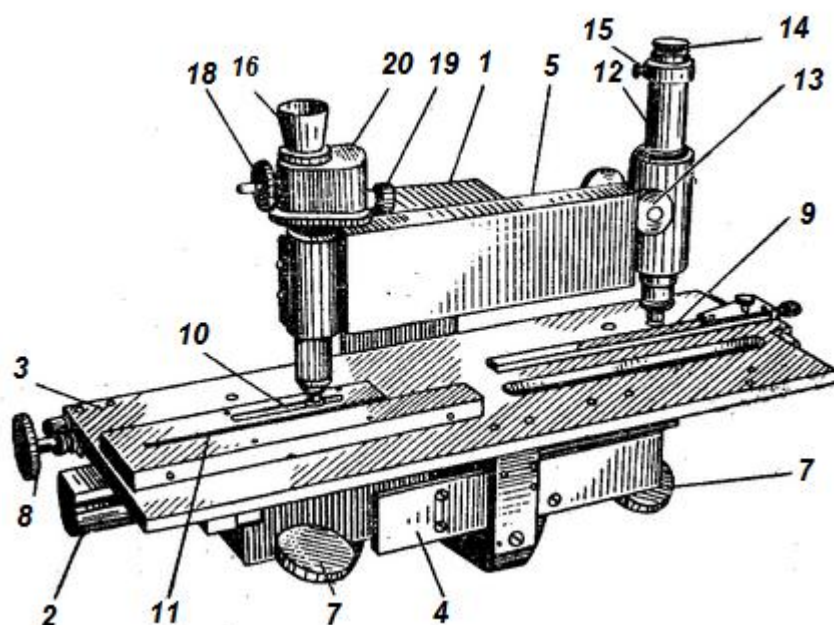


Рисунок 2.1 – Горизонтальный компаратор, вид общий

Основание. Является базовой деталью литой конструкции, несущей на себе цилиндрическую направляющую 2 перемещения стола и траверсу 5, на которой расположены микроскопы. Хромированный экран 5 защищает траверсу от тепла, излучаемого телом измерителя. Конструкция основания позволяет для удобства работы устанавливать прибор под углом 45° .

Параллельно цилиндрической направляющей к основанию прикреплена прямоугольная направляющая 1 (рис. 2.2), которая служит второй опорой предметного стола. К цилиндрической державке 8 с двух сторон присоединены два зеркала 7 для освещения шкалы компаратора и объекта измерения.

Подвижный стол. Подвижный стол 2 (рис. 2.2) служит основанием, на котором устанавливается объект измерения и установлена шкала компаратора.

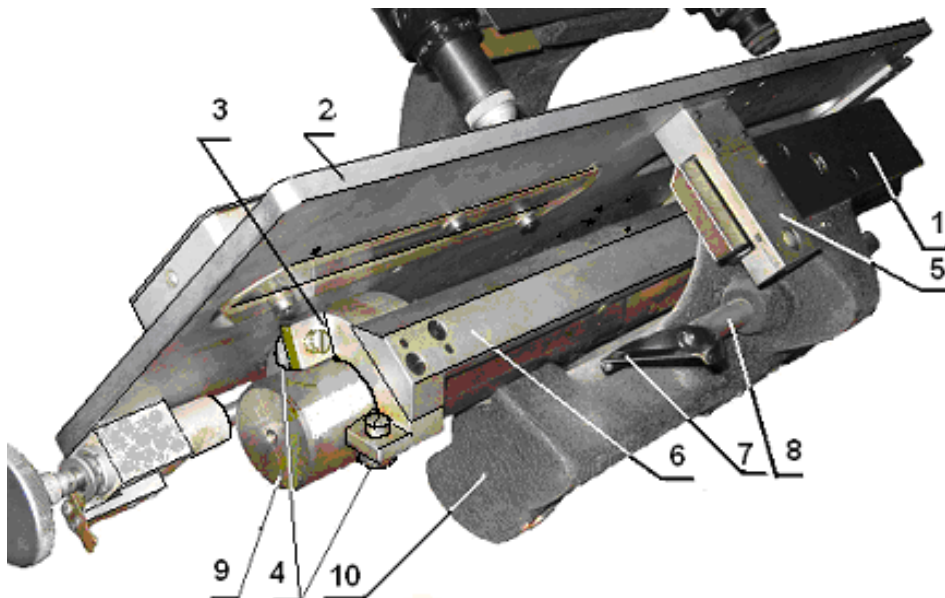


Рисунок 2.2 – Горизонтальный компаратор, вид снизу

К нижней плоскости стола 2 прикреплены два кронштейна 3, в пазах которых под 120° друг другу и вокруг цилиндрической направляющей 9 установлены по три шариковых подшипника 4. Прямоугольная направляющая 1 входит в паз кронштейна 5, в верхней и нижней части которого установлено по одному шарикоподшипнику. Верхняя плоскость прямоугольной направляющей 1, на которую опирается верхний подшипник, находится под наклоном к боковым поверхностям. Это позволяет автоматически выбирать люфты в кинематических парах направляющих за счет перераспределения силы тяжести стола. Кронштейны 3 с помощью планки 6 объединены в одну сборочную единицу, что позволяет их еще до сборки со столом правильно сориентировать друг относительно друга, закрепить винтами и зафиксировать штифтами. Это позволяет в процессе сборки прибора отдельно (без стола) отрегулировать перемещение узла кронштейнов по цилиндрической направляющей, после чего осуществить установку и крепление стола к кронштейнам 3.

Перемещение стола по направляющим производится непосредственно от руки, для чего предварительно освобождают стопорный винт 7 (рис. 2.1). Тонкая подача осуществляется микрометрическим винтом 8.

Для установки измеряемого объекта относительно оси шкалы компаратора на столе имеется приспособление в виде упорной линейки 9, которая даёт возможность производить перемещение объекта перпендикулярно оси измерения и разворот его на небольшой угол.

Температурный режим прибора контролируется термометром 10. В

правой части стола укреплена аттестованная миллиметровая шкала 11, в левой части имеются отверстия, в которые вставляются зажимы, закрепляющие измеряемый объект.

Микроскопы. Визирный микроскоп 12 служит для наводки на измеряемые штрихи объекта, точки и т. д. Перемещение визирного микроскопа 12 относительно траверсы (при фокусировке) осуществляется с помощью маховичка 13.

Для получения большого увеличения визирного микроскопа (в пределах $10,5^{\times}$) объектив выдвигают и закрепляют контрогайкой, окуляр 14 визирного микроскопа – выдвижной. Для закрепления окуляра 14 в тубусе служит стопорный винт 15.

К визирному микроскопу прилагается две окулярные сетки (биссектор «а» и перекрестие «б»), которые устанавливаются в зависимости от конфигурации измеряемого объекта. Поле зрения окуляра визирного микроскопа представлено на рис. 2.3. Сетка «а» установлена в микроскопе, а сетка «б» прикладывается отдельно.

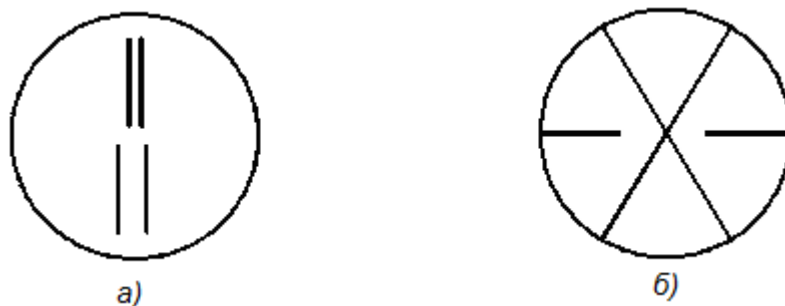


Рисунок 2.3 – Поле зрения окуляра визирного микроскопа:

а) сетка – биссектор

б) сетка – перекрестие

Резьба объектива и диаметр окуляра стандартные, что позволяет пользоваться объективами и окулярами других микроскопов.

Отсчётный микроскоп 16 (рис. 2.1) со спиральным окулярным микрометром служит для отсчёта по шкале компаратора. Отсчётный микроскоп неподвижно укреплен на правом конце траверсы. Установка объектива здесь постоянная и наблюдателем изменяться не может. Для наводки витков сетки спирального микрометра на штрихи шкалы прибора служит маховичок 18. При желании спиральный окулярный микрометр может быть перемещён вдоль продольного хода прибора вращением маховичка 19, для чего предварительно отвёртывают зажимной винт 20. Этим достигается установка шкалы на целое число при первом отсчёте, что значительно облегчает вычисление при последующей обработке измерений. При более точных измерениях нужно окулярный микрометр передвинуть в среднее положение и закрепить прижимным винтом.

Для повышения точности наводки служит съёмная диафрагма окуляра отсчётного микроскопа с зелёным светофильтром.

Зеркала служат для освещения шкалы компаратора и измеряемого объекта. Каждое зеркало имеет по две отражающие поверхности – плоскую с зеркальным отражением и сферическую матовую – с рассеивающим отражением. Первая применяется при рассеянном (дневном) свете, вторая – при сосредоточенном (лампа накаливания).

Принцип действия и оптическая схема прибора

Измерение длин на компараторе производится путём сравнения измеряемой длины объекта со штриховой линейной мерой (шкалой) прибора при помощи двух микроскопов, расстояние между которыми постоянно и оптические оси параллельны.

Один микроскоп (визирный) служит для наведения на штрих объекта, точку и т. д., второй (отсчётный со спиральным микрометром) предназначен для отсчёта по шкале прибора.

Измеряемый объект устанавливается на подвижном столе прибора под визирным микроскопом. На этом же столе под отсчётным микроскопом укреплена стеклянная миллиметровая штриховая шкала, по которой производятся соответствующие отсчёты.

Конструкция прибора обеспечивает полное соблюдение принципа Аббе, заключающегося в том, что измеряемый размер совпадает с линией измерения (направлением движения стола) и является продолжением шкалы компаратора.

Если по высоте плоскость измеряемого размера не совпадает с плоскостью шкалы, то при расчёте точности измерений вводят высоту H плоскости размера над плоскостью стола в приведенную выше формулу.

Оптическая схема визирного микроскопа показана на рис. 2.4.

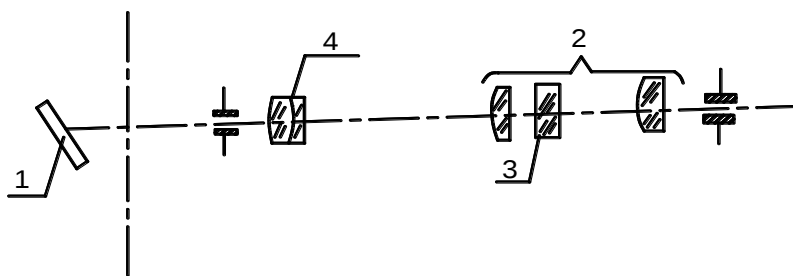


Рисунок 2.4 – Оптическая схема визирного микроскопа

Измеряемый объект освещается при помощи зеркала 1. Изображение штриха или точки совмещается в поле зрения микроскопа с помещённой в окуляре 2 сеткой 3. Увеличение объектива 4 от $1^{\times}$ до $1,5^{\times}$; увеличение визирного микроскопа меняется соответственно от $7^{\times}$ до $10,5^{\times}$; линейное поле зрения составляет 13 мм.

Отсчетный микроскоп со спиральным окулярным микрометром предназначен для отсчёта величины линейного перемещения стола. Оптическая схема отсчётного микроскопа представлена на рис. 2.5.

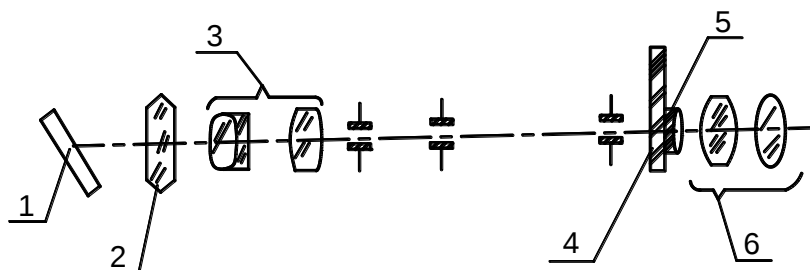


Рисунок 2.5 - Оптическая схема отсчётного микроскопа

Освещение миллиметровой шкалы 2 осуществляется при помощи зеркала 1. Изображение миллиметровой шкалы 2 совмещается в поле зрения микроскопа с вращающейся шкалой 4, на которой имеется десять витков двойной спирали Архимеда и 100 делений круговой шкалы в продольном и поперечном направлениях. В поле зрения микроскопа одновременно видны один-два штриха миллиметровой шкалы (рис. 2.6), неподвижная шкала десятых долей миллиметра с делениями от «0» до «10», круговая шкала для отсчёта сотых и тысячных долей миллиметра и двойные витки спирали.

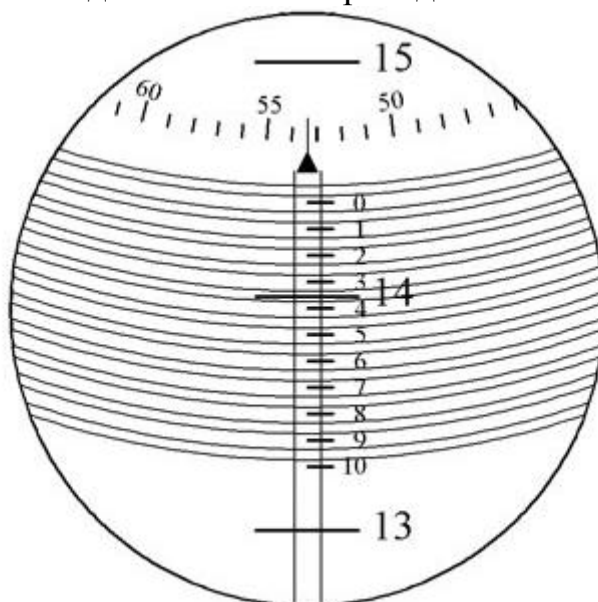


Рисунок 2.6 – Поле зрения окулярного микрометра спирального

Спираль Архимеда в микроскопе выполнена с шагом 0,1 мм, поэтому линейная величина между изображениями двух смежных штрихов шкалы 2, находящихся на расстоянии 1 мм, равняется линейной величине десяти шагов спирали. Если спираль Архимеда вращать относительно точки ее

полюса, то в поле зрения окуляра (рис.2.6) ее двойные штрихи будут иметь поступательное перемещение вдоль шкалы десятых. При этом, одному обороту спирали будет соответствовать поступательное перемещение ее двойных штрихов на величину шага, т. е. 0,1 мм. Цена деления круговой шкалы равна 1 мкм.

1.3. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора.

Подготовка прибора к работе.

Прибор должен работать в чистом, сухом и изолированном от тряски и вибрации помещении при температуре $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Перед работой все части прибора протираются чистой мягкой салфеткой. Оптические детали – окуляры, объективы, защитное стекло, шкала компаратора и зеркала – очищают от пыли беличьей кисточкой и затем протирают чистой салфеткой или замшей, слегка смоченной бензином.

Далее производится опробование всех подвижных частей прибора на мягкость и плавность хода, а также исправность действия зажимных винтов. Чтобы получить наибольшую точность измерений, нужно спиральный микрометр передвинуть в среднее положение. Для этого отворачивают зажимной винт 20 (рис. 2.1) и, вращая маховичок 19, перемещают микрометр в крайнее (правое и левое) положение, после чего, действуя маховичком 19 в обратном направлении, наблюдая по шкале компаратора, перемещают микрометр на 0,5 мм. Это и будет соответствовать приближённо среднему положению спирального микрометра. Затем закрепляют зажимной винт 20. Для наибольшей точности измерений надевают на окуляр спирального микроскопа диафрагму. Выбирают соответствующую сетку для окуляра визирного микроскопа. При измерении штриховых шкал рекомендуется пользоваться сеткой «а», показанной на рис. 2.3; при измерении таких объектов, как, например, окружность, рекомендуется пользоваться сеткой «б».

Установка сетки в окуляре визирного микроскопа производится следующим образом: освобождают стопорный винт 15 (рис. 2.1) хомутика, вынимают окуляр, отвинчивают оправу с нижней коллективной линзой, кладут выбранную сетку на фланец оправы, на оправу навинчивают остальную часть окуляра. После сборки окуляра очищают от пыли кисточкой и вставляют на прежнее место. При установке сетки необходимо отметить, что плоскость, на которой нанесены штрихи, должна быть обращена к объективу.

Методика проведения исследований точности нанесения шкал

В задачу исследований точности нанесения шкалы входит измерение расстояния между штрихами шкалы на следующих интервалах:

На интервалах кратных 10 мм – между нулевым и каждым последующим оцифрованным штрихом шкалы, т.е. 0-10, 0-20, ..., 0-150 мм.

На сантиметровых интервалах – между следующими друг за другом оцифрованными штрихами шкалы: 0-10, 10-20, 20-30,.....,140-150 мм.

На миллиметровом интервале – между каждым миллиметровым штрихом шкалы, т.е. 0-1, 1-2, 2-3,, 9-10 мм.

Разность измеренного и номинального значения интервала будет являться отклонением интервала, которое следует сравнить с допускаемым отклонением. Согласно техническим требованиям на изготовление штанги штангенциркуля с пределами измерения 0-150 мм и нониусом 0,1 мм, при нанесении штрихов шкалы допускаемое отклонение расстояния между двумя любыми штрихами составляет $\pm 0,03$ мм.

Установка измеряемого объекта

Измеряемый объект должен быть установлен на столе так, чтобы его линия измерения была параллельна ходу стола (установка объекта в горизонтальной плоскости), а также сохранилась одинаковая резкость изображения в начальном и конечном пункте измеряемого объекта при перемещении стола (установка в вертикальной плоскости).

