



Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Лабораторный практикум

Учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-38 01 01
«Механические и электромеханические приборы и аппараты»

Электронный учебный материал

Минск ◊ БНТУ ◊ 2018

УДК 681.2 (075.8)
Д 64

Авторы:
Суровой С.Н.
Самойлова М.С.

Рецензент:
Соколовский С.С.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 232-77-52 факс (017) 232-91-37
E-mail: emd@bntu.by
<http://www.bntu.by/ru/struktura/facult/psf/im/>
Регистрационный № БНТУ/ПСФ80-10.2019

Учебное пособие содержит восемь лабораторных работ, целью которых является ознакомить студентов с наиболее распространенными и важными в машино- и приборостроении измерительными приборами, научить работать с ними и проводить обработку результатов наблюдений, соответствующих структуре теории точности, в которых рассмотрен комплекс вопросов, связанных с решением прямой и обратной задач теории точности, а также с особенностями выполнения мероприятий, направленных на повышение точности измерительных устройств. Учебное пособие может быть использовано для самостоятельной работы студентами как заочного, так и дневного отделения специальности, изучающих дисциплину «Теория расчет и проектирование измерительных приборов».

©БНТУ, 2018
© Суровой С.Н.
Самойлова М.С. ,2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа №1 АТТЕСТАЦИЯ ШТРИХОВОЙ ШКАЛЫ ПРИ ПОМОЩИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОМПАРАТОРА ИЗА-7.....	5
Лабораторная работа №2 ПРОВЕРКА КРУГОВОЙ ШКАЛЫ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ	10
Лабораторная работа №3 АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СФЕРОМЕТРА	18
Лабораторная работа №4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАННОГО МЕХАНИЗМА	26
Лабораторная работа №5 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИНДИКАТОРА ЧАСОВОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	30
Лабораторная работа №6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НАСТРОЙКИ ПРУЖИННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК.....	36
Лабораторная работа №7 МЕТОДЫ ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ.....	45
Лабораторная работа №8 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ МЕХАНИЗМА ПРИБОРА	52

ВВЕДЕНИЕ

Цель лабораторных занятий по курсу «Теория, расчет и проектирование измерительных приборов» - ознакомить студентов с наиболее распространенными и важными в машино- и приборостроении измерительными приборами, научить работать с ними и проводить обработку результатов наблюдений. Эти занятия способствуют лучшему усвоению теоретического курса, а также развитию практических навыков в работе. В период подготовки и выполнения лабораторных работ студенты изучают устройство приборов, усваивают основные методы измерений, настройки и проверки, обработки опытных данных и исследования погрешностей измерительных приборов. В работах предусматриваются элементы научных исследований, которые сводятся к анализу результатов измерений, конструкции приборов, изучению технической документации с точки зрения правильности и полноты ее, выявлению функциональных элементов научно-исследовательских работ, которые необходимы будущему молодому специалисту, работающему в области метрологии и измерительной техники.

Отдельные лабораторные работы практикума должны способствовать развитию конструкторских навыков, помогать анализировать конструкции приборов и составлять техническую документацию. При выдаче задания преподавателем учитываются индивидуальные способности студента, теоретические знания и опыт работы в лаборатории.

Лабораторные занятия проводятся под непосредственным наблюдением преподавателя, который на первом занятии объясняет цель лабораторных работ, знакомит с применяемыми приборами, имеющимися в лаборатории, областью их применения в машиностроении и приборостроении. На этом же занятии проводится инструктаж по технике безопасности. Только после этого студенты допускаются к работе.

До начала выполнения лабораторной работы каждый студент по соответствующей инструкции изучает теорию вопроса, устройство, принцип действия, техническую характеристику прибора, методику выполнения измерений и обработки опытных данных, порядок проведения работы и готовит протокол наблюдений.

Отчет составляется после проверки преподавателем полученных данных.

Лабораторная работа №1

АТТЕСТАЦИЯ ШТРИХОВОЙ ШКАЛЫ ПРИ ПОМОЩИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОМПАРАТОРА ИЗА-7

Цель работы: определить погрешность интервала деления штриховой шкалы.

Оборудование

1. Компаратор горизонтальный ИЗА-7 – 1 шт.
2. Шкала стеклянная штриховая – 1 шт.

Основные положения

Компаратором называется прибор, при помощи которого производится сравнение и поверка линейных мер. Компараторы разделяются на штриховые и концевые. Штриховые предназначены для измерения расстояния между штрихами линейных мер, при помощи концевых измеряется длина различных деталей или расстояние между элементами детали. Штриховые компараторы делятся на две группы в зависимости от направления перемещения сравниваемых масштабов.

Если параллельно расположенные масштабы при измерении перемещаются в направлении, перпендикулярном к их длине, компаратор называется поперечным. В случае перемещения масштабов в направлении длины компаратор называется продольным. При этом в продольных компараторах масштабы располагаются параллельно друг другу или один за другим по одному направлению, т. е. соблюдается принцип Аббе (компараторный принцип), который заключается в том, что образцовая и поверяемая меры располагаются последовательно или линия измерения продолжает линию шкалы. При компарировании можно смещать или микроскопы относительно неподвижных мер, или меры относительно неподвижных микроскопов. В последнем случае при прочих равных условиях точность измерения выше.

Погрешность измерения в микрометрах

$$\sigma = \pm \left(0.9 + \frac{L}{300 - 4h} \right),$$

где L — измеряемая длина, мм;

h — высота плоскости измеряемого объекта над плоскостью шкалы компаратора, мм.

Описание и принцип действия прибора

Горизонтальный компаратор предназначен для линейных измерений в пределах 0... 200 мм, В качестве отсчетного устройства используется микроскоп со спиральным окулярным микрометром с ценой деления 0,001мм и увеличением 61,5^x.

Измерение длин на компараторе (рис. 1.1) производится путем сравнения измеряемой длины объекта со штриховой линейной шкалой прибора при помощи двух микроскопов, расстояние между которыми постоянно и оптические оси которых параллельны. Один микроскоп 6 (визирный, увеличение 10,5^x, поле зрения 12 мм) служит для наведения на штрих или точку измеряемого объекта, второй 4 (отсчетный, со спиральным окулярным микрометром) — для отсчета по шкале прибора.