Установка в горизонтальной плоскости производится следующим образом: при помощи винта установочного приспособления объект перемещают перпендикулярно линии до тех пор, пока штрих или точки его не войдут в поле зрения микроскопа и пока конец какого-либо штриха (например, нулевого) не совместится с концом биссектора или перекрестием нитей, если работают с сеткой «б» (рис. 2.3). Перемещая стол, наблюдают, нет ли перекоса линии измерения объекта относительно оси продольного хода стола. Если перекося наблюдается, то измеряемый объект разворачивают при помощи линейки установочного приспособления в нужном направлении. Установка объекта в вертикальной плоскости проверяется по одинаковой резкости изображения в начальном и конечном пункте (по отсутствию параллакса). Это обычно обеспечивается параллельностью верхней и нижней плоскостей объекта, в противном случае необходимо устранить наклон по высоте при помощи подкладок. После этого объект укрепляют зажимами и ещё раз проверяют параллельность линии измерения оси продольного хода стола и фокусировку визирного микроскопа. Окуляр отсчётного микроскопа устанавливают на резкость изображения сетки.

Шкалы прибора и измеряемого объекта должны быть равномерно освещены. Освещение может быть естественным или искусственным. В процессе измерения не следует менять установленного в начале работы освещения, например, менять положение и освещённость зеркал, яркость ламп.

Зеркала должны быть также равномерно освещены. По возможности следует избегать отражения в зеркалах предметов, стоящих на пути освещения; убедиться в этом можно рассмотрением в лупу зрачка выхода, ко-

торый должен быть равномерно освещён.

Методика измерений

Открыв винт 7 (рис. 2.1), перемещают стол до тех пор, пока начальный штрих измеряемого объекта не будет введён в поле зрения визирного микроскопа. Затем винт стопорят и с помощью микрометрического винта 8 производят точную наводку; начальный штрих измеряемого объекта вводят в биссектор визирного микроскопа. После точной наводки на штрих объекта производят отсчёт по спиральному окулярному микрометру.

В поле зрения спирального окулярного микрометра (рис. 2.6) виден: штрих миллиметровой шкалы, обозначенный крупными цифрами «14», попавший на неподвижную шкалу десятых долей миллиметра с делениями от «0» до «10», круговая шкала для отсчёта сотых и тысячных долей миллиметра и десять двойных витков спирали. Чтобы произвести отсчёт, необходимо предварительно посредством маховичка 18 (рис. 2.1) подвести двойной виток спирали так, чтобы миллиметровый штрих, находящийся в зоне двойных витков, оказался точно посередине между линиями витка.

Индексом для отсчёта миллиметровых делений шкалы компаратора является нулевой штрих неподвижной (горизонтальной) шкалы десятых долей миллиметра. Если в поле зрения окуляра штрих миллиметровой шкалы расположен в пределах шкалы десятых, то это означает, что данный миллиметровый штрих уже прошёл индекс, а ближайший, больший по порядку, миллиметровый штрих ещё не дошёл до индекса.

На рис. 2.6 миллиметровый штрих «14» уже прошёл нулевой штрих шкалы десятых долей миллиметра, а ближайший штрих «15», ещё не дошёл до нулевого штриха десятых долей миллиметра. Отсчёт будет 14 миллиметров плюс отрезок от штриха «14» до нулевого штриха шкалы десятых долей миллиметра. Этот отрезок содержит десятые, сотые, тысячные и десятитысячные доли миллиметра. Число десятых долей миллиметра в этом отрезке показывает цифра последнего, уже пройденного штриха шкалы десятых долей миллиметра (в нашем примере «3»).

Сотые и тысячные доли миллиметра отсчитываются одновременно по круговой шкале; индексом для отсчёта по ней служит указатель шкалы; цена деления круговой шкалы – 0,001 мм.

На рис. 2.6 индекс прошёл штрих 56 круговой шкалы, поэтому окончательный отсчёт будет 14,356 мм. После того, как произведён отсчёт, перемещением стола подводят второй штрих или точку измеряемого объекта в биссектор внутреннего микроскопа и вновь производят отсчёт по отсчётному микроскопу. Разность отсчётов даёт расстояние между штрихами объекта. Для повышения точности измерения наводки и отсчёт повторяют несколько раз и берут среднее из них, при этом наводку рекомендуется производить с прямого хода. Кроме того, в результате измерения учитывают поправки по аттестату шкалы. Для этого к полученному отсчёту при-

бавляют (алгебраически) поправку по аттестату. Ниже рассмотрен пример вычисления расстояния между двумя штрихами измеряемого объекта с учётом поправки по аттестату.

Таблица 2.2 – Пример вычисления расстояния с учетом поправки

Отсчеты, мм	Поправка по аттестату, мм	Результат с учетом по- правки, мм
72,5793	0,0009	72,5802
17,9356	-0,0011	17,9345

Расстояние между штрихами определяется как разность
 $72,5802 - 17,9345 = 54,6457$ мм.

Поправки вносятся в том случае, если желают получить возможно более точные измерения.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с назначением, конструкцией, метрологическими характеристиками и принципом действия горизонтального компаратора ИЗА-2.

2. Изучить методику исследований точности нанесения шкал.

3. Установить измеряемый объект.

4. Произвести измерения. Результаты измерений занести в таблицы 2.3–2.5.

Таблица 2.3 – Результаты измерений интервалов шкалы, кратных 10 мм

Наводка на i -й штрих по шкале объекта измерения, мм	Отсчет по шкале компаратора, мм	Расстояние L_N между измерен- ным и начальным штрихом a_0 , мм	Погрешность нанесения N -го интер- вала шкалы объекта измерения, мм
0	a_0	—	—
10	a_{10}	$L_{0_10} = a_{10} - a_0$	$\Delta_{10} = L_{0_10} - 10$
20	a_{20}	$L_{0_20} = a_{20} - a_0$	$\Delta_{20} = L_{0_20} - 20$
.....			
150	a_{150}	$L_{0_150} = a_{150} - a_0$	$\Delta_{150} = L_{0_150} - 150$

Таблица 2.4 – Результаты измерений сантиметровых интервалов шкалы

Наводка на штрих по шкале объекта измерения, мм	Отсчет по шкале компаратора, мм	Расстояние между штрихами в сантиметровом интервале, мм	Погрешность нанесения сантиметровых интервалов шкалы объекта измерения, мм
0	a_0	—	—
10	a_{10}	$L_{0_{10}} = a_{10} - a_0$	$\Delta_{10} = L_{0_{10}} - 10$
20	a_{20}	$L_{10_{20}} = a_{20} - a_{10}$	$\Delta_{20} = L_{20_{10}} - 10$
.....			
150	a_{150}	$L_{140_{150}} = a_{150} - a_{140}$	$\Delta_{150} = L_{150_{140}} - 10$

Таблица 2.5 – Результаты измерений миллиметровых интервалов шкалы

Наводка на штрих шкалы объекта измерения, мм	Отсчет по шкале компаратора, мм	Расстояние между штрихами в миллиметровом интервале шкалы объекта, мм	Погрешность нанесения миллиметровых интервалов шкалы объекта измерения, мм
0	a_0	—	—
1	a_1	$L_{0_1} = a_1 - a_0$	$\Delta_{0_1} = L_{0_1} - 1$
2	a_2	$L_{1_2} = a_2 - a_1$	$\Delta_{1_2} = L_{1_2} - 1$
.....			
10	a_{10}	$L_{9_{10}} = a_{10} - a_9$	$\Delta_{9_{10}} = L_{9_{10}} - 1$

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- наименование и цель работы;
- назначение, метрологические характеристики и конструкцию прибора;
- анализ действующих ошибок;
- таблицу результатов измерений;
- вывод.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой принцип компоновки основных элементов заложен в конструкцию компаратора.
2. Опишите устройство и конструктивные особенности горизонтального компаратора.
3. Опишите оптические схемы отсчётного и визирного микроскопа компаратора.
4. Назовите основные источники возникновения погрешности измерения компаратора.
5. Что предусмотрено для уменьшения температурной погрешности компаратора?
6. Назовите величину допускаемой погрешности нанесения шкалы штанги штангенциркуля.
7. Опишите методику измерения на горизонтальном компараторе.
8. Имеет ли место в компараторе ошибка схемы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ

УГЛОМЕРНЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы: ознакомление с конструкцией угломерных приборов (уровней), а также получение навыков проведения измерений малых угловых размеров и выявления действующих ошибок механизмов угломерных приборов.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРЕ

1.1. Назначение и метрологическая характеристика прибора

Уровень – прибор, предназначенный для контроля положения линий и плоскостей в пространстве, а также для измерения малых углов наклона.

Основным элементом уровня является ампула, закрепленная в корпусе прибора и представляющая собой стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой изогнута по дуге определенного радиуса (рис. 3.1.). Наполнитель ампулы по ГОСТ 2386–73 зависит от цены деления и температурного диапазона условий измерений. Это может быть этиловый ректифицированный спирт, этиловый наркозный этил и др.

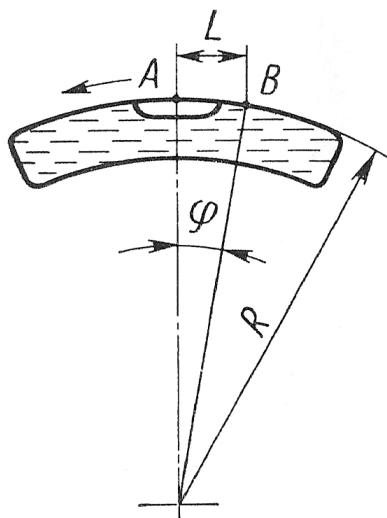


Рисунок 3.1 – Схема ампулы

Ампулу наполняют жидким наполнителем и оба конца ее запаивают, оставляя внутри небольшое количество воздуха. Поверхность жидкости стремится занять горизонтальное положение, а пузырек – наивысшее, поскольку при наклоне уровня шкала будет перемещаться относительно находившегося всегда в верхнем положении пузырька. Поворот ампулы на угол φ вызывает перемещение шкалы, относительно пузырька на величину L .

Значение L зависит не только от угла наклона φ , но и от радиуса кривизны R ампулы.

Между этими основными размерами ампулы существует математическая зависимость:

$$\varphi = \frac{L}{R} \rho,$$

где $\rho = 1 \text{ рад} = 206265''$.

Длина деления шкалы $L = 2$ мм. Ценой деления уровня является нейтральный, соответствующий одному делению шкалы, угол дуги заданного радиуса R или угол, на который надо наклонить уровень, чтобы его пузырек переместился на одно деление шкалы L . Цена деления уровня выражается в угловых секундах или минутах или же в миллиметрах на 1 м. Ампулы изготавливают с номинальной ценой деления: свыше $1'$ – малой точности, свыше $2''$ до $1'$ – средней точности и до $2''$ – высокой точности.

Важным параметром уровня является его чувствительность.

ГОСТ 2386–73 нормирует порог чувствительности ампулы, определяемый минимальным углом наклона ампулы, при котором перемещение пузырька становится заметным при наблюдении невооруженным глазом. Этот наклон должен выражаться углом, не превышающим не превышающим 15% цены деления для всех ампул, кроме круглой, а для круглой – 20%.

Порог чувствительности ампулы зависит от ее цены деления, качества шлифовки внутренней поверхности, чистоты последней, длины пузырька, температуры и свойств наполнителя.

По конструктивным признакам ампулы бывают следующих типов:

–АК - круглые ампулы малой точности со шкалой в виде concentрических круговых рисок;

–АЦП - цилиндрические простые ампулы и средней точности со штриховой шкалой или перекрестием в центре (вместо шкалы);

–АЦК - цилиндрические компенсированные ампулы средней и высокой точности со штриховой шкалой, несимметричной шкалой или перекрестием в центре (вместо шкалы). В качестве компенсатора, который позволяет уменьшить влияние температуры на длину пузырька, служит трубка из молотого стекла, заплавленная и закругленная с обоих концов;

–АЦР - цилиндрические регулируемые (камерные) ампулы средней точности со штриховой шкалой. Внутри ампулы с помощью стеклянной перегородки образована камера, которая служит для уменьшения длины пузырька при повышении температуры или увеличения при понижении температуры.

Конструкция ампул типа АК должна соответствовать указанной на рис. 3.2, а). Расположение круговых рисок на ампуле должно соответствовать рис. 3.2, б-г.

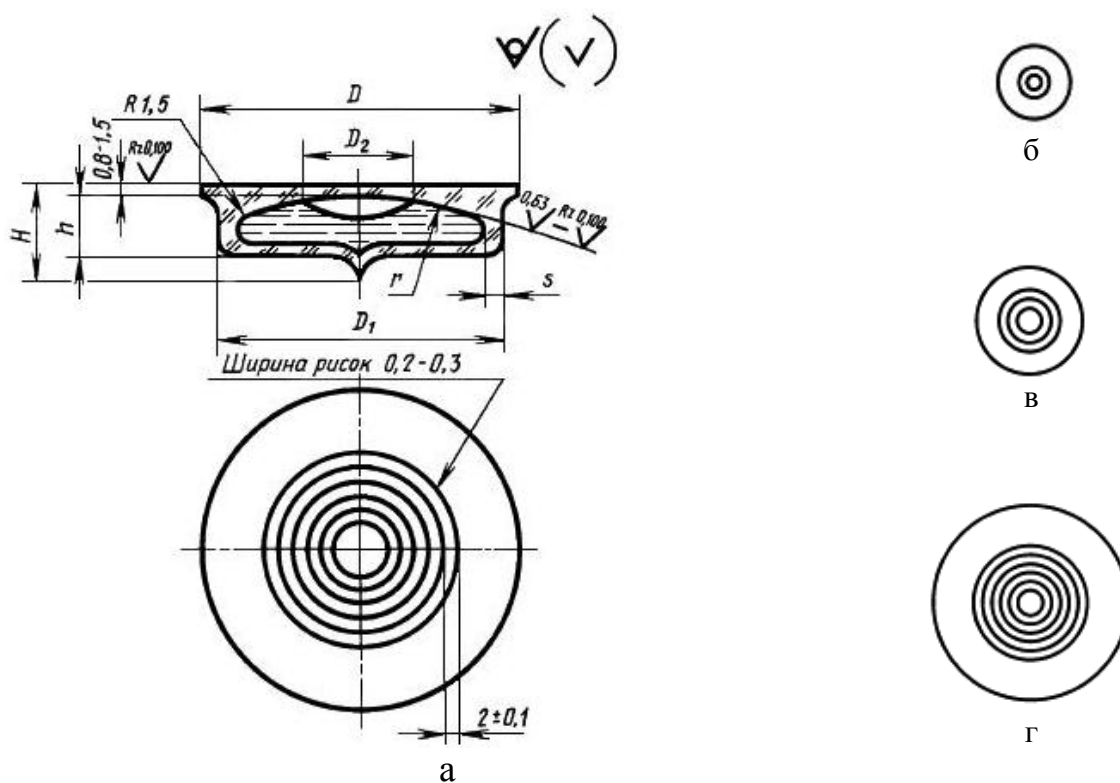


Рисунок 3.2 – Ампула круглая

Конструкция ампул типа АЦП должна соответствовать указанной на рис. 3.3, а. Расположение штрихов на ампуле приведено на рис. 3.3, б.

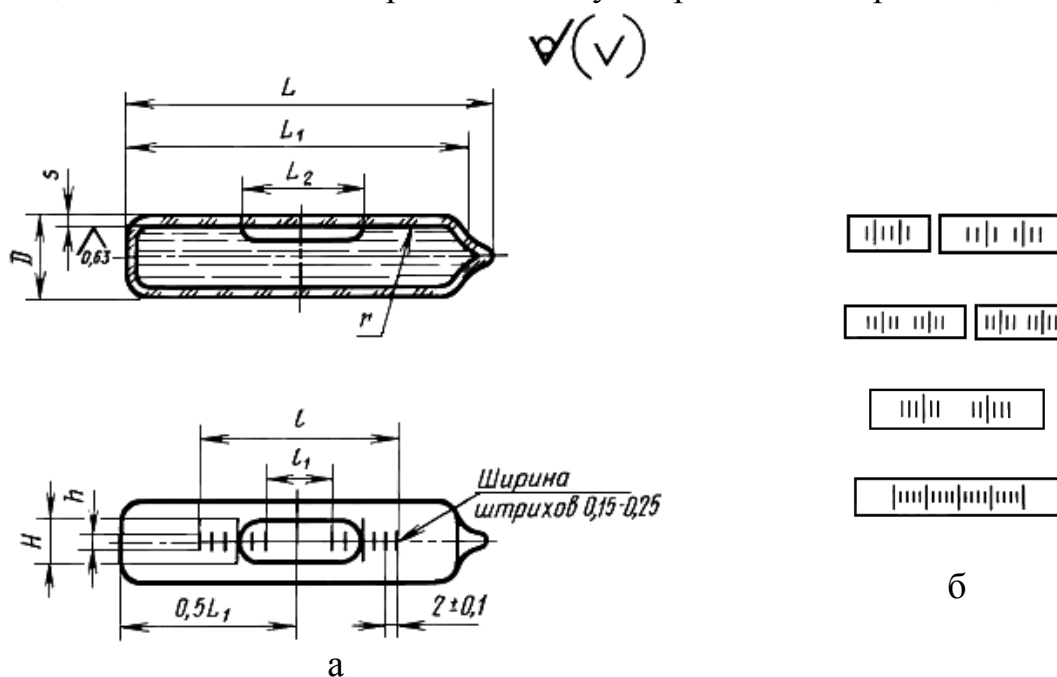


Рисунок 3.3 – Ампула цилиндрическая простая

Конструкция ампул типа АЦК должна соответствовать указанной на рис. 3.4, а. На рис. 3.4, б приведено расположение штрихов на ампуле. На рис. 3.4, в показан вид несимметричной шкалы.