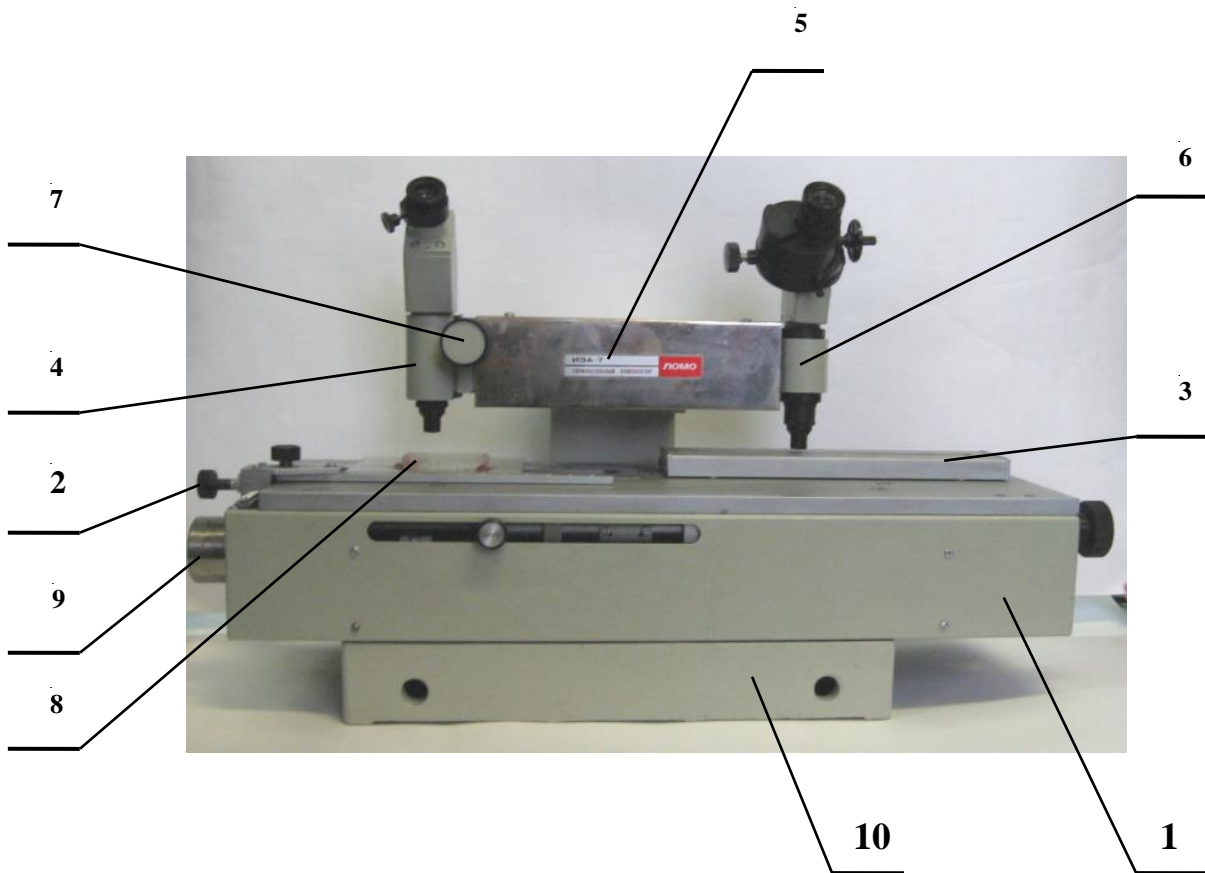


Рисунок 1.1 – Компаратор горизонтальный ИЗА-7

Измеряемый объект устанавливается и закрепляется на подвижном столе 1 прибора под визирным микроскопом; на этом же столе под отсчетным микроскопом укреплена стеклянная миллиметровая штриховая шкала 3 с ценой деления 1 мм, по которой в процессе измерения производятся соответствующие отсчеты.

Конструкция прибора обеспечивает полное соблюдение принципа продольного компаратора: измеряемый объект может быть установлен на столе так, что его ось будет прямолинейным продолжением оси штрихов

шкалы; ось штрихов шкалы совпадает с направлением движения стола.

Миллиметровая шкала освещается при помощи зеркала; изображение ее штрихов совмещается в поле зрения микроскопа с плоскостью вращающейся шкалы, на которой нанесены витки двойной спирали Архимеда и сто делений круговой шкалы. Цена деления отсчетного микроскопа — 0,001 мм.

Конструкция

Компаратор состоит из основания 10, подвижного стола /, визирного 6 и отсчетного 4 микроскопов. Массивное основание 10 имеет дугообразную форму. Приливы на нем позволяют установить прибор горизонтально и под углом 45°. В нижней его части прочно укреплен цилиндрическая направляющая 9, по которой перемещается стол 1. Параллельно цилиндрической к основанию прикреплен прямоугольная направляющая, которая служит второй опорой предметного стола.

В верхней части основания имеется траверса 5, на ней установлены оба микроскопа. Хромированный экран предохраняет ее от нагревания. На основании смонтированы также два зеркала для освещения шкалы компаратора и измеряемого объекта.

Подвижный стол служит основанием, на котором крепится объект. На нем же закреплена шкала компаратора.

Предварительная установка стола производится непосредственно от руки, для чего освобождается стопорный винт; тонкая подача осуществляется микрометрическим винтом 2. Для правильной установки измеряемого объекта относительно оси измерения служит линейка 8, с помощью которой можно перемещать объект перпендикулярно к оси измерения и разворачивать его на небольшой угол, предварительно открепив зажимной винт.

Температурный режим прибора контролируется термометром. В правой части стола укреплен аттестованная стеклянная миллиметровая шкала 3; в левой части имеются отверстия, в которые вставляются зажимы, закрепляющие измеряемый объект.

Визирный микроскоп необходим для наводки на штрихи, точки объекта и т. д. Его перемещение относительно траверсы (при фокусировке) осуществляется с помощью маховичка 7. Для получения большего увеличения визирного микроскопа (до 10,5^x) объектив завинчивают на несколько оборотов и закрепляют контргайкой.