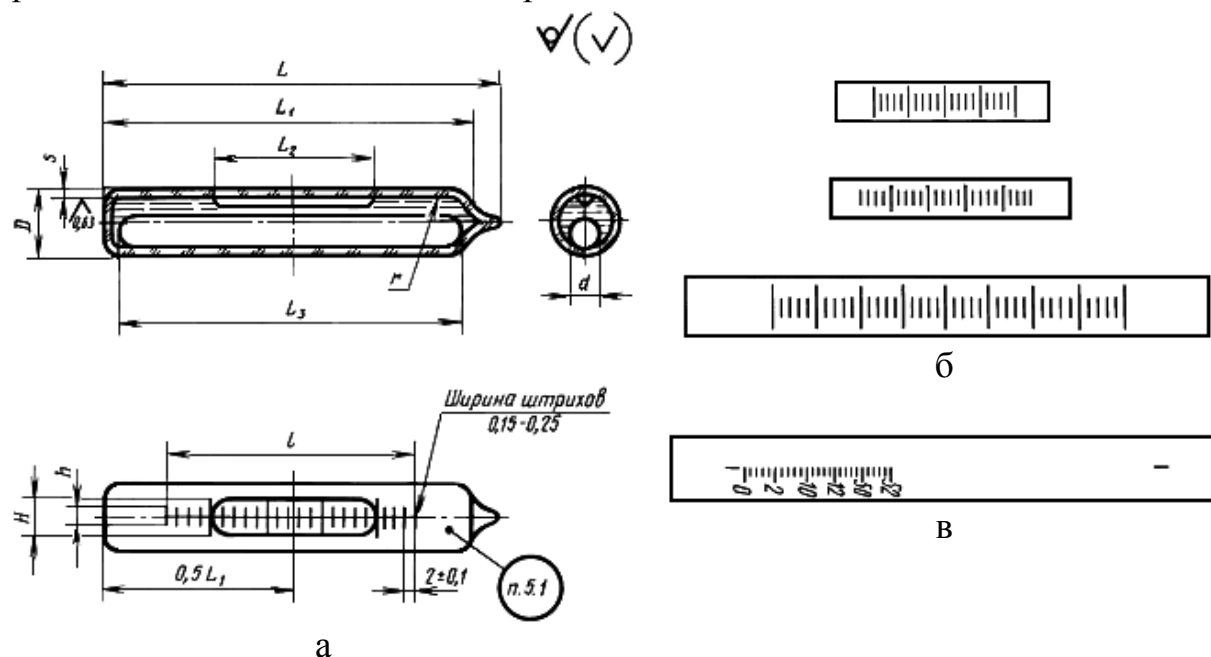


Рисунок 3.4 – Ампула цилиндрическая компенсированная

Конструкция ампул типа АЦР должна соответствовать указанной на рис. 3.5, а. Расположение штрихов на ампуле приведено на рис. 3.5, б. Допускается зеркальная оцифровка шкал.

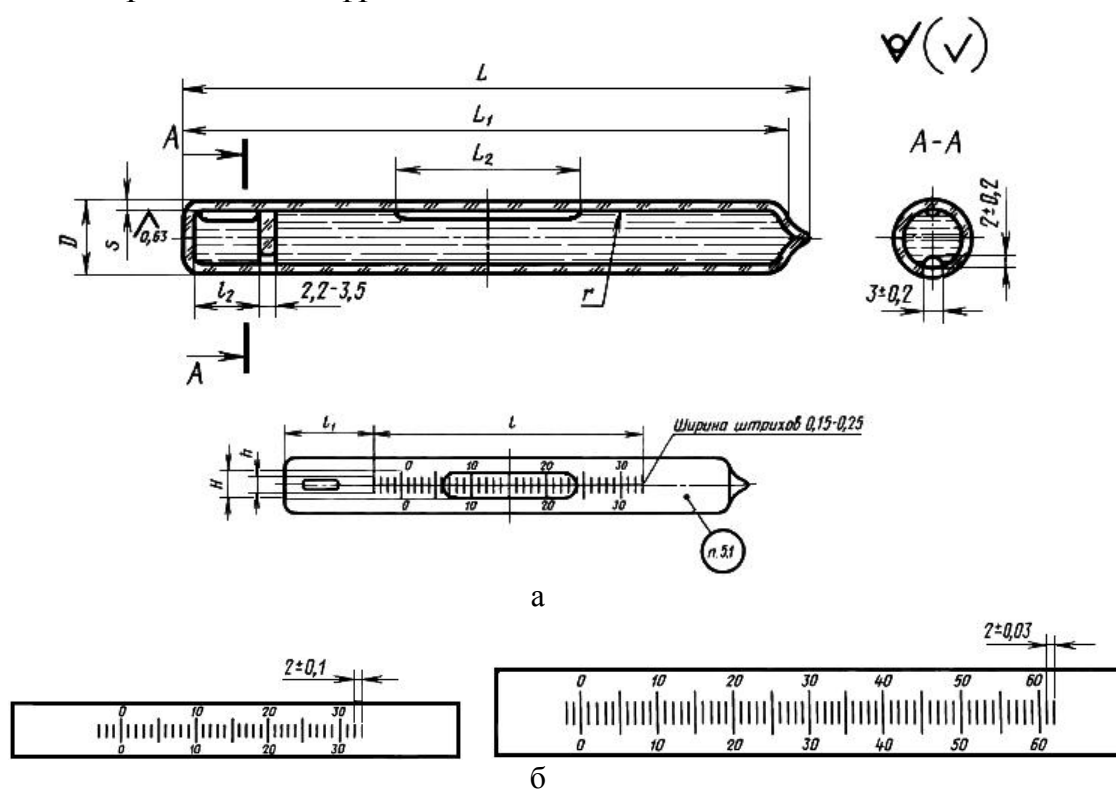


Рисунок 3.5 – Ампулы цилиндрические регулируемые

В машино- и приборостроении наиболее часто применяется следующие группы уровней:

- технические уровни (установочные, брусковые, рамные);
- уровни с микрометрической подачей ампулы;
- электронные и электроиндуктивные уровни.

Конструкция некоторых уровней будет рассмотрена ниже.

1.2. Описание конструкций и принципа действия

Устройство и конструкция брусковых уровней

Брусковые уровни предназначены для контроля горизонтального расположения поверхностей при монтаже и поверке точности станков и других видов оборудования. Технические требования на брусковые уровни регламентируются ГОСТ 9392–89. По конструктивным признакам брусковые уровни делятся на нерегулируемые (рис. 3.6, б) и регулируемые модели (рис. 3.6, а). У нерегулируемых брусковых уровней ампулу устанавливают в корпусе с помощью клиньев и заливают твердым составом. У регулируемых брусковых уровней ампула 1 установлена в корпусе 2. Правый конец корпуса 2 через плоскую пружину 3 крепится винтом 4 к корпусу 5. Левый конец корпуса ампулы 2 опирается на пружину 6 и прижимается винтом 7, который служит для регулирования уровня. Уровень имеет поперечную ампулу 8. В корпусе 5 над пузырьком ампулы закреплена шкала 9.

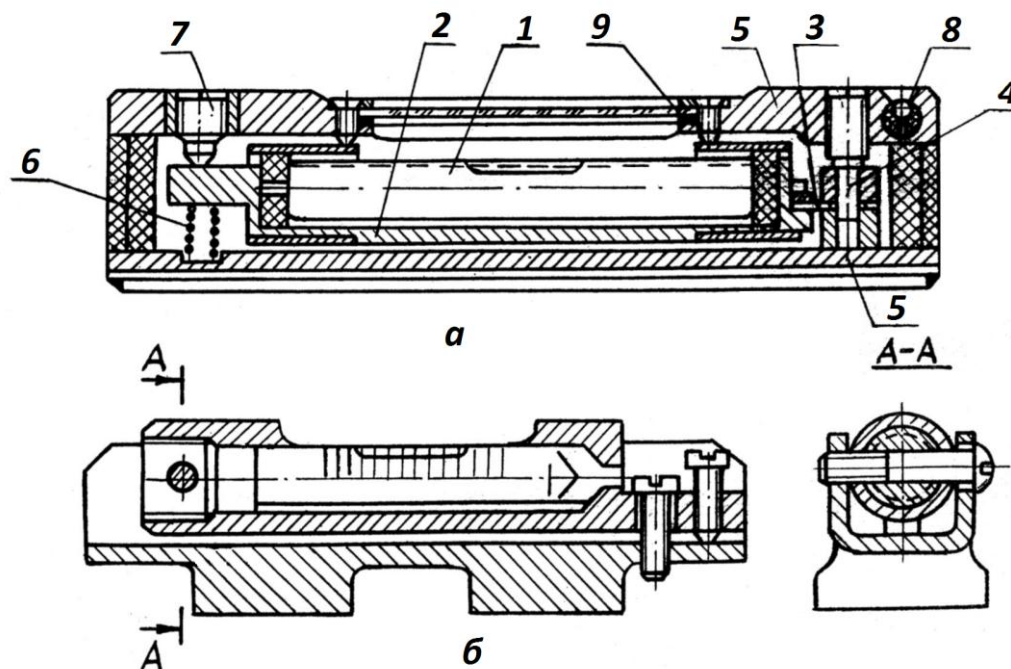


Рисунок 3.6 – Конструкция брускового уровня

Устройство и конструкция рамного уровня

Рамные уровни предназначены для контроля горизонтального и вертикального положения поверхностей при монтаже и проверки точности установки и других видов оборудования.

На рис. 3.7 изображен рамный регулируемый уровень, который имеет две ампулы: основную (продольную) 1 и установочную (поперечную) 2. Положение продольной ампулы регулируется винтом 3. В рамном уровне (рис. 3.1) корпус 4 выполнен в виде квадрата. Призматические выемки имеются в нижней, верхней и одной из боковых измерительных поверхностей.

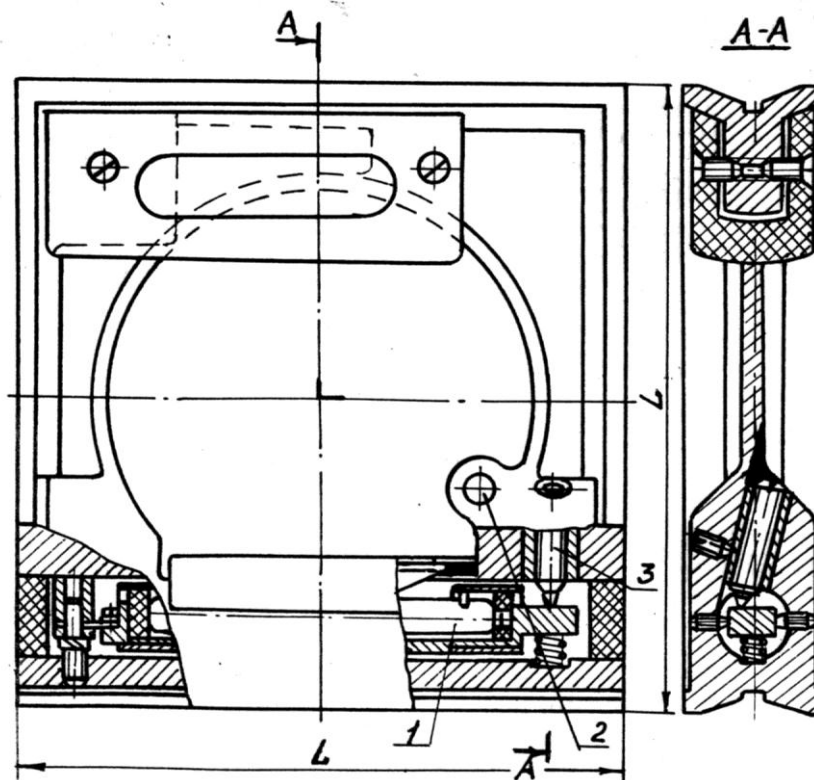


Рисунок 3.7 – Рамный уровень

Устройство и конструкция уровня с микрометрической подачей ампулы

В соответствии с ГОСТ 11196–74 эти уровни изготавливают двух типов: с ценой деления 0,01 мм/м (2") и пределами измерений не менее ± 10 мм/м ($\pm 34'$) и с ценой деления 0,1 мм/м (20") и пределами измерений не менее ± 30 мм/м ($\pm 1^\circ 43'$).

Для выполнения лабораторной работы необходимо ознакомиться с конструкцией микрометрического уровня типа II завода «Калибр», показанного на рис. 3.8. При вращении барабана 1 с микровинтом 2 корпус 3 ампулы 4 поворачивается относительно оси Х-Х. Показание уровня отсчитывается по шкале микрометрической головки и по ампуле. Уровень имеет ампулу типа АЦР.

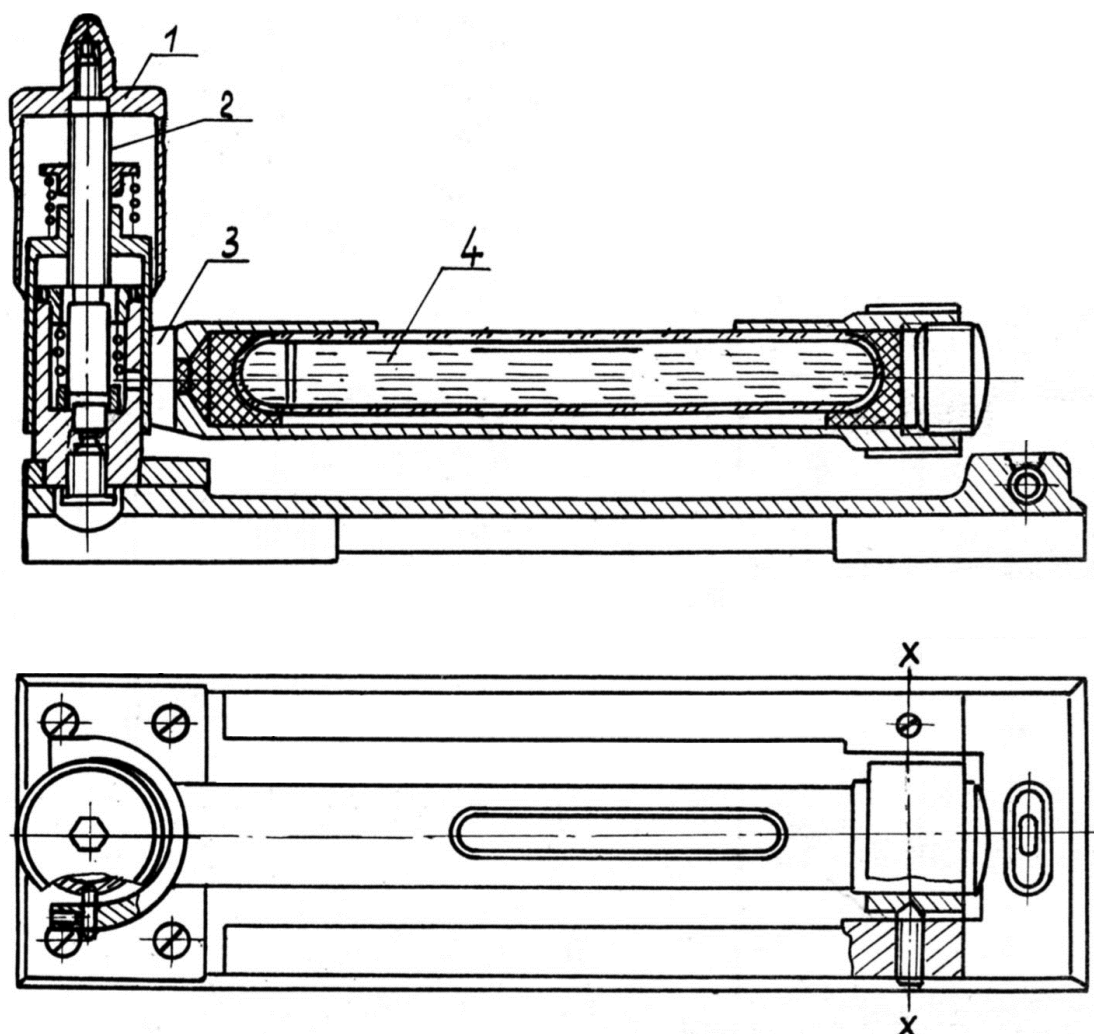


Рисунок 3.8 – Уровень с микрометрической подачей ампулы

Устройство и конструкция электронного уровня модели 123 завода "Калибр"

Уровень электронный предназначен для дистанционного измерения углов наклона поверхностей относительно горизонта или условно принятой базовой поверхности.

Диапазон измерений, дискретность отсчёта и предел допускаемой погрешности должны соответствовать табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Метрологические характеристики электронного уровня мод. 123

Диапазон измерения	Дискретность отсчёта	Предел допустимой погрешности
2000" ($\pm 1000''$)	1"	$\pm(1''+0,01\alpha\chi)$
4000" ($\pm 2000''$)	2"	$\pm(2''+0,01\alpha\chi)$
10000" ($\pm 5000''$)	5"	$\pm(5''+0,01\alpha\chi)$

$\alpha\chi$ - угол между измеряемой и базовой поверхностями.

Основными составными частями уровня (рис. 3.9) является: преобразователь 1, блок электронный 2 и шланг соединительный 3. Преобразователь 1 уровня служит для преобразования угла наклона измеряемой поверхности в электрическую величину.