Окуляр визирного микроскопа выдвигной. В тубусе он закрепляется стопорным винтом. Резьба объектива и диаметр окуляра стандартные, что позволяет пользоваться различными объективами и окулярами других микроскопов.

Отсчетный микроскоп со спиральным окулярным микрометром служит для отсчета по шкале компаратора. Он неподвижно укреплен на правом конце траверсы. Установка объектива здесь постоянна и наблюдателем

изменяться не может. Наводку витков сетки спирального микрометра на штрих шкалы прибора производят с помощью маховичка. Спиральный окулярный микрометр можно перемещать в направлении движения стола прибора вращением маховичка, предварительно открепив зажимной винт. Этим перемещением достигается установка шкалы на целое число при первом отсчете, что значительно облегчает вычисления при последующей обработке результатов измерений. При более точных измерениях нужно передвинуть окулярный микрометр в среднее положение и закрепить зажимы винтом.

Для увеличения резкости изображения служит съемная диафрагма окуляра отсчетного микроскопа с зеленым светофильтром. Зеркала для освещения шкалы компаратора и измеряемого объекта имеют по две рабочие поверхности — плоскую с зеркальным отражением и сферическую матовую с рассеивающим отражением. Первая применяется при рассеянном (дневном) свете, вторая — при направленном (лампе накаливания).

Задание по работе

1. Изучить устройство и работу прибора.
2. Произвести аттестацию штриховой шкалы.
3. Построить график погрешностей штрихов шкалы по всей длине.
4. Дать заключение о годности.

Порядок выполнения работы

1. Установить измеряемую шкалу. Измеряемый объект должен быть размещен на столе так, чтобы линия измерения его была параллельна ходу стола (установка объекта в горизонтальной плоскости) и чтобы сохранилась одинаковая резкость изображения в начальном и конечном его пунктах при перемещении стола (установка в вертикальной плоскости).

Установку в горизонтальной плоскости производят следующим образом: при помощи линейки объект перемещается перпендикулярно к линии измерения до тех пор, пока штрихи или точки не попадут в поле зрения микроскопа и конец какого-либо штриха (например, нулевого) не совместится с концом биссектора или с перекрестием нитей. Перемещая стол, наблюдают, нет ли переноса линии измерения объекта относительно оси продольного хода стола. В случае перекоса измеряемый объект поворачивают с помощью линейки в нужном направлении.

Установку объекта в вертикальной плоскости проверяют по резкости изображения, которая в начальной и конечной точках должна быть одинаковой. Это обычно обеспечивается параллельностью верхней и нижней плоскостей объекта, в противном случае необходимо устранить наклон по высоте при помощи подкладок. После этого закрепляют объект прижимами и еще раз проверяют параллельность линии измерения оси продольного хода

стола и фокусировку визирного микроскопа.

2. Установить спиральный микрометр в среднее положение. Для этого открепляют зажимной винт и маховичком перемещают микрометр в крайнее правое или левое положение. Далее, действуя маховичком в обратном направлении и наблюдая по шкале компаратора, перемещают микрометр на 0,5 мм, что и будет соответствовать приблизительно среднему положению спирального микрометра. После этого закрепляют винт.

3. Ввести начальный штрих измеряемой шкалы в биссектор визирного микроскопа. Для этого, открепив стопорный винт, перемещать стол до тех пор, пока начальный штрих не будет введен в поле зрения микроскопа. Затем, закрепив стопорный винт, осуществить точную наводку с помощью микрометрического винта.

4. Произвести отсчет по спиральному окулярному микрометру. (Наводку на штрих и отсчет повторить 3 - 5 раз, за результат принимать среднее значение.)

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Средства измерения и их метрологические характеристики.
3. Результаты измерений в виде таблицы:

Проверяемая точка шкалы	Показания прибора			Среднее значение	Погрешность проверяемой шкалы
	1	2	3		

4. График погрешности проверяемой шкалы.
5. Заключение о годности.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия компаратора.
2. Устройство спирального окулярного микрометра.
3. Анализ схемы аттестации штриховой шкалы.

Литература

Ковалев Л.Д., Суровой С.Н. Приборы для измерения линейных и угловых величин. – Мн.: БГПА, 2001.

Лабораторная работа №2

ПРОВЕРКА КРУГОВОЙ ШКАЛЫ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

Цель работы: изучение прибора и определение погрешности нанесения делений круговой шкалы.

Оборудование

1. Оптическая делительная головка ОДГЭ-2 – 1 шт.
2. Поверяемая шкала – 1 шт.
3. Визирный микроскоп – 1 шт.

Основные положения

Точность прибора зависит не только от ошибок кинематических, т. е. ошибок перемещения, но и от точности отсчетов этих перемещений, осуществляющихся с помощью шкальных механизмов. К основным деталям шкальных механизмов относят стрелки и шкалы; дисковые, чашечные, тарелочные, барабанные и др. Для оценки погрешности расположения штрихов круговой шкалы может быть использована оптическая делительная головка совместно с визирным микроскопом.

Назначение прибора

Головки делительные оптические ОДГЭ-2, ОДГЭ-5 и ОДГЭ-20 предназначены для угловых измерений и делительных работ.

В сочетании с другими приборами - микроскопом, индикатором, горизонтальные длинномеры - делительные головки применяются для измерения параметров кулачков, коленчатых валов, зубчатых деталей и червячных фрез.

Делительные головки используются в лабораториях и цехах Машино- и приборостроительных заводов и в научно- исследовательских институтах.