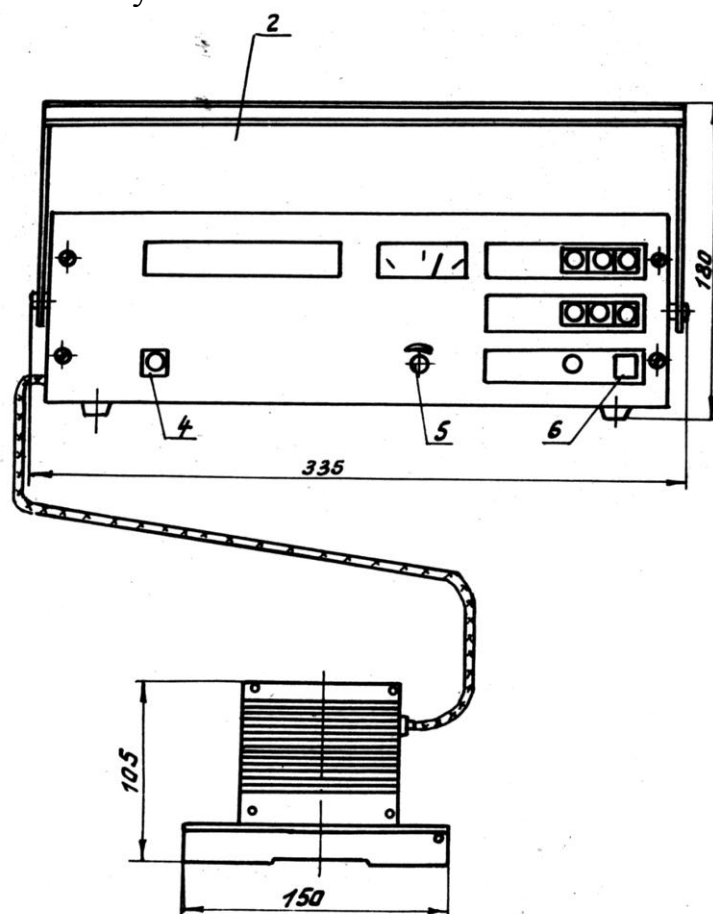


Рисунок 3.9 - Электронный уровень модели 123 завода «Калибр»

Конструкция электронного уровня представлена на рис. 3.10. Преобразователь состоит из измерительного механизма и призматического основания. Измерительный механизм собран в коробчатом сборном корпусе, состоящем из плит 1, 2 и щек 3. Корпус при помощи четырех стоек 4 и 5 прикреплен к основанию 6. Внутри корпуса на проволоочной подвеске закреплена рамка 7. Подвеска рамки выполнена в виде пяти бронзовых проволоочек толщиной 0,1 мм и прикрепленных к рамке 7 и плите 1 при помощи накладок 9, 10, покрытых с внутренней стороны оловом для предохранения проволоочек от смятия. Висящая на подвеске рамка 7 может свободно качаться как маятник в продольном направлении. Положение равновесия рамки соответствует нулевому положению. Для защиты проволоочек от обрыва рамка 7 окружена со всех сторон ограничителями, установленными с небольшими зазорами. Поэтому под действием инерционных сил, действующих на рамку, проволоочки растягиваются только на величину этого зазора. Рабочий ход рамки ограничен рычагами 11.

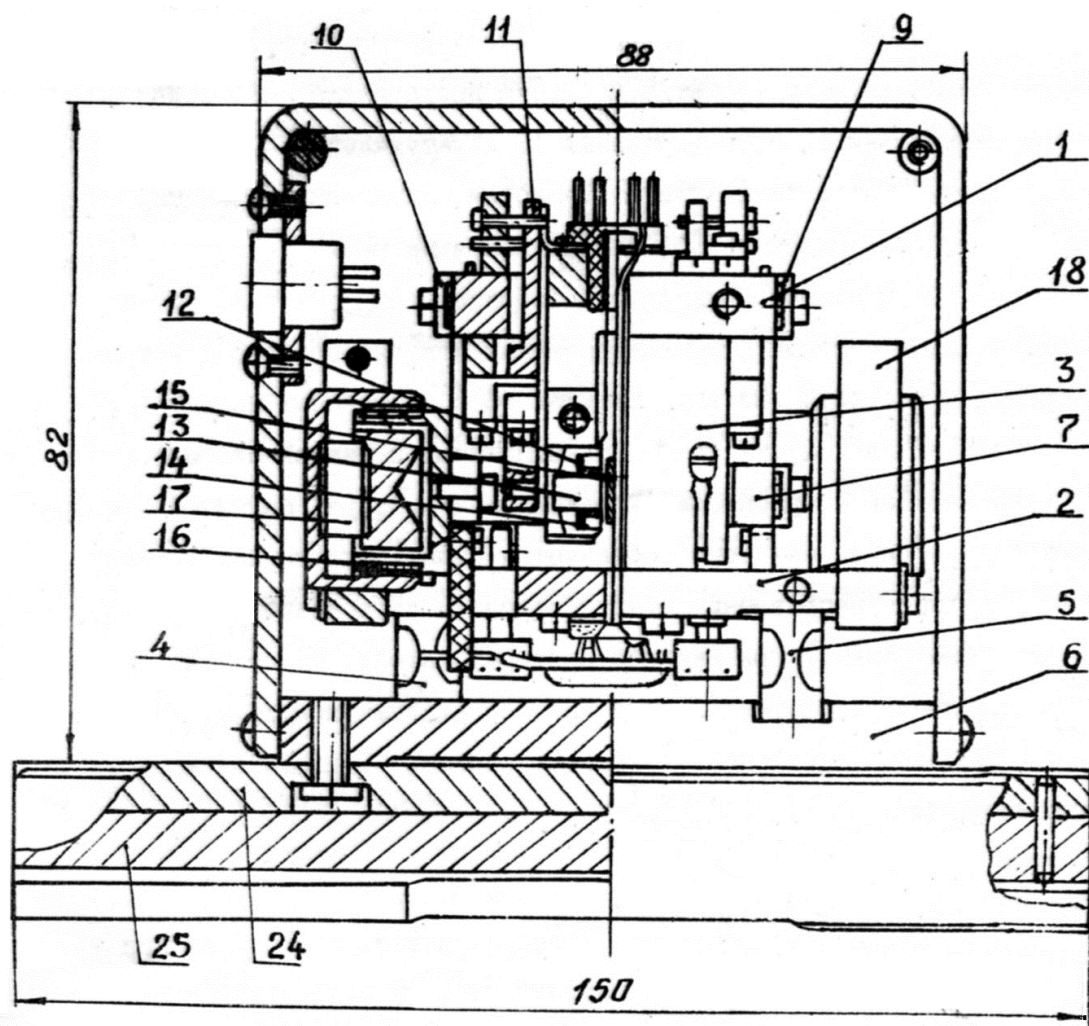


Рисунок 3.10 – Конструкция электронного уровня

Положение рамки относительно корпуса регистрируется индуктивным датчиком, статор которого представляет собой две ферритовые чашки 12 с сердечниками 13 и катушками 14, расположенные в корпусе на верхней плите 1. Якорем индуктивного датчика является ферритовая пластина 15, закрепленная на рамке 7.

В измерительном механизме преобразователя имеется магнитоэлектрическая система, предназначенная для силового воздействия на рамку и состоящая из двух катушек 16 и постоянных магнитов 17, установленных в хомутах 18 и прикрепленных к нижней плите 2. Обмотки катушек 16 расположены в кольцевых зазорах магнитов, и при прохождении через них тока образуется сила, приложенная к рамке 7 в продольном направлении, алгебраически складывающаяся с силой, отклоняющей рамку 7 при наклоне преобразователя. Измерительный механизм преобразователя закрыт кожухом и двумя крышками, которые выполняют роль магнитного экрана, основание 6 является магнитным экраном.

Призматическое основание преобразователя состоит из призмы 25 и

переходной пластины 24, жестко закрепленной к измерительному механизму.

Электронный уровень представляет систему автоматического регулирования, обеспечивающую постоянство положения магнита относительно корпуса преобразователя, устанавливаемого на измеряемую поверхность.

Положение рамки контролируется индуктивным датчиком, сигнал с которого поступает в систему автоматического регулирования.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы электронного, брускового, рамного и микрометрического уровней.

2. Отрегулировать горизонтальное положение плоскости I и колонки 1 (рис. 3.11) с помощью брускового уровня, устанавливая уровень на плоскость стойки последовательно в продольном (х–х) и поперечном (у–у) направлениях и добиваясь регулировкой опор 3 центрального положения пузырька в ампуле.

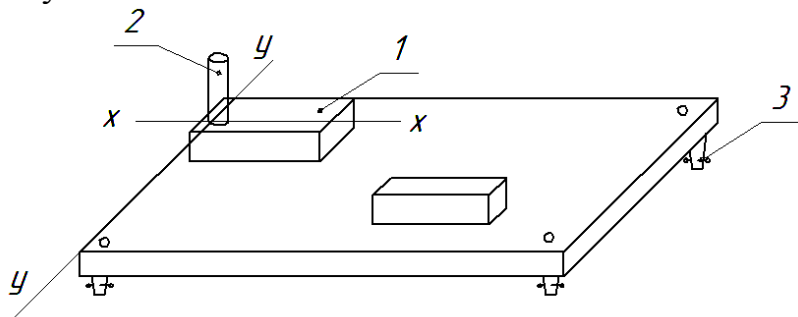


Рисунок 3.11 – Схема измерения

Показания прибора $A_{1(X-X)} = 0$; $A_{1(Y-Y)} = 0$ занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты измерений

Измеряемый параметр	Показания приборов									
	Брусковый уровень A_1		Рамный уровень A_2		Микрометр. уровень A_3		Электрон. уровень A_0		Ошибка измерения ΔA_i	
	X – X	Y – Y	X – X	Y – Y	X – X	Y – Y	X – X	Y – Y	X – X	Y – Y
Отклонение от горизонтальности базовой плоскости										
Отклонение от вертикальности колонки 2	–	–		–	–	–	–	–		

3. Измерить отклонение от горизонтальности отрегулированной плоскости I с помощью рамного уровня, устанавливая его поочерёдно в продольном ($X - X$) и поперечном ($Y - Y$) направлениях. Показания прибора $A_{2(X-X)}$, $A_{2(Y-Y)}$ занести в табл. 3.2.

Проделать операцию 3 с помощью микрометрического и электронного уровней.

4. Измерить рамным уровнем отклонения от вертикальности B_2 колонки 2, накладывая и прижимая измерительную вертикальную плоскость рамного уровня к поверхности колонки 2.

5. По показаниям рамного уровня определить отклонение от перпендикулярности плиты 1 и колонки 2.

$$P = A_{2(X-X)} - B_2.$$

6. Определить погрешность измерения уровней (брускового, рамного, микрометрического), принимая за действительное значение отклонения от горизонтальности показания электронного уровня $A_{0(X-X)}$, $A_{0(Y-Y)}$

$$\Delta A_{1(X-X)} = A_{1(X-X)} - A_{0(X-X)},$$

$$\Delta A_{1(Y-Y)} = A_{1(Y-Y)} - A_{0(Y-Y)},$$

где $i = 1, 2, 3$.

Полученные результаты вычислений погрешности занести в табл. 3.2.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- наименование и цель работы;
- упрощённое изображение уровней;
- таблицы экспериментальных данных;
- расчёты погрешностей измерения различных уровней;
- вывод.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и устройство уровней.
2. Цена деления шкалы уровней различных конструкций.
3. Значения метрологических показателей точности уровней различных конструкций.
4. Методика измерений угловых параметров с помощью уровней различных конструкций.
5. Перечислите источники возникновения погрешности измерения?
6. Имеет ли место ошибка схемы и причины ее возникновения?
7. Какие типы ампул существуют их характеристики и применение?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РЫЧАЖНО-ЗУБЧАТЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК И ИХ АНАЛИЗ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией приборов, научиться составлять структурную схему механизма и выводить функцию положения действительного механизма, научиться выявлять действующие ошибки механизма прибора.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРАХ

Измерительными головками называют измерительные приборы, преобразующие малые перемещения измерительного щупа в большие перемещения стрелки по шкале. Измерительные головки используются в основном для относительных измерений, замера отклонений, неровностей, биений поверхностей валов.

Наибольшее распространение получили индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые измерительные головки, многооборотные индикаторы и др.

Конструкции и принцип действия некоторых из них рассмотрим ниже.

2. Назначение, устройство и конструкции приборов.

Индикаторы часового типа

Индикатор часового типа – измерительный прибор, предназначенный для абсолютных и относительных измерений и контроля отклонений от заданной геометрической формы детали, а также взаимного расположения поверхностей.

Кинематическая схема индикатора часового типа представлена на рис. 4.1.

В цилиндрическом корпусе размещена реечно-зубчатая и шестерёнчатые передачи, преобразующие возвратно-поступательное движение измерительного стержня во вращательное движение стрелки прибора. В конструкцию индикатора входит пружина, исключая люфты шестерённых передач, то есть зацепление зубчатых колёс происходит всегда с одной стороной профиля зубьев. Шкала прибора выполнена поворачивающейся, это удобно для установки нуля показаний при выполнении относительных измерений.

Стрелка индикатора чаще всего – многооборотная, один оборот стрелки соответствует перемещению щупа на 1 мм. В некоторых моделях на приборе имеется вторая стрелка и малый циферблат, который показывает количество полных оборотов большой стрелки.

Наиболее распространены индикаторы с ценой деления 0,01 мм, поскольку большую точность трудно обеспечить реечно-зубчатой передачей.

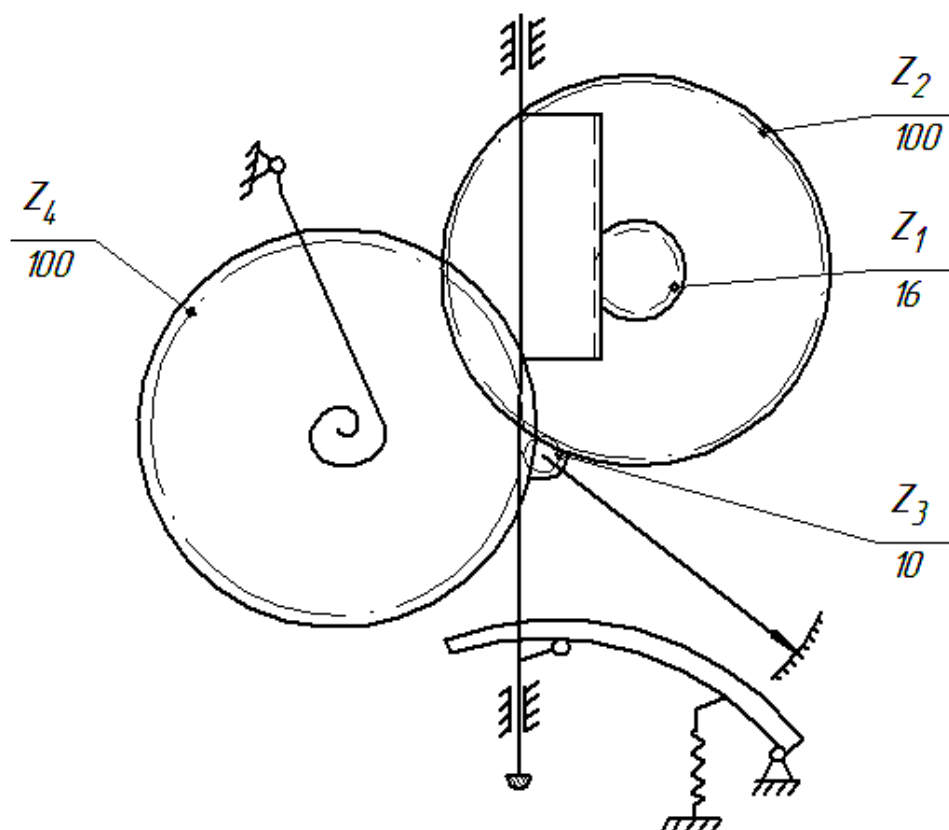


Рисунок 4.1 – Кинематическая схема индикатора часового типа

На рабочем конце измерительного стержня большинства моделей находится твердосплавный шарик в сменной оправе, которым при измерении касаются измеряемой детали. Механизм индикатора имеет возвратную пружину, закрепленную между корпусом индикатора и стержнем. Эта пружина создает измерительное усилие на стержне.

Таблица 4.1 – Метрологические характеристики индикатора часового типа ИЧ-10

Метрологические характеристики	кл. 0	кл. 1
Диапазон измерений прибора, мм	0 – 10	0 – 10
Цена деления, мм	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
Основная погрешность средства измерений, мм		
на участке 0,1 мм	$\pm 0,004$	$\pm 0,006$
на участке 1 мм	$\pm 0,008$	$\pm 0,010$
на всем диапазоне измерений	$\pm 0,015$	$\pm 0,020$

Порядок работы с индикатором

Измерительный стержень вручную поднимается, на основание под индикатором помещается эталон. Измерительный стержень опускается на поверхность эталона, шкала индикатора перемещается на нулевую отметку. Затем под индикатором помещается измеряемая деталь. Измерительный стержень опускается на поверхность детали, шкала индикатора пока-

зывает насколько (в сотых долях миллиметра) размеры измеряемой детали отличаются от эталонной.

Рычажно-зубчатые измерительные головки

Рычажно-зубчатые измерительные головки изготавливаются двух моделей: ИГ с ценой деления 0,001 мм и ИГ с ценой деления 0,002 мм. Эти головки применяются при точных измерениях вместо индикаторов часового типа.

Кинематическая схема рычажно-зубчатой измерительной головки ИГ представлена на рис. 4.2.

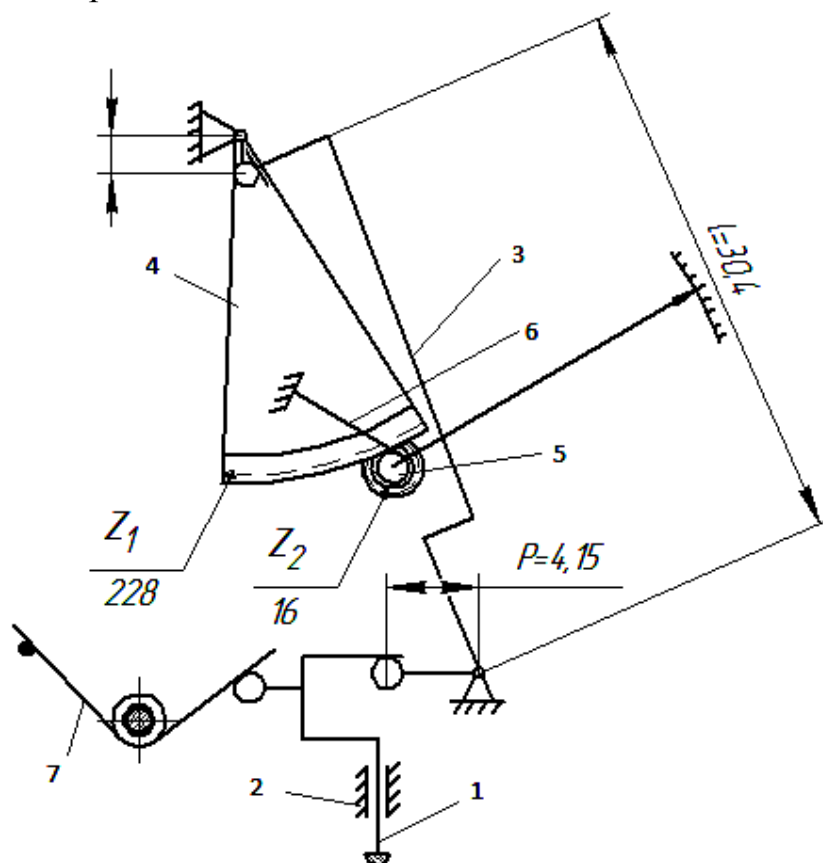


Рисунок 4.2 – Кинематическая схема рычажно-зубчатой измерительной головки ИГ

В измерительной головке применен механизм с двумя рычажными и одной зубчатой передачами. При перемещении измерительного стержня 1 в двух направляющих втулках 2, закрытых корпусом, происходит поворот рычага 3, который воздействует на рычаг 4, имеющий на большом плече зубчатый сектор, входящий в зацепление с зубчатым колесом 5. На оси колеса расположена стрелка и втулка, связанная с волоском 6, выбирающим «мертвый ход». Пружина 7 создает измерительное усилие. Головка снабжена указателями поля допуска и встроенным арретирующим устройством (отводное устройство, с помощью которого поднимается измерительный

стержень перед тем, как подвести под него измеряемое изделие). Когда пользуются арретиром, то положение самой измерительной головки остается неизменным. Основой механизма головки являются две неравноплечих рычажных пары и одна зубчатая пара.

Сочетание рычажной и зубчатой передачи используется не только с целью уменьшения цены деления прибора до 0,001 мм, но также и для образования малогабаритных рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм. Индикаторы этого типа удобны для определения отклонений от правильной геометрической формы изделий в труднодоступных местах деталей.

Таблица 4.2 – Метрологические характеристики головок измерительных рычажно-зубчатых

Метрологические характеристики	2 ИГ	1 ИГ
Диапазон измерений прибора, мм	0,2	0,1
Цена деления, мм	0,002	0,001
Основная погрешность средства измерений, мм на участке ± 30 делениях	$\pm 0,0007$	$\pm 0,0004$
на всем диапазоне измерений	$\pm 0,0012$	$\pm 0,0008$

Многооборотная рычажно-зубчатая измерительная головка МИГ

Индикатор рычажно-зубчатый многооборотный типа МИГ предназначен для измерения отклонений формы и расположения поверхностей и для измерения размеров деталей в труднодоступных местах.

Предназначены для линейных измерений методом, как непосредственной оценки, так и сравнения с мерой. Применяются как в измерительной стойке, так и в различных контрольных и измерительных приборах и приспособлениях с присоединительным размером диаметром 8 мм.

Таблица 4.3 – Метрологические характеристики многооборотных индикаторных головок

Метрологические характеристики	2 МИГ	1 МИГ
Диапазон измерений прибора, мм	2,0	1,0
Цена деления, мм	0,002	0,001
Основная погрешность средства измерений, мм: на 1 обороте	$\pm 0,003$	$\pm 0,002$
на 1 мм	$\pm 0,004$	$\pm 0,0025$
на всем диапазоне измерений	$\pm 0,005$	$\pm 0,0025$

Кинематическая схема многооборотной рычажно-зубчатой измерительной головки МИГ с трёхрычажной передачей представлена на рис. 4.3.

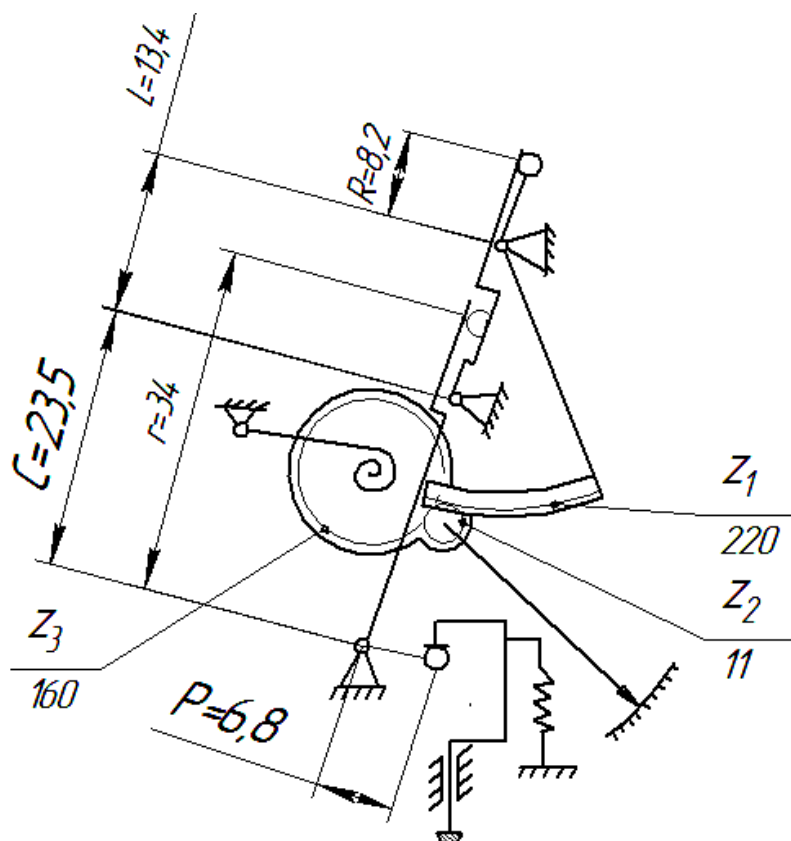


Рисунок 4.3 – Кинематическая схема многооборотной рычажно-зубчатой измерительной головки МИГ

Прибор имеет высокую точность. Ось механизма установлена в корундовых подшипниках. Измерительный стержень выполнен из нержавеющей стали и имеет арретирующее устройство, перемещение которого превышает пределы измерения по шкале. Измерительный наконечник армирован твердым сплавом. Измерение производится контактным методом. Подвижный измерительный стержень базируется на контролируемой поверхности. Перемещение измерительного стержня происходит параллельно шкале индикатора и осуществляется при помощи зубчатых кинематических пар.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь назначением, метрологическими характеристиками, устройством и принципом действия измерительных приборов ИЧ-10, ИГ, МИГ.
2. Ознакомьтесь с кинематическими схемами приборов.
3. Ознакомиться с конструкцией МИГ и произвести разработку прибора.

Устройство приборов представлено специальными планшетами, внутри которых следует осуществлять все необходимые действия. Детали

и крепёж не следует вынимать из планшета, так как это может привести к их утере.

Порядок разборки прибора:

- пинцетом снять с центральной оси, установленную на опорах, стрелку;
- отвёрткой открыть три винта 1*;
- снять верхнюю плату 2, прижимая пинцетом через два отверстия в плате синусно-кулисный рычаг 5, установленный под платой;
- пинцетом снять синусно-кулисный рычаг 5 вместе с осью, предварительно запомнив установку штифта, запрессованного на конце синусно-кулисного рычага;
- пинцетом снять кулисную планку 3 вместе с осью;
- пинцетом из каменной опоры вытащить трубку с осью;
- пинцетом снять зубчатый сектор 4 с осью;
- изучить конструкцию нижней платы и деталей механизма.

*Нумерация деталей согласно простановке её на макете.

4. Соберите конструкцию прибора:

- в опору 5 вставить ось зубчатого сектора 4, развернуть его до упора со штифтом при вращении по часовой стрелке;
- в опору 4 устанавливаем кулисную планку 3 таким образом, чтобы номер позиции был сверху, а планка развернута до соприкосновения штифтов;
- в опору 1 ставим синусно-кулисный рычаг 5 до соприкосновения со штифтом на кулисной планке 3, как показано на рисунке;
- поворачивая зубчатое колесо 7 на 2-3 оборота закручиваем волосок и придерживаем в этом положении зубчатое колесо пинцетом;
- в опору 11 вставляем трубку таким образом, чтобы длинная часть оси была сверху. Колесо 7 продолжаем придерживать пинцетом;
- Аккуратно одеваем верхнюю плату:
 - ось трубки вставляем в концевую опору;
 - ось зубчатого колеса вставляем в каменную опору II;
 - ось зубчатого сектора подводим пинцетом и вставляем в каменную опору Y;
 - ось кулисной планки подводим пинцетом и вставляем в каменную опору Y, IY;
 - ось синусно-кулисного рычага подводим и вставляем в каменную опору I.

Примечание: В предложенных конструкциях арабскими цифрами 1, 2, 3 обозначены позиции деталей или сборочных единиц узлов.

Римскими цифрами I – Y каменные опоры.

ВНИМАНИЕ: Детали при разборке не вынимать из коробки.

5. Проверьте взаимодействие частей прибора.

6. Нарисуйте кинематические схемы приборов.

7. Опишите словами работу механизмов в последовательности передачи движения от наконечника до стрелки.

8. Разработать структурные схемы механизмов.

При построении структурной схемы механизмов необходимо задаться буквенными обозначениями перемещений и над каждой стрелкой, обозначающей передачу измерительного сигнала, проставить в нужной последовательности соответствующие буквенные обозначения.

Пример составления структурной схемы механизма представлен на рис. 4.4.

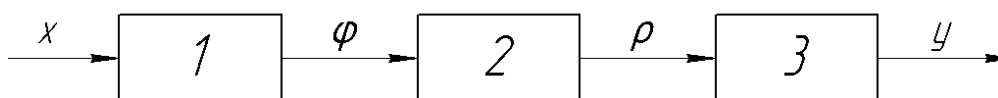


Рисунок 4.4 – Пример выполнения структурной схемы

9. Вывести функции положения механизма прибора для рассматриваемых приборов.

Для составления функции положения механизма прибора необходимо вывести функции положения элементарных механизмов, которые имеют место в рассматриваемом приборе.

Допустим, что для механизма, представленного структурной схемой (рис. 4.4) функции положений элементарных механизмов имеют вид

$$y = \rho \cdot \alpha \quad (1)$$

$$\rho = \frac{R}{r} \cdot \varphi \quad (2)$$

$$\varphi = \arcsin \frac{x}{a} \quad (3)$$

Осуществляем последовательную подстановку формул (3) и (2) в (1) получим

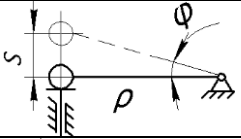
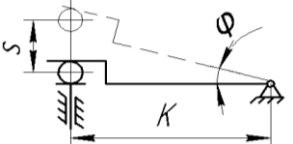
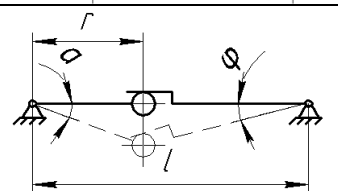
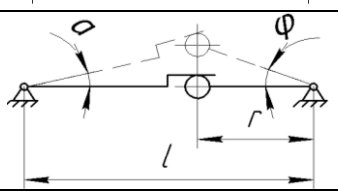
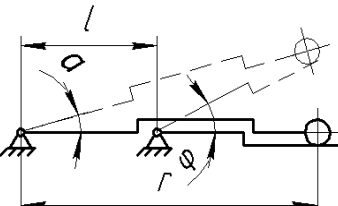
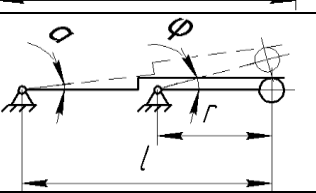
$$y = \alpha \cdot \frac{R}{r} \cdot \arcsin \frac{x}{a} \quad (4)$$

В табл. 4.4 представлены схемы элементарных механизмов и соответствующие им функции положения.

10. Сделайте эскизы 5 деталей.

11. Проведите анализ действующих ошибок механизма.

Таблица 4.4 – Функции положения элементарных механизмов

	Схема	Функция положения механизма	Разложение ФП в степенной ряд
1		$\varphi = \arcsin \frac{S}{\rho}$	$\varphi = \frac{S}{\rho} + \frac{1}{6} \frac{S^3}{\rho^3}$
2		$\varphi = \arctg \frac{S}{K}$	$\varphi = \frac{S}{K} - \frac{1}{3} \frac{S^3}{K^3}$
3		$\varphi = \arctg \left(\frac{2 \sin \alpha}{l - \cos \alpha} \right)$	$\varphi = \frac{r}{l-r} \cdot \alpha - \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{r}{l-r} \right)^3 + \frac{1}{2} \left(\frac{r}{l-r} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{r}{l-r} \right) \right] \alpha^3$
4		$\varphi = \arcsin \left(\frac{l}{r} \sin \alpha \right) - \alpha$	$\varphi = \left(\frac{1}{r} - 1 \right) \alpha + \frac{1}{6} \left(\frac{l^3}{r^3} - 1 \right) \alpha^3$
5		$\varphi = \arctg \left(\frac{r \sin \alpha}{r \cos \alpha - l} \right)$	$\varphi = \frac{r}{r-l} \cdot \alpha \left[\frac{1}{3} \left(\frac{r}{r-l} \right)^3 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{r-l} \right)^2 + \frac{1}{6} \cdot \frac{r}{r-l} \right] \alpha^3$
6		$\varphi = \arcsin \left(\frac{l}{r} \sin \alpha \right) + \alpha$	$\varphi = \left(\frac{l}{r} + 1 \right) \alpha + \frac{1}{6} \left(\frac{l^3}{r^3} + 1 \right) \alpha^3$

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- наименование и цель работы;
- структурные и кинематические схемы приборов;
- описание принципов действия механизмов;
- функции положения механизмов;
- анализ действующих ошибок;
- эскизы 5 деталей;
- вывод.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется угловым передаточным отношением?
2. Покажите последовательность передачи измерительного импульса.
3. Что называется линейным передаточным отношением?
4. Что такое чувствительность прибора?
5. Будет ли иметь данный прибор ошибку схемы?
6. Укажите узлы регулирования ошибки схемы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА УВЕРСКОГО

Цель работы: ознакомление с конструкцией и оптической схемой контактного интерферометра Уверского и принципом его работы, а также получение навыков проведения измерений и выявления действующих ошибок механизма прибора.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРЕ

1.1. Назначение и метрологическая характеристика прибора

Контактный интерферометр ИКПВ (Уверского) предназначен для контроля плоскопараллельных концевых мер и особо точных деталей относительным методом.

1.2. Описание конструкции и принципа действия

Создание интерференционной картины во всех интерференционных приборах основано на принципе деления пучка лучей на несколько пучков (два или более), которые после прохождения внутри оптической системы по разным путям снова сводятся в один пучок.

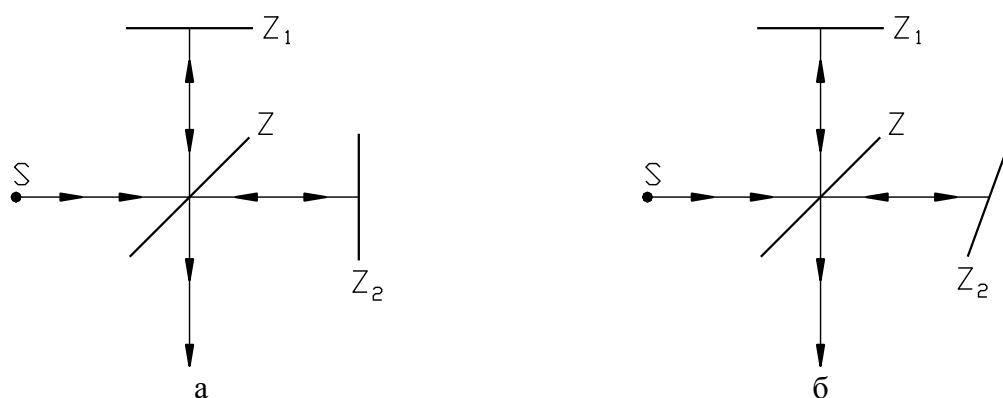


Рисунок 5.1 – Схема интерферометра Майкельсона

На рис. 5.1, а, б показана интерференционная схема Майкельсона, на рис. 5.1, а – схема для наблюдения полос равного наклона, концентрических светлых и темных колец; на рис. 5.1, б – схема полос равной толщины, параллельных ребру воздушного клина, образованного отражающими зеркалами Z_1 и Z_2 . Разделение пучка на два производится с помощью полупрозрачной плоскопараллельной пластинки Z .

Прибор построен по интерференционной схеме Майкельсона.

Свет от источника света 9 (рис. 5.2, а), расположенного в фокальной плоскости конденсора 8, проходит через этот конденсор и параллельным пучком направляется на щель 7.