Приборы рассчитаны на эксплуатацию в закрытых помещениях при температуре окружающего воздуха $(20^{\circ} \pm 30')$ $^{\circ}C$, скорости изменения температуры в рабочем пространстве не более $0,5^{\circ}C$ в течение 1 часа, относительной влажности не более 80%. Основные параметры и размеры указаны в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Основные параметры и размеры делительных головок

Наименование	Норма		
	ОДГЭ-2	ОДГЭ-5	ОДГЭ-20
Пределы изменения углов с помощью основного лимба		0 – 360n , где n -1,2,3...	
Предел допускаемой погрешности при измерении любого угла на любом участке лимба ,не более	$\pm (2 + \sin \frac{\alpha}{2})$	$\pm (5 + 5 \sin \frac{\alpha}{2})$ α -измеренный угол	± 20
Погрешность измерений шкалой компенсатора, ...”,не более	2	5	10
Предел допускаемого среднего квадратичного отклонения погрешности наведения для 20-ти совмещений бифиляров (штрихов),...”,не более	0.5	1	4
Углы установки шпинделя относительно основания (параллельно и перпендикулярно),...”	0 и 90	0 и 90	0 и 90
Видимое расстояние между соседними штрихами наименьшего деления шкалы отсчётного устройства, мм, не менее	2	2	2
Высота центров, мм, не более	150	150	150
Диаметр измеряемого в центрах изделия, мм, не более	300	300	300
Длина измеряемого в центрах изделия, мм, не более: При малой станине При большой станине	600 1100	600 1100	600 1100
Цена деления основного лимба, ...’, не более	10	10	60
Цена наименьшего деления шкалы поворота шпинделя вокруг своей оси, ...”, не более	2	5	20
Цена деления лимба грубой установки, ...	1	1	1

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ

Оптическая схема

Оптическая схема головок ОДГЭ-5 и ОДГЭ-2 показаны на рис.2.1. Свет от источника излучения через гибкие светодиоды освещает диаметрально противоположные штрихи лимба 1. Лимб имеет деления через $10'$ с оцифровкой каждого штриха в градусах и десятках минут. Например: $232^{\circ}2'$, $232^{\circ}3'$ и т.д.

Изображения диаметрально расположенных штрихов лимба вместе с оцифровкой переносятся объективами 2 совместно с линзовым компенсатором 16 и призмами 3,4 в плоскость разделительного блока 5, состоящего из двух склеенных прямоугольных призм. На гипотенузе одной из призм нанесен отражающий слой, покрывающий одну половину площади гипотенузы. Граница этого слоя образует линию раздела, перпендикулярно которой изображаются штрихи основного лимба.

Линзы 6 и 9 вместе с призмами 7 и 10 переносят изображение штрихов в плоскость круговой шкалы 11, кинематически связанной с компенсаторами 16.

Линзы 6 и 9 установлены таким образом, что между ними образован параллельный ход лучей. Это позволяет установить между ними призму Дове 8. Разворотом этой призмы можно добиться необходимого поворота изображения оцифрованных штрихов основного лимба в плоскости шкалы 11 компенсатора. Шкала имеет деления, градуированные в минутах и секундах, а весь ее предел от $0'00''$ до конечного штриха с оцифровкой $10'00''$ соответствует одному интервалу деления основного лимба в пределах $10'$. Система так собрана и отъюстирована, что на шкале 11 будут видны номинально совмещенные штрихи, расположенные на одном диаметре. А оцифровка штрихов шкалы располагается на продолжении оцифровки основного лимба.

Все изображение линзами 12, 13 и призмой 14 переносится в плоскость экрана 15.

Применение в схеме двухстороннего отсчета практически исключает ошибку эксцентриситета лимба.

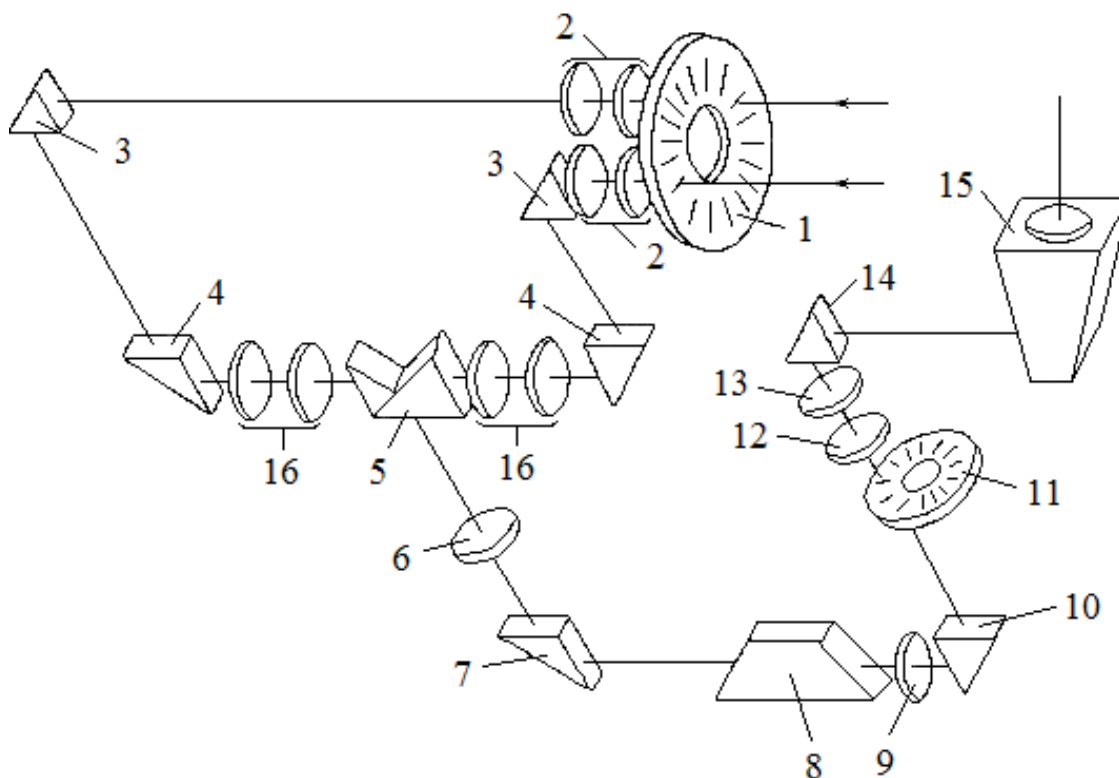


Рисунок 2.1 - Оптическая схема делительных головок ОДГЭ-5 и ОДГЭ-2

Принцип действия

Головки делительные оптические ОДГЭ-2, ОДГЭ-5 и ОДГЭ-20 представляют собой высокоточные измерительные приборы с отсчётным устройством проекционного типа. Принцип действия приборов заключается в одновременном вращении вокруг одной и той же оси угломерного лимба и закреплённого поверяемого изделия. Такой осью является шпиндель головки, на котором жёстко закреплён угломерный лимб и устанавливается поверяемое изделие.