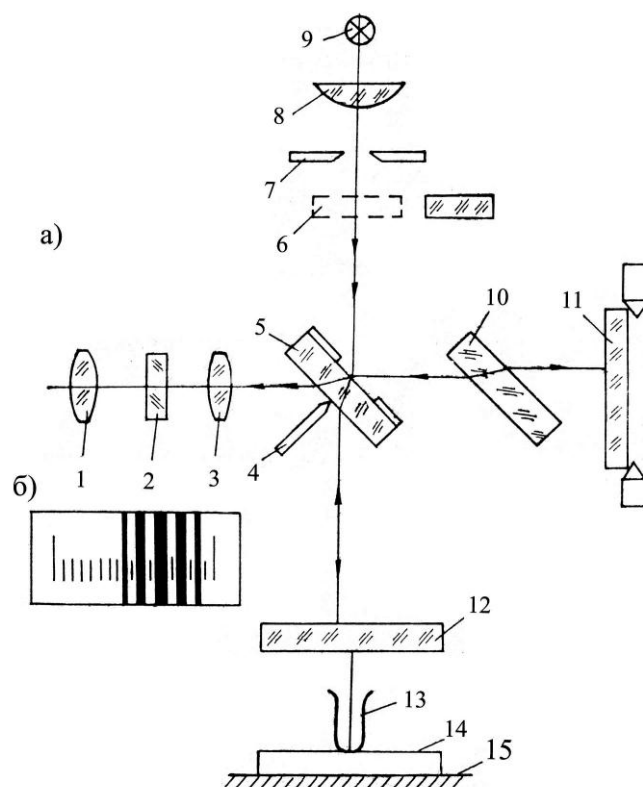


Рисунок 5.2 – Схема контактного интерферометра Уверского

За щелью располагается интерференционный светофильтр 6, который включается при градуировке прибора, а при измерениях выводится из пучка лучей.

После щели пучок параллельных лучей попадает на плоскопараллельную разделительную пластину 5, разделительная поверхность которой полупосеребрена.

Таким образом, пучок лучей разделяется на два: один отражается от разделительной пластины, второй проходит сквозь нее.

Отраженный пучок лучей, пройдя через компенсатор 10 и отразившись от зеркала 11, вновь проходит через компенсатор 10, разделительную пластинку 5 и направляется в зрительную трубу, состоящую из объектива 3, сетки 2 и окуляра 1.

Пучок лучей, прошедший через разделительную пластину 5, доходит до зеркала 12 и отражается от него. На обратном пути этот пучок лучей испытывает частичное отражение от разделительной поверхности пластины 5 и также попадает в зрительную трубу.

На разделительной поверхности пластины 5 встречаются оба пучка и интерферируют между собой.

Зеркало 11 в схеме является неподвижным, оно имеет перемещения, предназначенные только для регулировки и юстировки прибора. Зеркало

12 связано с контактным наконечником 13, который упирается в поверхность контролируемого изделия 14, установленного на столике прибора 15.

Изменение размера контролируемого изделия вызывает перемещение как контактного наконечника, так и жестко связанного с ним плоского зеркала 12. Следовательно, с изменением размера контролируемого изделия меняется длина пути, проходимого пучком лучей от поверхности разделительной пластинки 5 до зеркала 12 и обратно. Длина же пути, проходимого пучком лучей от разделительной пластинки до зеркала 11 и обратно, в процессе измерения остается неизменной. Таким образом, между двумя пучками лучей возникает разность хода, зависящая от размера контролируемой детали, приводящая к смещению интерференционной картины в поле зрения окуляра зрительной трубы.

В контактном интерферометре ИКПВ для измерения используются интерференционные полосы равной толщины. Как было сказано выше, в этом случае, зеркала 11 и 12 должны быть расположены под углом $90^\circ \pm \alpha$, где α – весьма малый угол, исчисляемый несколькими угловыми минутами.

Ранее также было указано, что интерференционные полосы равной толщины в схеме Майкельсона параллельны ребру воздушного клина, возникающего между двумя зеркалами.

Следовательно, для того чтобы можно было проводить измерения смещения интерференционной картины относительно штрихов шкалы зрительной трубы (рис. 5.2, б), ребро воздушного клина между зеркалами должно быть параллельно штрихам шкалы. Для этой цели зеркало 11 (рис. 5.2, а) снабжено двумя юстировочными винтами, позволяющими производить поворот зеркала относительно двух взаимно перпендикулярных осей.

Компенсационная пластина 10 выполняет в схеме прибора две задачи. Во-первых, она компенсирует разность хода между двумя пучками, возникающую от неполной эквивалентности двух ветвей интерферометра. Действительно, пучок, отраженный от разделительной поверхности пластины 5, проходит толщину этой пластины один раз, при поступлении в зрительную трубу. Другой же пучок, направляемый на зеркало 12, проходит эту пластину трижды. Компенсационная пластина 10 имеет такую же толщину, как разделительная пластина 5 и расположена почти параллельно ей. Первый пучок лучей дважды проходит через толщину компенсационной пластины и обе ветви интерферометра становятся эквивалентными. Второе назначение компенсационной пластины – сделать ахроматическую полосу интерференционной картины темной, для удобства выполнения отсчетов.

Если у нас оптические пути для обоих пучков совершенно одинаковы, то ахроматическая полоса, возникающая при интерференции пучков белого света, светлая. По обе стороны от нее расположены две темные полосы, являющиеся минимумами интерференции первого порядка.

Отсчет смещения интерференционной картины, как правило, производится по темным полосам, и наличие двух темных полос может вызвать у наблюдателя затруднения и ошибки. Введение в одну из ветвей интерферометра дополнительной разности хода делает ахроматическую полосу темной, 10 по обе стороны от которой расположены окрашенные полосы. Это обстоятельство устраняет все затруднения при отсчете и делает его однозначным.

Создание дополнительной разности хода производится путем поворота компенсационной пластины на небольшой угол относительно оси, перпендикулярной оптической.

Ширма 4 выполняет роль экрана, преграждающего доступ в зрительную трубу лучам, отраженным от нижней поверхности разделительной пластины.

Интерференционный светофильтр 6 предназначен для аттестации шкалы 2 интерферометра. Для определения цены деления шкалы нам необходимо знать количество интерференционных полос, укладывающихся в определенном количестве делений шкалы. Однако при работе в белом свете интерференционная картина состоит только из нескольких цветных полос и такая аттестация не может быть произведена достаточно точно. Введением в ход лучей интерференционного светофильтра мы выделяем из пучка узкий спектральный интервал, свет становится монохроматическим, а образуемая интерференционная картина – одноцветной и заполняет все поле зрения окуляра зрительной трубы.

На рис. 5.3 представлен общий вид контактного интерферометра ИКПВ.

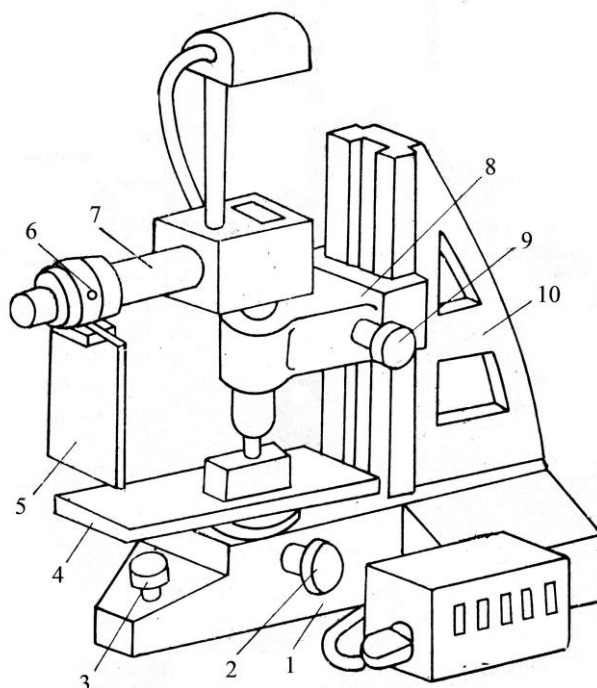


Рисунок 5.3 – Общий вид контактного интерферометра Уверского

На жестком литом основании 1 прибора укреплена стойка 10, по направляющим которой может перемещаться при помощи кремальеры 9 кронштейн 8, несущий зрительную трубу 7 интерферометра. Винт 6 позволяет перемещать шкалу окуляра зрительной трубы в пределах ± 10 делений шкалы. На трубе 7 закреплен теплозащитный экран 5.

Измерительный стол 4, в целях установки измеряемого объекта на необходимой высоте, имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении с помощью микровинта 3. Закрепление стола в необходимом положении производится стопорным винтом 2.

Трубка интерферометра, установленная в кронштейне 8, оснащается сменным контактным наконечником (плоским или сферическим).

Величина перемещения кронштейна 8 по направляющим стойки 10 составляет 150 мм.

Питание лампы интерферометра производится от трансформатора, входящего в комплект прибора.

1.3. Подготовка прибора к работе. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора.

Определение цены деления шкалы.

Цена деления шкалы прибора зависит от угловой величины воздушного клина между зеркалами интерферометра.

Цена деления шкалы в длинах волн зависит от отношения $\frac{k}{n}$, где k – число полос интерференции, поместившихся на участке шкалы в n делений.

Ширина одной интерференционной полосы (расстояние между двумя соседними максимумами или минимумами интерференции) равна половине длины волны света, пропускаемого интерференционным светофильтром.

Следовательно, если вместо безразмерной величины k взять $k \frac{\lambda}{2}$, то цена деления шкалы (в мкм) определяется по формуле:

$$c = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{k}{n},$$

где λ – длина волны света, для интерферометра типа ИКПВ $\lambda = \frac{2in}{k}$.

Цену деления шкалы можно устанавливать в пределах от 0,2 до 0,05 мкм.

Для получения определенной цены деления задаются величиной k и определяют n по формуле:

$$n = \frac{\lambda k}{2c}.$$

Примечание. Прибор отъюстирован в метрологической лаборатории.

Изложенные приемы юстировки не производить!

Приемы юстировки «а», «б» приводятся для справки.

Установка требуемой цены деления производится следующим образом:

а) включить в ход лучей оптической схемы интерференционный светофильтр, расположенный в верхней части интерференционной трубки;

б) юстировочными винтами зеркала 11 (рис. 5.2, а) добиться вертикального расположения интерференционных полос и заданной их ширины. При этом следует иметь в виду, что вращение зеркала вокруг горизонтальной оси приводит к изменению наклона полос, а вокруг вертикальной оси – к изменению ширины полос.

При установке образцовой концевой меры на измерительный стол и соприкосновении контактного наконечника с этой мерой ахроматическая черная полоса при выключенном интерференционном светофильтре должна находиться в центре шкалы, а при подъеме контактного наконечника должна двигаться в сторону «плюс». Если интерференционные полосы при подъеме контактного наконечника перемещаются в сторону «минус», то нужно переместить вершину воздушного клина на противоположную сторону. Для этого поворачивается зеркало 11 таким образом, чтобы ширина полос возрастала. После достижения максимума ширина их вновь начинает уменьшаться.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Измерение концевых мер длины.

Измерение или поверка концевых мер длины производится сравнительным методом.

Номинальные значения концевых мер длины, выбранные для измерения, должны отличаться друг от друга не более, чем на $\pm 0,01$ мм.

Для установки контактного интерферометра на нуль выбирается концевая мера со средней номинальной длиной. Перемещая кронштейн прибора и работая винтом микроскопического перемещения интерференционного стола, добиваются такого положения, чтобы при соприкосновении контактного наконечника с концевой мерой ахроматическая темная полоса в поле зрения окуляра находилась вблизи центра шкалы.

Принимая меру, по которой производится установка прибора, за образцовую, можно произвести поверку остальных концевых мер, для этого на измерительный стол последовательно помещаются измеряемые меры и производится отсчет смещения ахроматической полосы интерференционной картины.

Разница длин измеряемой меры и меры образцовой определяется из выражения:

$$\Delta l_i = c n_i,$$

где c – цена деления шкалы прибора,

n_i – количество делений, на которые сместилась ахроматическая полоса.

Длина измеряемой концевой меры равна

$$l_i = l_0 + \Delta l_i,$$

где l_0 – длина образцовой меры.

Измерение каждой концевой меры производится не менее пяти раз, количество измеряемых концевых мер – пять (включая образцовую).

Среднее значение длины измеренной концевой меры равно

$$l_{cp} = \frac{\sum l_i}{N},$$

где N – количество измерений одной концевой меры.

Все результаты измерений и расчетов внести в табл. 5.1.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- наименование и цель работы;
- конструкцию и описание схемы прибора;
- метрологические характеристики прибора;
- таблицу с результатами измерений и расчетов;
- вывод.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение прибора.
2. Метрологические характеристики прибора.
3. От каких величин зависит цена деления интерферометра.
4. Объясните назначение компенсационной пластины в схеме интерферометра.
5. Объяснить назначение светофильтра в конструкции интерферометра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ПРИНЦИП РАБОТЫ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ

УНИВЕРСАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МИКРОСКОПА УИМ-21

Цель работы: ознакомление с конструкцией и принципом действия универсального измерительного микроскопа УИМ-21, а также получение навыков проведения измерений и выявления действующих ошибок механизма прибора, исследование погрешности измерения на УИМ-21.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРЕ

1.1. Назначение и метрологическая характеристика прибора

Универсальный измерительный микроскоп широко применяется на заводах машиностроительной и приборостроительной промышленности, а также в научно-исследовательских институтах.

Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21 (окулярный) предназначен для линейных и угловых измерений разнообразных изделий в прямоугольных и полярных координатах. В частности, на приборе можно производить измерения резьбовых изделий, режущего инструмента, профильных шаблонов и лекал, кулачков, конусов, метчиков, резьбонарезных гребенок, а также радиусов закруглений и расстояний между осями отверстий различной формы. Метрологические характеристики универсального измерительного микроскопа УИМ-21 представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Метрологические характеристики универсального измерительного микроскопа УИМ-21

Предел измерений X, мм	0-200
Предел измерений Y, мм	0-100
Пределы измерения углов	0-360°
Цена наименьшего деления	
- спирального окулярного микрометра, мм	0,001
- угловой шкалы штриховой окулярной головки, мин.	1
Наибольший вес измеряемой детали, кг	10
Вес, кг	414
Габаритные размеры прибора, мм	1145x1060x705

Погрешность измерения универсального измерительного микроскопа УИМ-21 определяется в зависимости от используемого метода измерения и измеряемой поверхности.

В табл. 6.2 приведены значения наибольших величин погрешностей измерения.

Таблица 6.2 – Наибольшая погрешность измерений, мкм

	<i>Проекционный (теневой) метод</i>	<i>Метод осевого сечения (с помощью ножей)</i>
Измерение длин на плоском столе:		
в продольном направлении	$\pm \left(3 + \frac{L}{30} + \frac{h \cdot L}{4000} \right)$	$\pm \left(2,7 + \frac{L}{30} + \frac{h \cdot L}{4000} \right)$
в поперечном направлении	$\pm \left(3 + \frac{L}{50} + \frac{h \cdot L}{2500} \right)$	$\pm \left(2,7 + \frac{L}{50} + \frac{h \cdot L}{2500} \right)$
Измерение диаметров глад- ких цилиндров в центрах	$\pm \left(6 + \frac{L}{67} \right)$	$\pm \left(2,7 + \frac{L}{67} \right)$
Измерение средних диа- метров резьбы	$\pm \left(4 + \frac{2}{\sin(\alpha/2)} + \frac{L}{67} \right)$	$\pm \left(1 + \frac{1,7}{\sin(\alpha/2)} + \frac{L}{67} \right)$
Измерение шага резьбы	$\pm \left(1 + \frac{2}{\cos(\alpha/2)} + \frac{L}{32} \right)$	$\pm \left(1 + \frac{1,7}{\cos(\alpha/2)} + \frac{L}{67} \right)$

Примечание. L – измеряемая длина, мм; h – высота изделия над стеклом, мм;
 α – угол профиля резьбы, град.

1.2. Описание конструкции и принципа действия

Конструкция универсального измерительного микроскопа УИМ-21 представлена на рис. 6.1.

В массивную станину 1 снизу ввинчены три опорных винта 2, с помощью которых микроскоп устанавливается строго горизонтально по уровню, встроенному в станину. По направляющим 3 станины на подшипниках качения перемещается каретка в направлении координаты X (влево–вправо). Грубое перемещение каретки производится вручную при отпущенном стопорном винте 4, точное – с помощью микрометрических винта 5. На цилиндрические направляющие каретки устанавливаются бабки 6 с центрами 7. Бабки крепятся к станине винтами 8, а центра в бабках – винтами 9. На вертикальной колонке 10 укреплен кронштейн 11 с окулярной головкой 12, через которую ведется наблюдение при измерении. Перемещение кронштейна вверх-вниз (по координате Z) вдоль колонки производится головкой 13 с помощью реечной передачи и фиксируется винтом 16, расположенным с правой стороны кронштейна. Наклон колонки 10 осуществляется маховичком 14, вертикальное положение головки стопорится фиксатором 15.