Устройство прибора

Составные части

Прибор состоит из двух основных частей (рис.2.2)

- головки 1;
- осветителя 4.

В комплект головки входят также:

- станина 2;
- задняя бабка 3.

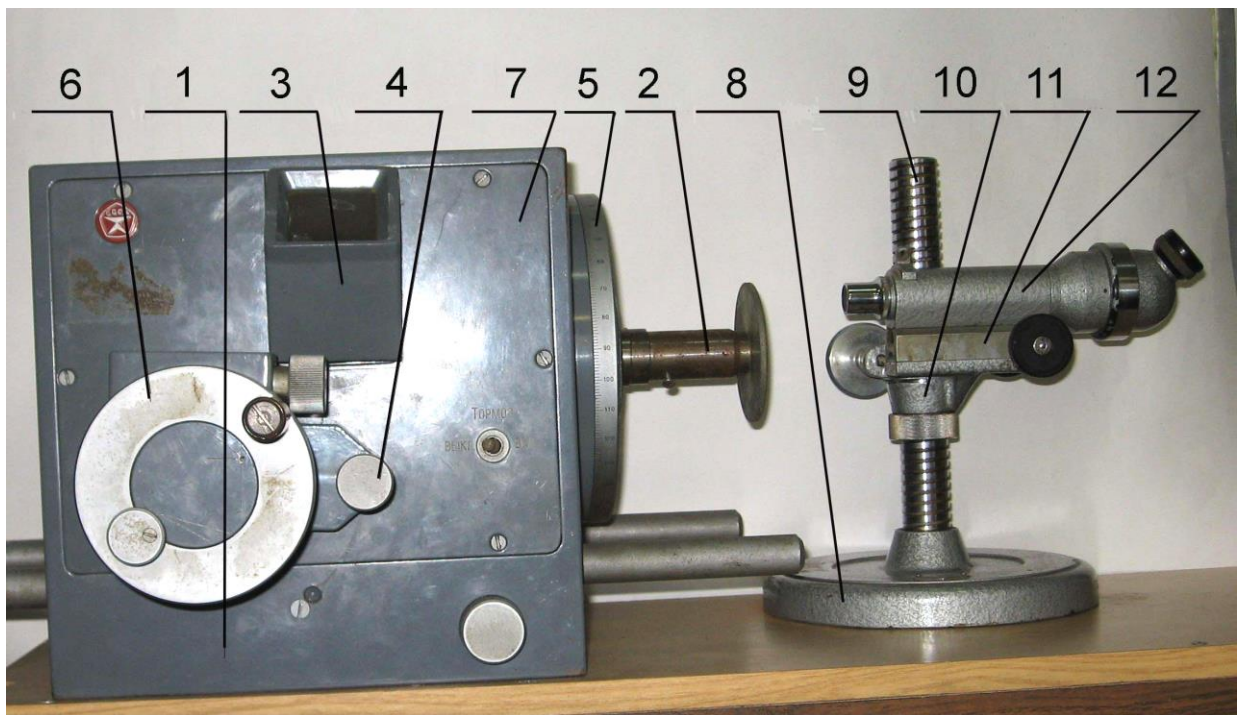


Рисунок 2.2 - Общий вид установки

Устройство головки

Основной частью прибора является корпус 1, на котором крепятся все узлы (рис.2.2). Он представляет собой цельную жесткую чугунную конструкцию, имеющую два взаимно перпендикулярных основания. В корпусе с помощью подшипников скольжения закреплён шпиндель 2. На шпинделе неподвижно закреплены экранный лимб 3 и вспомогательный лимб 5 грубой настройки. При установке головки на плите шпиндель может занимать два положения: горизонтальное и вертикальное.

Для закрепления измеряемых и обрабатываемых деталей, а также центра в шпинделе имеется коническое отверстие (конус Морзе №4).

В нужном положении шпиндель фиксируется зажимом. На передней панели прибора крепится привод вращения 6 шпинделя. Привод приводится в движение при помощи червяка, сцепляющегося с червячным колесом, жестко закреплённым на шпинделе. Из зацепления с червячным колесом червяк выводится при помощи эксцентрика поводком 4. Поворот шпинделя от руки осуществляется с помощью маховика 6. Чтобы предохранить червяк от ударов при сцеплении, нужно одновременно с включением вращать маховик.

В кожухе маховика грубой установки предусмотрен предохранительный механизм, который в случае приложения больших моментов позволяет поворачивать маховик относительно червяка. Это исключает повреждение червячного зацепления и возможность сбиваемости установки шпинделя при случайных поворотах маховика.

Доступ к оптическим узлам, находящимся внутри прибора, возможен через окна, закрытые крышками 7 в корпусе головки. На передней панели расположен экран 3.

Для удобства эксплуатации плоскость экрана наклонена под углом 45 градусов к оператору.

ОПИСАНИЕ ВИЗИРНОГО МИКРОСКОПА (ВМ)

Визирный микроскоп ВМ является вспомогательным приспособлением к оптической делительной головке и предназначен для визирования на штрихи шкал, зубья шестерен, отверстия делительных дисков и т.д.

Основные характеристики

Увеличение микроскопа

24^x

Поле зрения

5 мм

Диапазон перемещения тубуса реечным механизмом

70 мм

Габариты микроскопа

350*200*550

мм

Масса микроскопа

8,5 кг

Внешний вид микроскопа ВМ показан на рис.2.2 , где 8 – основание, 9- стойка, 10 – кронштейн, 11 – тубусодержатель, 12 – тубус.

Микроскоп ВМ можно установить двояко. В первом варианте кронштейн не употребляют и тубусодержатель закрепляют непосредственно на стойке. При этом ось тубуса располагают в горизонтальной плоскости под надлежащим углом к оси шпинделя делительной головки и в микроскоп визируют выбранные точки изделия, закреплённого в шпинделе.

Второй вариант установки применяют при контроле изделия больших размеров, которые не могут быть закреплены в горизонтально расположенном шпинделе, имеющем высоту центра 130 мм. В этом случае ось шпинделя закрепляют в вертикальном положении и тубус микроскопа устанавливают над поверяемым изделием с помощью кронштейна.