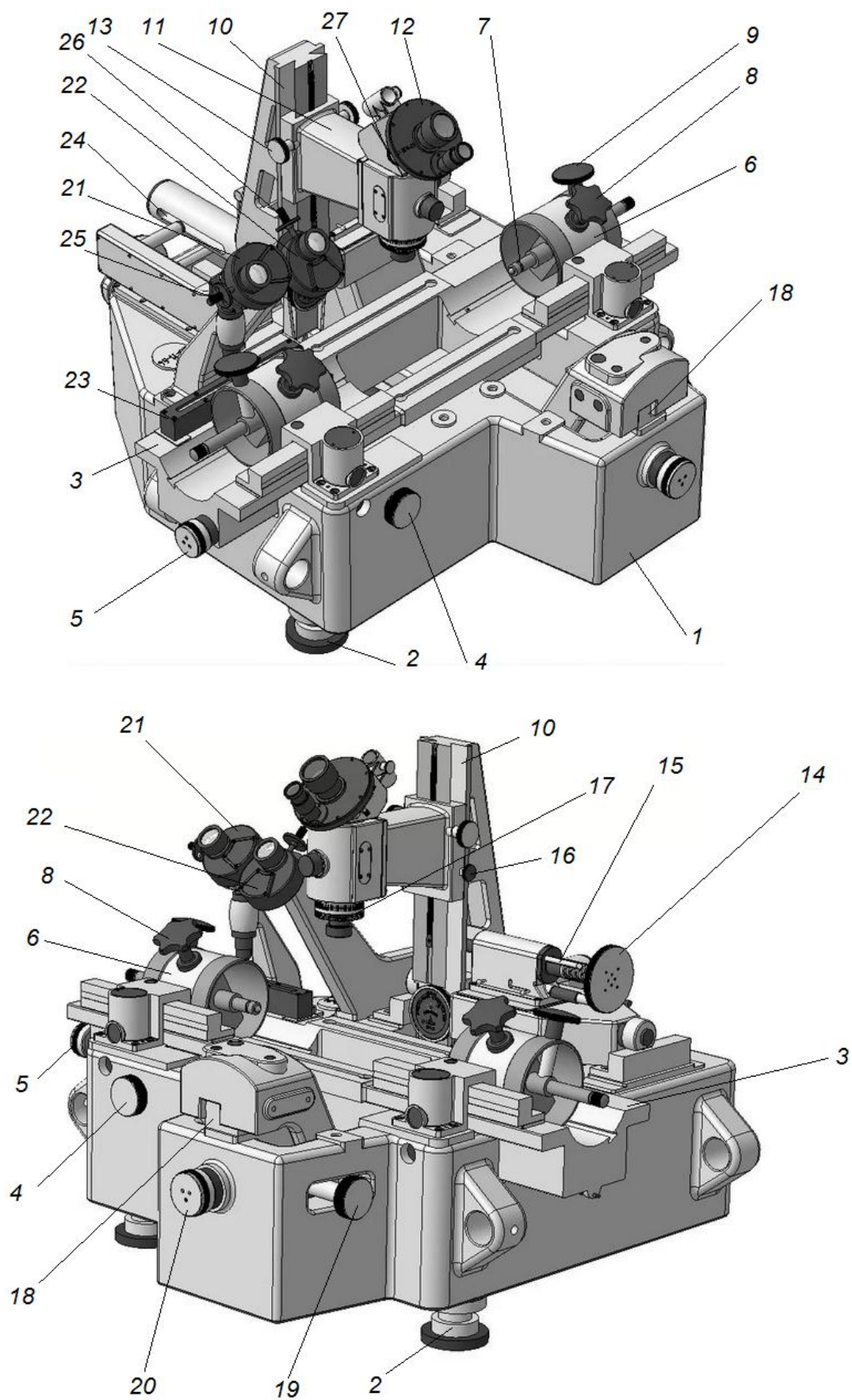


Рисунок 6.1 – Конструкция универсального измерительного микроскопа УИМ-21

Подъемом или опусканием кронштейна 11 добиваются резкости изображения измеряемого объекта, наблюдаемого в окуляре 12. Тонкая настройка на резкость производится вращением кольца 17 объектива.

По направляющим 18 колонка 10 с окулярной головкой 12 перемещаются вперед-назад (по координате Y) строго перпендикулярно к продольному перемещению стола. Перемещение проводят при отпущенном стопорном винте 19, непосредственно двигая рукою данный винт вместе с колонкой. Застопорив винт, проводят микроперемещения винтом 20.

Величины продольного и поперечного перемещений на микроскопе УИМ отсчитывают по стеклянным линейным шкалам с помощью окулярных спиральных микроскопов 21 и 22. Пределы измерений по продольной шкале 23 равны 0 - 200 мм, по поперечной шкале 24 – 0 - 100 мм.

Методы измерений на УИМ-21

Измерения на универсальном микроскопе можно осуществлять *проекционным (теневым) методом* и *методом осевого сечения*.

При измерении *проекционным методом* в проходящем свете помещают изделие на плоский стол или укрепляют его в центрах на пути световых лучей, идущих из центрального осветительного устройства. Если изделие непрозрачно, то при наблюдении в окуляр главного микроскопа в поле зрения будет видно теневое изображение изделия. Для визирования по краю тени в фокальной плоскости окуляра установлена сетка, состоящая из нескольких штриховых линий (рис. 6.2).

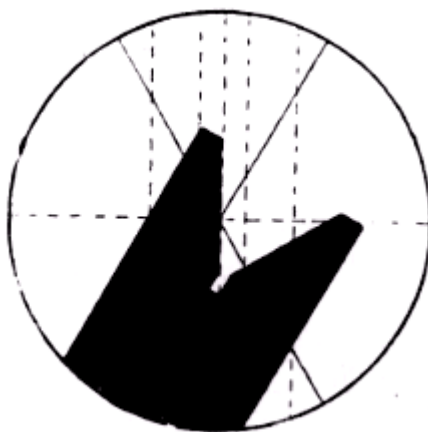


Рисунок 6.2 – Поле зрения окулярной головки

При работе в отражённом свете изделие освещается осветителем верхнего освещения, центральное осветительное устройство выключают.

При измерении *методом осевого сечения* к изделию вплотную прижимают измерительные ножи с тонкими рисками, нанесёнными на поверхности параллельно лезвию ножа. Поверхность ножа с риской определяет плоскость измерения (для тел вращения эта плоскость будет осевым

сечением). При этом методе наводка штриховых линий сетки производится не по теневому контуру изделия, а по риску ножа. Методом осевого сечения можно измерять как плоские, так и цилиндрические изделия. Применение измерительных ножей требует установки специального осветительного устройства, представляющего собой иллюминатор, в корпус которого вставлена полупрозрачная пластинка. Благодаря ей часть лучей, идущих из центрального осветительного устройства, проходит в объектив, а часть отражается и освещает поверхность ножа с риской, наблюдаемой в поле зрения микроскопа. В процессе измерения в поперечном направлении перемещают каретку с микроскопом, а в продольном – каретку с изделием. Грубое перемещение кареток производится от руки, точное – с помощью микрометрических винтов 5 и 20 (рис. 6.1). Для отсчёта величины перемещения кареток служат стеклянные миллиметровые шкалы: шкала продольного хода 23 и шкала поперечного хода 24, а также отсчётные микроскопы со спиральными окулярными микрометрами.

Универсальный измерительный микроскоп работает нормально при $t = 20 \pm 2^\circ$ в сухом чистом помещении при отсутствии тряски и вибрации.

Измерение линейных и угловых размеров проекционным (теньвым) методом

Измерение линейных размеров плоских изделий

Измеряемое изделие помещают на измерительный стол так, чтобы поверхности изделия, между которыми надо измерить расстояние, приблизительно были ориентированы по поперечному или продольному измерительному направлению. После этого изделие фиксируют (зажимают струбцинками). Перемещением продольной или поперечной каретки подводят одну из граней изделия под микроскоп и фокусируют на резкость изображения. Вращая один из винтов (или одновременно оба винта, но в противоположные стороны) и точной подачей перемещая поперечную каретку, добиваются параллельности края теневого изображения и штриховой линии сетки, а затем совмещают их. При этом в отсчётном микроскопе окулярной головки должен быть отсчёт «0°» (или 90°, 180°, 270°). Правильность установки изделия контролируют перемещением продольной каретки на всю длину изделия и наблюдением в микроскоп за положением края теневого изображения относительно штриховой линии сетки.

Для повышения точности установки изделия при проверке правильности изображения рекомендуется оставлять между штриховой линией и краем изображения небольшой просвет, изменение которого наблюдается в микроскоп при движении каретки. Закончив установку изделия, приступают к измерению. Для этого микрометрическим винтом точной подачи кареток наводят микроскоп на один край теневого изображения изделия, производят отсчёт по соответствующей шкале спирального окуляра мик-

рометра и записывают его. Затем перемещают каретку до появления в микроскопе второго края теневого изображения изделия. Микрометрическим винтом точной подачи каретки совмещают ту же штриховую линию с краем теневого изображения. Снова производят отсчёт по той же шкале и записывают его. Разность отсчётов даст измеренную длину.

Измерение гладких цилиндрических изделий

Закрепляют изделия в центрах и приступают к измерению диаметров цилиндра. Для этого перемещают сначала грубо (от руки) поперечную каретку с микроскопом, подводят горизонтальную штриховую линию сетки окулярной головки к одной стороне теневого изображения цилиндра, точной подачей поперечной каретки совмещают штриховую линию сетки с краем теневого изображения цилиндра и производят отсчёт по шкале поперечного хода с помощью спирального микрометра. Далее ту же штриховую линию сетки наводят на противоположный край теневого изображения цилиндра и снимают второй отсчёт по шкале. Разность отсчётов даёт величину измеряемого диаметра. При измерении колонка микроскопа должна стоять вертикально и отсчёт по лимбу окулярной головки должен быть «0°» (или 90°, 180°, 270°). Длина цилиндра измеряется так же, как длина плоских изделий.

Конусы

Для измерения конус укрепляют в центрах. Устанавливают какую-либо из штриховых линий сетки окулярной головки параллельно образующей измеряемого конуса у его основания. Затем перемещают продольную и поперечную каретки до тех пор, пока конец образующей конуса у вершины не появится в поле зрения микроскопа; при этом параллельность образующей и штриховой линии сетки не должна нарушаться.

После этого устанавливают продольную каретку на какой-либо отсчет (в целых миллиметрах) по шкале продольного хода и закрепляют ее. Далее, действуя поперечной кареткой, совмещают штриховую линию сетки с образующей теневого контура, как показано на рис. 6.3 (положение I), и производят отсчет по шкале поперечного хода. Затем перемещают продольную каретку на целое число миллиметров к другому концу конуса, перемещением поперечной каретки совмещают штриховую линию сетки с образующей теневого контура (положение II) и снова снимают отсчет по шкале поперечного хода. Разность обоих отсчетов (b) по шкале, разделенная на длину перемещения продольной каретки (a) в миллиметрах, даст тангенс половины угла конуса.

Полученный результат не будет свободен от погрешности, возникшей вследствие возможного перекоса изделия (т. е. непараллельности оси Б изделия и направления А движения продольной каретки). Для исключения

влияния этой погрешности повторяют такое же измерение на другой стороне теневого изображения образующей конуса (положения III и IV).

Очевидно, что погрешность от перекоса войдет и в этот результат, но с обратным знаком. Для исключения этой погрешности нужно взять среднее арифметическое из обоих результатов измерения

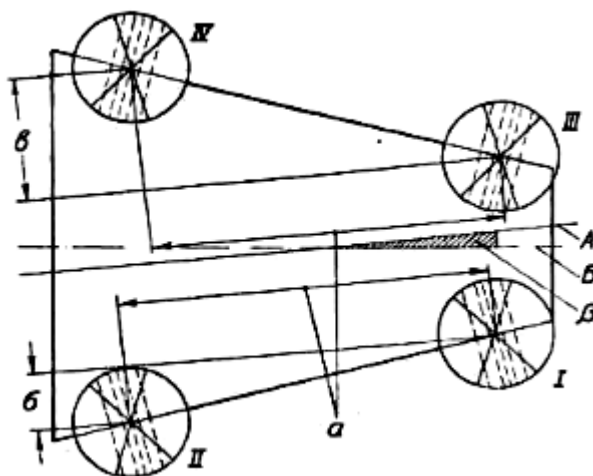


Рисунок 6.3 – Измерение конуса проекционным (теньвым) методом

Для повышения точности измерения необходимо брать наибольшую длину конуса – перемещение продольной каретки делать возможно большим.

Измерение углов плоского изделия

Изделие помещают на стекло плоского стола. Перемещением продольной и поперечной кареток вводят в поле зрения микроскопа одну сторону измеряемого угла. Затем наводят какую-нибудь из штриховых линий на край изображения этой стороны угла и снимают отсчет в угловом отсчетном микроскопе. Далее маховичком 27 (рис. 6.1) поворачивают сетку окулярной головки и производят наводку на вторую сторону измеряемого угла. Снова снимают отсчет в угловом микроскопе. Разность двух отсчетов даст искомую величину угла.

При переводе штриховой линии с одной стороны угла на другую нужно следить за тем, чтобы не спутать эту линию с соседней.

Измерение линейных и угловых размеров методом осевого сечения

Измерение длин методом осевого сечения

Способ наведения визирной линии сетки окулярной головки на тонкую риску ножа позволяет избежать трудностей и неточностей, возникающих при наводке непосредственно на теневой контур изделия. Для облегчения наводки и повышения ее точности на сетке нанесены не сплошные, а

штриховые визирные линии. Риски на ножах удалены от лезвия на различные расстояния:

у левых и правых широких ножей 0,9 мм;

у левых и правых узких ножей 0,3 мм;

у прямых ножей 0,9 мм.

Если при измерении ножами делать поочередную наводку на риски ножей одной и той же штриховой линией сетки окулярной головки, перемещая поперечную каретку, то по шкале поперечного хода получится отсчет, увеличенный на двойную величину расстояния от риски до лезвия ножа, равную $2a$ (рис. 6.4).

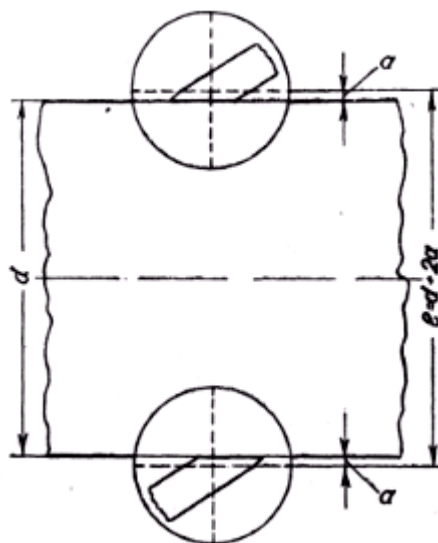


Рисунок 6.4

Вычитать эту величину из каждого результата измерения было бы крайне неудобно. Поэтому на штриховой сетке окулярной головки нанесены четыре штриховые линии, параллельные средней линии сетки, удаленные от нее на расстояния, соответствующие на измеряемом изделии (при увеличении микроскопа 30х) 0,3 мм и 0,9 мм и обозначенные на рис. 6.5 буквами M_1 и M_2 .

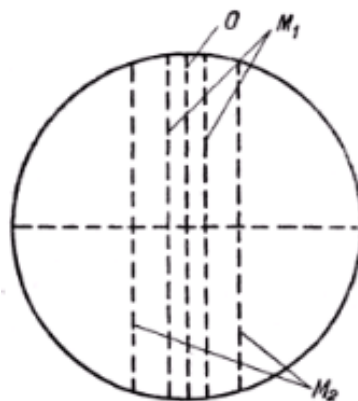


Рисунок 6.5

При измерении длин методом осевого сечения поступают следующим образом: после того как ножи придвинуты к измеряемому изделию, одну из штриховых линий с соответствующей ценой деления совмещают с риской ножа, тогда средняя штриховая линия совместится с линией касания лезвия ножа и контура изделия (рис. 6.6), и производят отсчет по шкале поперечного хода. Затем перемещают поперечную каретку, производят такую же наводку на противоположную сторону изделия, используя вторую, настолько же удаленную от середины штриховую линию, и снимают второй отсчет по шкале поперечного хода.

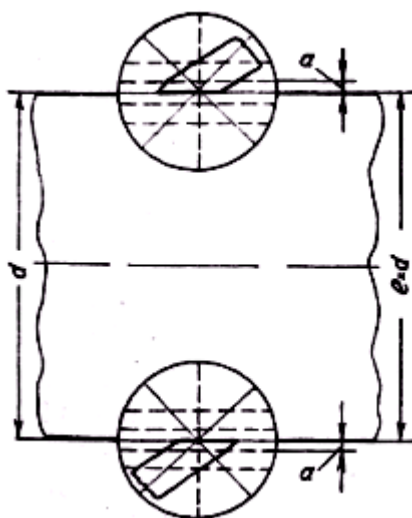


Рис 6.6 – Измерение длин методом осевого сечения

При таком методе измерения величина перемещения каретки равна размеру изделия.

При измерении нужно следить за тем, чтобы риска ножа лежала как можно точнее посередине штриховой линии по всей своей длине.

Плоские изделия

Измеряемое изделие устанавливают на столе. Стороны, между которыми будет измеряться расстояние, ориентируют по одному из направлений (продольному или поперечному) и закрепляют изделие.

Одну из сторон контура изделия подводят под микроскоп, прикладывают к ней измерительный нож, установленный на стекле стола, и фокусируют микроскоп на резкость изображения риски ножа. Затем производят наводку штриховой линии сетки на риску ножа и снимают отсчет по шкале поперечного хода. Таким же путем подводят нож к противоположной стороне изделия, производят наводку и снимают отсчет по той же шкале. Если лезвия ножей, лежащих на стекле стола, нельзя вплотную придвинуть к измеряемой поверхности вследствие разности высот, то либо под ножи, либо под изделие нужно подложить подкладки (лучше всего концевые меры).

Цилиндрические изделия

Установку изделия и измерение производят, как при проекционном (теновом) методе, с той лишь разницей, что фокусировка микроскопа и наводка штриховой линии сетки производятся не на край теневого контура изделия, а на риску ножа.

Конусы

Для измерения конусов предусмотрены специальные прямые ножи, у которых измерительная риска расположена перпендикулярно к продольной оси.

Установку изделия производят также, как и при проекционном (теновом) методе. К образующей одного конца измеряемого конуса (ближе к вершине) подводят прямой нож и фокусируют микроскоп на риску ножа. Перемещая продольную каретку, устанавливают по отсчетному микроскопу какой-либо отсчет (целое число), а поперечную каретку двигают до тех пор, пока риска ножа не совместится со штриховой линией сетки, удаленной от центра на такое же расстояние, на какое риска ножа удалена от лезвия. Отсчет снимают по шкале поперечного хода. Затем перемещают продольную каретку на целое число миллиметров, выбранное с таким расчетом, чтобы в поле зрения микроскопа появился конец образующей (у основания конуса). К этому концу также прикладывают нож и совмещают штриховую линию сетки с риской ножа. Отсчет снимают, как и в первый раз, по шкале поперечного хода.

Для исключения погрешности от перекоса (когда ось центров не параллельна движению продольной каретки) такое же измерение производят по другой, диаметрально противоположной стороне изделия. Из результатов обоих измерений берут среднее арифметическое значение.

Вычисление угла конуса производят также как и при проекционном (теновом) методе.