Для удобства наводки на штрих поверяемой шкалы на зуб шестерни окулярная сетка микроскопа имеет биссекторы и перекрестья с углом 15° и 20°, которые можно подводить к центру поля зрения окуляра, вращая сетку вокруг оси тубуса.

Осветитель микроскопа питается от трансформатора оптической делительной головки.

Точность измерений

Точность, получаемая при использовании приборов для измерений и для обработки, зависит от многих факторов.

Особо следует выделить степень совпадения оси вращения шпинделя с осью измеряемой или обрабатываемой детали. Достаточно заметить, что эксцентриситет в 0,001 мм при диаметре детали 100 мм даёт погрешность в 8". Поэтому необходимо проверять перед работой биение детали, когда она

зажата в центрах. Детали, закрепляемые в шпинделе на весу, для особо точных работ должны быть отцентрированы наиболее тщательно с применением чувствительной пружинной головки с ценой деления от 0,0005 мм до 0,0001 мм.

Погрешность головок определяется по следующим формулам:

$$\Delta\varphi = \pm \left(2 + 2 \sin \frac{\alpha}{2} \right)'' \quad \text{для ОДГЭ-2;}$$

$$\Delta\varphi = \pm \left(5 + 5 \sin \frac{\alpha}{2} \right)'' \quad \text{для ОДГЭ-5;}$$

$$\Delta\varphi = \pm 20'' \quad \text{для ОДГЭ-20;}$$

где α - разность углов двух установок.

При практических измерениях на величину погрешности прибора влияют величина децентровки детали, закреплённой в шпинделе, несоосность линии центров головки и задней бабки, субъективные ошибки оператора, вибрации и т.д. Поэтому при точных измерениях необходимо влияние указанных факторов сводить к минимуму.

Задание по работе

1. Изучить устройство прибора.
2. Определить погрешности нанесения больших делений круговой шкалы.

Порядок выполнения работы.

а) проверяемая шкала устанавливается на оправке, закреплённой в шпинделе делительной головки.

б) визирный микроскоп устанавливается таким образом, чтобы штрихи шкалы можно было наблюдать между биссекторными штрихами микроскопа.

в) поочерёдно визировать большие деления поверяемой шкалы с помощью биссекторных штрихов микроскопа и производить отсчёт по круговой шкале делительной головки.

Результаты измерений занести в таблицу.

г) определить погрешности нанесения штрихов шкалы.

Таблица 2.2

Ин-тер-вал	Отсчёты по делительной головке, в град,мин,сек.			Действительные значения интервалов, в град,мин,сек			Среднее значение интервала	Абсолютная погрешность нанесения штрихов
	1	2	3	1	2	3		

Содержание отчёта

1. Наименование и цель работы.
2. Схема поверки круговой шкалы.
3. Таблица 2.2. с результатами измерений.
4. График погрешностей шкалы.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия оптической делительной головки.
2. Анализ принцип возникновения погрешностей изготовления поверяемой шкалы.

Литература

1. Иванов А.Г. и др. Измерительные приборы в машиностроении. Изд. «Машиностроение». М, 1985.
2. Коломийцев Б. и др. Оптические приборы для измерения линейных и угловых величин в машиностроении. Изд. «Машиностроение». М, 1964.

Лабораторная работа №3

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СФЕРОМЕТРА

Цель работы: анализ точности косвенных измерений при помощи сферометра.

Оборудование

1. Сферометр ИЗС-7 - 1 шт.
2. Линза – 2 шт.
3. Плоская пластина – 1 шт.

Основные положения

Сферометр ИЗС-7 предназначен для измерения радиусов кривизны выпуклых и вогнутых сферических поверхностей.

Технические характеристики сферометра.

Предел измерения радиусов _____ 10 -1000 мм

Пределы измерения по шкале _____ 30 мм

Цена деления основной шкалы _____ 1 мм

Цена деления спирального окулярного микрометра _____ 0,001 мм

Увеличение микроскопа _____ 62^x

Относительная погрешность измерения не более _____ 0.04%

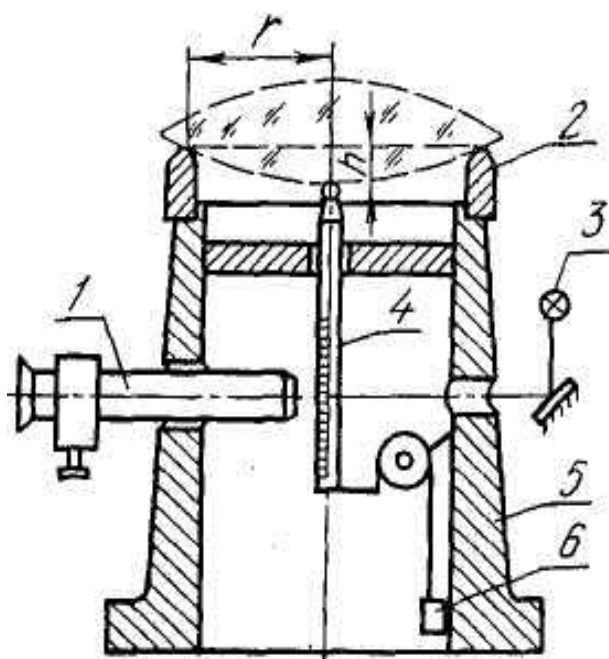


Рисунок 3.1 – Схема метрологическая

Внутри корпуса 5 (рис. 3.1) расположен измерительный стержень с миллиметровой шкалой, которая под действием груза поднимается, обеспечивая контакт сферического наконечника с измеряемым изделием .

В верхней части корпуса находится площадка, на которую помещают опорные кольца 2 (диаметрами 120, 85, 60, 42, 30, 21, 15мм) с укрепленными на них тремя шариками. Действительные значения радиусов окружностей, проходящих через центры шариков, и радиусов шариков приведены в аттестате прибора. Если вес измеряемого изделия недостаточен, чтобы преодолеть измерительное давление, применяют упор , который прижимает изделие к кольцу .

Отсчет по миллиметровой шкале производят с помощью измерительного микроскопа со спиральным окулярным микрометром 4. Для перемещения измерительного стержня служит рычаг-арретир 7. Освещение шкалы осуществляется лампочкой 8 от сети напряжением 127-220 В через трансформатор.

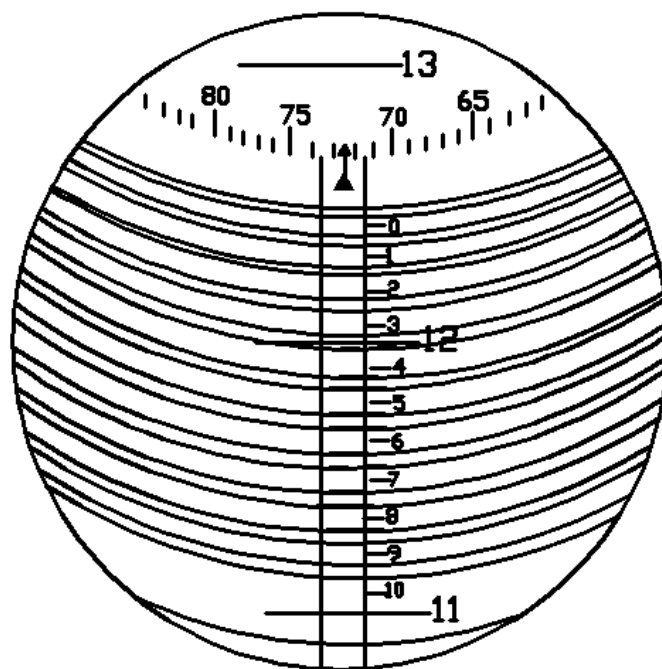


Рисунок 3.2 – Поле зрения микроскопа

Отсчет по спиральному окулярному микрометру производят следующим образом: в поле зрения микроскопа (рис. 3.2) одновременно видны два-три штриха миллиметровой шкалы (11, 12 и 13), неподвижная шкала в десятых долях миллиметра с делениями от 0 до 10, круговая (микронная) шкала в сотых и тысячных долях миллиметра и одиннадцать

двойных витков спирали. Маховиком 5 (рис. 3.1) подводят двойной виток спирали так, чтобы миллиметровый штрих, находящийся в зоне двойных витков, оказался точно посередине между линиями витка. На рис.3.2 миллиметровый штрих 12 прошел нулевой штрих шкалы десятых долей миллиметров, ближайший штрих 13 еще не дошел до нулевого штриха. Отсчет будет 12 мм плюс отрезок между штрихами 12 и 0, т.е. около 0,3 мм. Сотые и тысячные доли отсчитываются по круговой шкале. Указатель отсчета - стрелка. Цена деления круговой шкалы 0,001 мм.

На рисунке 3.2 стрелка прошла деление 72 и часть 73, которую определяют на глаз (она примерно равна 0,5 деления круговой шкалы). Окончательный отсчет будет 12,2725 мм.

Радиус сферы с помощью сферометра измеряется косвенным способом. Непосредственно на сферометре измеряется высота шарового сегмента. Для этого на прибор устанавливается опорное кольцо подходящего для измерения линзы диаметра. На шарики опорного кольца ставится плоская пластина, с помощью арретира измерительный наконечник доводится до соприкосновения с ее поверхностью и производится отсчет по окулярному микрометру. Такую операцию производят 5 раз и получают 5 отсчетов X_1, X_2, \dots, X_5 . Затем вместо плоской пластины на кольцо кладут измеряемую линзу и также производят 5 отсчетов: Y_1, Y_2, \dots, Y_5 .

По каждой серии из 5 отсчетов вычисляют среднее арифметическое x и y . Разность этих средних представляют собой результат измерения высоты сегмента:

$$h = |\bar{x} - \bar{y}| \quad (3.1)$$

Радиус кривизны измеряемой линзы вычисляется затем по одной из формул:

$$R_{\text{вып}} = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2} - \rho \quad (3.2.1)$$

Или

$$R_{\text{вог}} = \frac{r^2}{2h} + \frac{h}{2} + \rho \quad (3.2.2)$$

где $R_{\text{вып}}$ - радиус выпуклой поверхности,

$R_{\text{вог}}$ - радиус вогнутой поверхности;

ρ - радиус шариков кольца;

r - радиус опорного кольца (указан в аттестате сферометра).

Для повышения точности измерения в среднее арифметическое отсчетов X и Y можно внести поправки, указанные в аттестате шкалы сферометра.

Содержание работы

Лабораторная работа состоит из следующих частей:

1. Составление метрологической схемы прибора с кратким ее описанием и рассмотрением принципа действия сферометра (метода измерения).

2. Анализ метрологической схемы, в результате которого должны быть составлены перечни источников систематической погрешности измерения радиусов сферической поверхности и случайной погрешности измерения.

3. Экспериментальная оценка показателя случайной погрешности измерения - средней квадратической ошибки измерения радиуса.

Метрологическая схема сферометра должна дать четкое представление о методе измерения и принципе действия тех звеньев измерительной цепи, которые в данной конструкции являются оригинальными, а не унифицированными. Таким образом, в схеме не нужно раскрывать принцип действия спирального окулярного микрометра, используемого во многих оптико-механических приборах. В то же время метрологическая схема должна дать возможность выявить основные источники погрешности измерения данным прибором. Следовательно, для такого элемента прибора, как опорное кольцо, необходимо показать на схеме, как оно устроено.

Краткое описание метрологической схемы прибора, в сущности, представляет собой описание метода измерения. Следует только иметь в виду, что с помощью сферометра непосредственно измеряется высота шарового сегмента, а не радиус сферы. Следовательно, описание метода измерения должно включать в себя также и формулу для расчета радиуса сферы по результатам непосредственных измерений. Как известно, погрешность измерения можно представить как сумму двух слагаемых: систематической и случайной погрешностей. Систематическая погрешность при повторении измерения одной и той же величины одним и тем же прибором в тех же условиях остается неизменной (или меняется по определенному виду вследствие износа рабочих поверхностей прибора, изменения температуры его частей и т. п.). Случайная погрешность при повторном измерении принимает другое значение, случайным образом отличающееся от значения при первом измерении.

Как систематическая, так и случайная погрешности складываются под действием многих факторов - источников ошибок. Анализ правильно составленной метрологической схемы дает возможность выявить все основные источники ошибок, например: неточность изготовления того или иного элемента прибора, ошибки настройки прибора на нуль, ошибки отсчета, перекосы измерительного стержня прибора в пределах зазора в направляющих и т.п. Перечни таких источников погрешности измерения радиуса сферической поверхности на сферометре должны быть составлены отдельно для систематической и случайной

погрешностей.