Измерение углов плоского изделия

Измеряемое изделие помещают на плоский стол и фиксируют. Затем на стекло стола устанавливают измерительный нож и прикладывают к изделию так, чтобы лезвие ножа соприкасалось со стороной измеряемого угла. Фокусируют микроскоп на риску ножа и, перемещая продольную или поперечную каретку, совмещают штриховую линию сетки с риской; добившись точного совмещения, снимают отсчет в угловом отсчетном микроскопе. Затем прикладывают тот же нож (если он не подходит, берут другой – правый, левый или прямой) к другой стороне измеряемого угла, так же производят наводку и снимают отсчет в угловом отсчетном микроскопе. Разность обоих отсчетов даст искомый угол.

1.3. Порядок проведения измерений и снятия показаний прибора.

Отсчеты по микроскопам со спиральными окулярными микрометрами

Микроскопы со спиральными окулярными микрометрами предназначены для отсчёта линейных величин в продольном и поперечном направлениях. В поле зрения каждого микроскопа одновременно видны два-три штриха миллиметровой шкалы (рис. 6.7), неподвижная шкала десятых долей миллиметра с делениями от «0» до «10», круговая шкала для отсчёта сотых и тысячных долей миллиметра и двойные витки спирали.

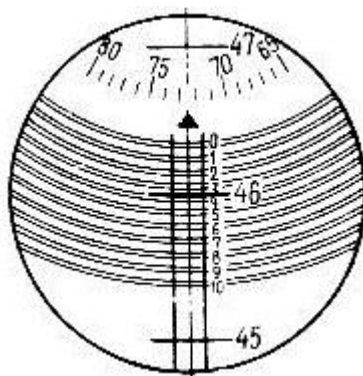


Рисунок 6.7 – Поле зрения спирального окулярного микрометра

Чтобы произвести отсчёт, необходимо предварительно маховичком 25 (рис. 6.1) или 26 подвести двойной виток спирали так, чтобы миллиметровый штрих, расположенный в зоне двойных витков, оказался точно посередине между линиями витка.

Индексом для отсчёта миллиметров служит нулевой штрих шкалы десятых долей миллиметра.

На рис. 6.7 миллиметровый штрих 46 прошёл нулевой штрих шкалы десятых долей миллиметра, а ближний большой штрих «47» ещё не дошёл до нулевого штриха. Отсчёт 46 миллиметров плюс отрезок от штриха «46» до нулевого штриха шкалы десятых долей миллиметра будет обозначен цифрой «3» последнего штриха шкалы. Сотые и тысячные доли миллиметра отсчитываются по круговой шкале, индексом для отсчёта служит указатель шкалы десятых долей миллиметра, цена деления круговой шкалы 0,001 мм. На рис. 6.7 штрих «72» прошёл указатель, следовательно, окончательный отсчёт будет равен 46,372 мм.

Отсчеты угловых параметров по микроскопу штриховой окулярной головки

При измерении углов отсчёт производится по микроскопу штриховой окулярной головки. В поле зрения микроскопа видны одновременно два-три штриха градусной шкалы (рис. 6.8) и минутная шкала с делениями от «0» до «60». Индексом для отсчёта служит нулевой штрих минутной шкалы.

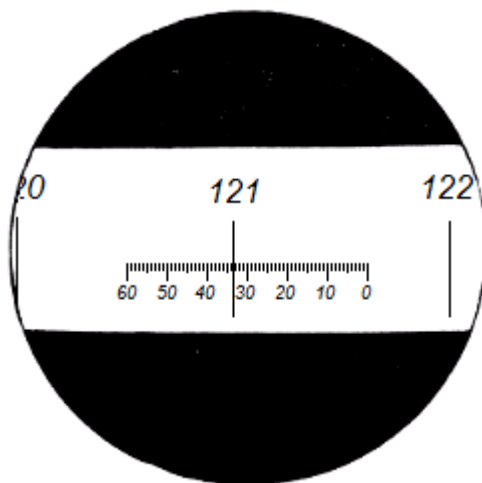


Рисунок 6.8 – Поле зрения окуляра микроскопа измерения угловых величин

На рис. 6.8 градусный штрих «121» прошёл нулевое деление минутной шкалы при движении лимба по часовой стрелке, а ближайший большой штрих «122» ещё не дошёл до нулевого деления минутной шкалы. Отсчёт будет 121° плюс отрезок от штриха «121» до нулевого деления шкалы. В этом отрезке число минут будет соответствовать количеству пройденных штрихов – в данном случае 33,5. Десятые доли минуты оцениваются на глаз. Окончательный отсчёт будет $121^\circ 33,5'$.

Координатные измерения межцентрового расстояния

Найти межцентровое расстояние можно несколькими способами:

- по 4 отсчетам в диаметральной плоскости отверстий;
- по 6 точкам, принадлежащих отверстиям.

В первом случае измерение межцентрового расстояния происходит следующим образом (см. схему измерения межцентрового расстояния, представленную на рис. 6.9).

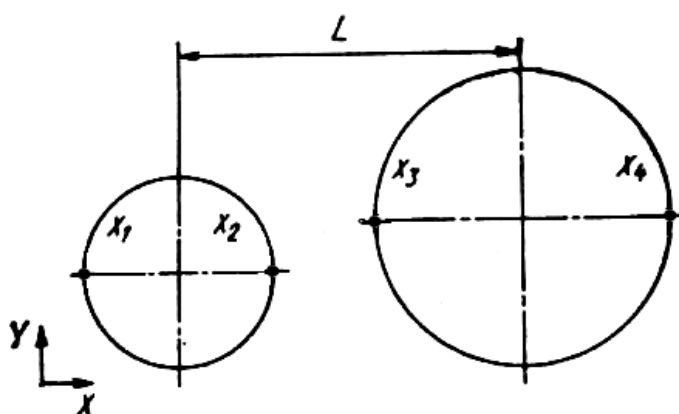


Рисунок 6.9 – Схема измерения межцентрового расстояния по 4 отсчетам в диаметральной плоскости отверстий

Снимаются четыре отсчета по диаметральной плоскости и вычисляется искомое значение межцентрового расстояния:

$$L = \frac{x_1 + x_2}{2} - \frac{x_3 + x_4}{2} = \frac{1}{2}(x_1 + x_2 - x_3 - x_4).$$

Отсюда видно, что координаты по оси Y не влияют на конечный результат измерений.

Схема измерения межцентрового расстояния по 6 точкам, принадлежащих отверстиям представлена на рис. 6.10.

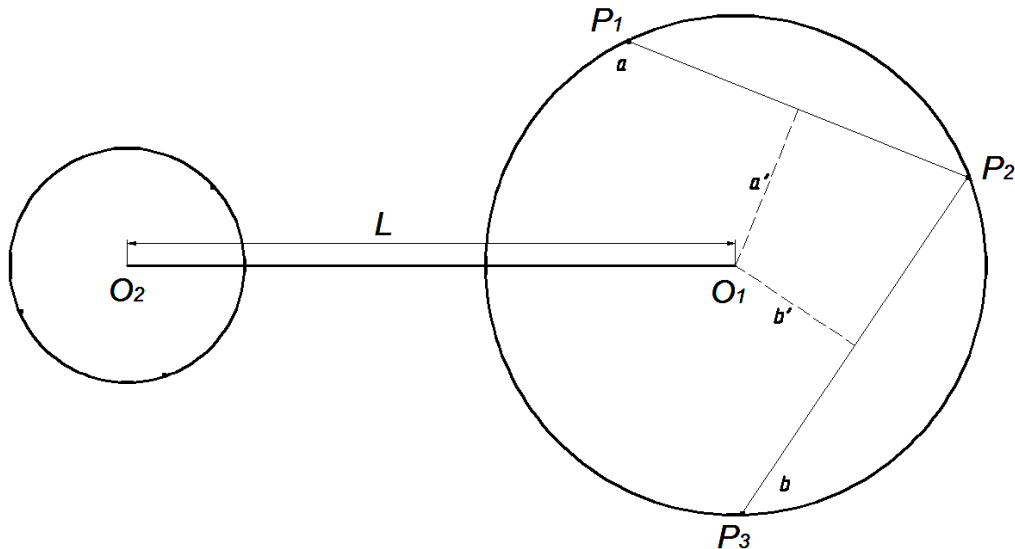


Рисунок 6.10 - Схема измерения межцентрового расстояния по 6 точкам, принадлежащих отверстиям.

Сначала следует определить координаты центров отверстий:

$$x_O = \frac{m_a m_b (y_1 - y_3) + m_b (x_1 + x_2) - m_a (x_2 + x_3)}{2(m_b - m_a)};$$

$$y_O = -\frac{1}{m_a} \left(x_O - \frac{(x_1 + x_2)}{2} \right) + \frac{y_1 + y_2}{2},$$

где m_a , m_b – коэффициенты наклона прямых a' и b' , определяемые из выражений:

$$m_a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}; m_b = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}.$$

Если какая-нибудь из прямых вертикальна, то ее коэффициент наклона m равен бесконечности. Этого можно избежать, просто поменяв порядок точек так, чтобы вертикальных линий не появлялось.

Аналогично определяются координаты точки O_2 .

Межцентровое расстояние рассчитывают по формуле

$$L = \sqrt{(y_{O_2} - y_{O_1})^2 + (x_{O_2} - x_{O_1})^2}.$$

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Порядок выполнения работы следующий:

1. включить измерительный микроскоп УИМ-21;
2. установить измеряемую деталь на рабочий стол микроскопа;
3. провести фокусировку оптической системы УИМ-21 на выбранный объект;
4. определить диаметры окружностей и межцентровое расстояние по 4 отсчетам в диаметральной плоскости отверстий.

Диаметр отверстия равен

$$D = \frac{x_2 - x_1}{2}.$$

Межцентровое расстояние определяется из выражения:

$$L = \frac{x_1 + x_2}{2} - \frac{x_3 + x_4}{2} = \frac{1}{2}(x_1 + x_2 - x_3 - x_4).$$

Результаты измерения и вычислений занести в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Результаты измерений

№ п/п	Отверстие 1		Отверстие 2		Диаметр, мм	Межцентровое расстояние, мм
	x_1	x_2	x_3	x_4		
1						
2						
3						
Среднее значение						

5. определить диаметры окружностей и межцентровое расстояние по 6 точкам, принадлежащих отверстиям.

Результаты измерения и вычислений занести в табл. 6.4.

Таблица 6.4 – Результаты измерений

№ п/п	Отверстие 1			Отверстие 2			Диаметр, мм	Межцентровое расстояние, мм
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6		
1								
2								
3								
Среднее значение								

Диаметр окружности определяется из выражения:

$$D = 2R = 2\sqrt{(x - x_{O_1})^2 + (y - y_{O_1})^2}.$$

Межцентровое расстояние L равно:

$$L = \sqrt{(y_{O_2} - y_{O_1})^2 + (x_{O_2} - x_{O_1})^2}.$$

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- наименование и цель работы;
- конструкцию и описание прибора;
- метрологические характеристики прибора;
- эскиз измеряемой детали;
- таблицы с результатами измерений и расчетов;
- вывод.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение, устройство и конструктивные особенности узлов прибора?
2. Метрологические характеристики прибора?
3. Тип и конструкция отсчетных устройств УИМ-21?
4. Каким методом осуществляются измерения на УИМ-21?
5. От чего зависит погрешность измерения УИМ-21?
6. Каково влияние изменения температуры на результат измерения?
7. Источники возникновения погрешности показаний УИМ-21?
8. Имеет ли место в приборе функциональная ошибка?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев С. А. Контрольно-измерительные приборы и инструменты / С. А. Зайцев. – М.: Изд-во Академия, 2003. – 464 с.
2. Оптические приборы в машиностроении: Справочник / М.И. Апенко, И.П. Араев, В.А. Афанасьев. – М.: Машиностроение, 1974. – 234 с.
3. Точность и производственный контроль в машиностроении / Под редакцией А.К. Кутая. – Л.: Машиностроение, 1983. – 367 с.
4. МИ 1958-89. ГСИ. Оптиметры. Методика поверки. - М.: Из-во станд., 1989. - 18 с.
5. Оптиметр вертикальный проекционный ИКВ-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Л.: Из-во ЛОМО, 1972. - 27 с.
6. Измерительные приборы в машиностроении / А.Г. Иванов и др. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 496 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Допуски и отклонения калибров (ГОСТ 24853 – 81)

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм									Допуск на форму калибра
		до 3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св. 30 до 50	св.50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
		Размеры и допуски, мкм									
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	IT1 IT2 IT1
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	
	Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	
	Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H; H _S	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
	H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H _P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	
7	Z; Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	IT2 IT1 IT1
	Y ₁ ; Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	
	H; H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H _S	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
	H _P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	
8	Z; Z ₁	2	3	3	4	5	6	7	8	9	IT2 IT3 IT1
	Y; Y ₁	3	3	3	4	4	5	5	6	6	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _S ; H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
9	Z; Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	IT2 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	4	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _S ; H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
10	Z; Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	IT2 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	
	H _S ; H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	

Таблица А.1 – Допуски и отклонения калибров (ГОСТ 24853 – 81)

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм									Допуск на форму калибра
		до 3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св. 30 до 50	св.50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
		Размеры и допуски, мкм									
11	Z; Z ₁	10	12	14	16	19	22	25	28	32	IT4 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	4	5	6	8	9	11	13	15	18	
	H _S	-	-	4	5	6	7	8	10	12	
	H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
12	Z; Z ₁	10	12	14	16	19	22	25	28	32	IT4 IT3 IT1
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	4	5	6	8	9	11	13	15	18	
	H _S	-	-	4	5	6	7	8	10	12	
	H _P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	
13	Z; Z ₁	20	24	28	32	36	42	48	54	60	IT5 IT5 IT2
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	
	H _S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	
	H _P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
14	Z; Z ₁	20	24	28	32	36	42	48	54	60	IT5 IT5 IT2
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	
	H _S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	
	H _P	2	2,5	2,5	2	4	4	5	6	8	
15	Z; Z ₁	40	48	56	64	72	80	90	100	110	IT5 IT5 IT2
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	
	H _S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	
	H _P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	
16,17	Z; Z ₁	40	48	56	64	72	80	90	100	110	IT5 IT5 IT2
	Y; Y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H; H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	
	H _S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	
	H _P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	

Таблица А.2 – Рекомендуемые замены полей допусков системы ОСТ на поля допусков по системе ЕСДП

Интервал размеров, мм	Д	С	П	Н	Т	Г	Пл	Пр		А	Х	П _{2а}	Пр1 _{2а}	А _{2а}	Ш	Л	С ₃	Пр2 _{2а}	А ₃	Ш ₃	Х ₃
	Классы допусков отверстий и валов																				
	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	H7	f7	js7	s7	H8	d8	e8	h8	u8	H9	d9	f9
	предельные отклонения, мкм																				
От 1 до 3 вкл.	-2 -8	0 -6	+3 -3	+6 0	+8 +2	+10 +4	+12 +6	+16 +10	- -	+10 0	-6 -16	+5 -5	+24 +14	+14 0	-20 -34	-14 -28	0 -14	+32 +18	+25 0	-20 -45	-6 -31
Св. 3 до 6 вкл.	-4 -12	0 -8	+4 -4	+9 +1	+12 +4	+16 +8	+20 +12	+23 +15	- -	+12 0	-10 -22	+6 -6	+31 +19	+18 0	-30 -48	-20 -38	0 -18	+41 +23	+30 0	-30 -60	-10 -40
Св. 6 до 10 вкл.	-5 -14	0 -9	+4,5 -4,5	+10 +1	+15 +6	+19 +10	+24 +15	+28 +19	- -	+15 0	-13 -28	+7 -7	+38 +23	+22 0	-40 -62	-25 -47	0 -22	+50 +28	+36 0	-40 -76	-13 -49
Св. 10 до 14 вкл.	-6	0	+5,5	+12	+18	+23	+29	+24	- -	+18	-16	+9	+46	+27	-50	-32	0	+60	+43	-50	-16
Св. 14 до 18 вкл.	-17	-11	-5,5	+1	+7	+12	+18	+23		0	-34	-9	+28	0	-77	-59	-27	+33	0	-93	-59
Св. 18 до 24 вкл.	-7 -20	0 -13	+6,5 -6,5	+15 +2	+20 +8	+28 +15	+35 +22	+41 +28	- -	+21 0	-20 -41	+10 -10	+56 +35	+33 0	-65 -98	-40 -73	0 -33	+74 +41	+52 0	-65 -117	-20 -72
Св. 24 до 30 вкл.																		+81 +48			
Св. 30 до 40 вкл.	-9 -25	0 -16	+8 -8	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34	- -	+25 0	-25 -50	+12 -12	+68 +43	+39 0	-80 -119	-50 -89	0 -39	+99 +60	+62 0	-80 -142	-25 -87
Св. 40 до 50 вкл.																		+109 +70			
Св. 50 до 65 вкл.	-10 -29	0 -19	+9,5 -9,5	+21 +2	+30 +10	+39 +20	+51 +32	+60 +41	- -	+30 +0	-30 -60	+15 -15	+83 +53	+46 0	-100 -146	-60 -106	0 -46	+133 +37	+74 0	-100 -174	-30 -104
Св. 65 до 80 вкл.								+62 +43						+89 +59					148 102		
Св. 80 до 100 вкл.	-46	0 -22	+11 -11	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+59 +37	+73 +51	+93 +71	+35 0	-36 -71	+17 -17	+106 +71	+54 0	-120 -174	-72 -126	0 -54	178 124	+87 0	-120 -207	-36 -123
Св.100 до 120 вкл.									+76 +54	+101 +79				+114 +79					198 144		

Таблица А.3 – Схемы расположения интервалов допусков калибров-пробок для номинальных размеров до 180 мм (ГОСТ 24853 – 81)

Контро- лируемый параметр	Квалитет	Схемы расположения интервалов допусков калибров-пробок
Отверстие	6-8	
	9-17	

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
(Часть 2)

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ*

Составители: **Балакин** Алексей Игоревич,
Балакина Наталья Анатольевна

Редактор - О.В. Дмитриева

Изд. № 178/18. Объем 4,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»