Для экспериментальной оценки величины систематической погрешности измерения радиуса требуется наличие линзы, радиус которой аттестован с высокой точностью. Оценка случайной погрешности получается значительно проще путем многократного измерения одной и той же, пусть неизвестной величины.

Случайная погрешность измерения радиуса сферы характеризуется ее средней величиной δ_k .

Радиус сферы является функцией трех величин: h , r и p . Из трех величин только h имеется при повторном измерении. Поэтому случайная погрешность измерения сферы оказывается функцией одной случайной величины – погрешности измерения высоты сегмента. Следовательно, по известной формуле теории вероятности σ_r выражается через σ_n следующим способом:

$$\sigma_R = \left| \frac{dR}{dH} \right| \times \sigma_n = \frac{1}{2} \left(\frac{r^2}{h^2} - 1 \right) \times \sigma_n \quad (3.3)$$

Таким образом, экспериментально определить надо величину средней квадратичной погрешности измерения высоты сегмента.

Ранее было указано, что высота сегмента h определяется на приборе как разность:

$$h = |\bar{x} - \bar{y}|,$$

где \bar{x} - среднее арифметическое из 5 отсчетов по плоской пластине,

\bar{y} - среднее арифметическое из 5 отсчетов по измерительной поверхности.

Следовательно:

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (3.4)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_x^2}{5} \quad (3.5.1)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sigma_y^2}{5}, \quad (3.5.2)$$

где σ_x и σ_y - средние квадратические ошибки отсчетов сферометром по плоской пластине и по измеряемой поверхности соответственно.

Поскольку условия измерения в обоих случаях в сущности

одинаковы, можно считать, что $\sigma_x = \sigma_y$.

И тогда:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{2}{5}} \times \sigma_y \approx 0.63\sigma_y \quad (3.6)$$

Таким образом, задача сводится к оценке величины σ_x . Для ее оценки достаточно сделать несколько (n) отсчетов на приборе по измеряемой поверхности: Y_1, Y_2, \dots, Y_n и вычислить оценку:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.7)$$
$$\bar{Y} = \frac{1}{n} * \sum Y_i$$

Перед этим, однако, нужно решить вопрос о том, сколько отсчетов сделать, т.е. чему равно n . От числа отсчетов зависит точность оценки величины σ_y и, следовательно, σ_n и σ_R . Известно, что если требуется получить оценку σ с относительной ошибкой, которая с некоторой вероятностью не превышает заданной величины ε , то нужно сделать n измерений, где

$$n \geq \frac{1}{2} \left(\frac{Z_{\frac{1+\alpha}{2}}}{\varepsilon} \right)^2 \quad (3.8)$$

В этой формуле $\frac{Z_{\frac{1+\alpha}{2}}}{\varepsilon}$ - квантиль нормального табличного распределения. Формула 3.3 дает величину σ_R в единицах длины. Представляет интерес и относительная величина средней квадратичной ошибки измерения радиуса сферы, для чего σ_R нужно разделить на радиус сферы R .

Порядок выполнения работы

1. По описанию сферометра и инструкции по пользованию им ознакомиться с конструкцией прибора и научиться производить измерения.
2. Для линзы, радиус которой будет измеряться в работе, подобрать опорное кольцо и записать в журнал его радиус r и радиус шариков p (из аттестата прибора).
3. Определить радиус сферы линзы R по формуле (3.2.1) или (3.2.2), сделав для этого по 5 отсчетов по плоской пластине и измеряемой линзы.
4. По формуле 3.8 определить необходимое число отсчетов n , принимая $\varepsilon=0,3$ и $\alpha=0,95$ и сделать дополнительно ($n=5$) отсчетов по измеряемой линзе.
5. Для n отсчетов вычислить оценку σ_x по формуле 3.7, а затем по формулам 3.3

- оценку σ_R .

6. Вычислить относительную величину средней квадратической ошибки измерения радиуса сферы (в процентах).

Все данные и результаты вычислений занести в журнал.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Метрологическая схема измерения.
3. Результаты измерений.
4. Анализ полученных данных.

Контрольные вопросы

1. Какие измерения называются косвенными?
2. Что такое метрологическая схема.
3. Какие погрешности называются систематическими, а какие случайными?
4. Какими показателями характеризуется случайная погрешность измерения?

Литература

Ковалев Л.Д., Суровой С.Н. Приборы для измерения линейных и угловых величин. – Мн.: БГПА

Приложение А

Квантили нормального распределения

$(1 + \alpha) / 2$	U_α	$Z_{((\alpha+1)/2)}$
0.690	1.282	1.645
0.91	1.341	1.695
0.92	1.405	1.751
0.925	1.440	1.780
0.93	1.476	1.812
0.94	1.555	1.881
0.95	1.645	2.054
0.96	1.751	2.170
0.97	1.881	2.241
0.975	1.960	2.241
0.980	2.054	2.576
0.990	2.326	2.512
0.991	2.366	2.697
0.993	2.457	2.748

0.994	2.512	2.807
0.995	2.576	2.878
0.996	2.652	
0.997	2.748	2.968
0.9975	2.807	3.024
0.9980	2.878	3.090
0.9996	3.090	3.290
0.9995	3.291	3.480
0.9999	3.719	3.885

Расчет радиусов кривизны сферических поверхностей

№ кольца	ρ шарика	R кольца
560001-1	10,220	60,082
560001-2	5,140	42,462
560001-3	4,324	30,018
560001-4	2,654	22,100
560001-5	2,319	15,132
560001-6	1,267	10,682
560001-7	1,242	7,508

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАННОГО МЕХАНИЗМА

Цель работы: аналитическое и экспериментальное определение коэффициентов влияния погрешностей длин звеньев механизма шарнирного четырехзвенника.

Оборудование

1. Макет преобразованного механизма- 1шт.

Основные положения

Основная формула линейной теории точности определяет погрешность измерительного устройства как линейную функцию первичных погрешностей:

$$\Delta S_T = \sum_{i=1}^n T_i \Delta q_i$$

где ΔS — погрешность измерительного устройства;

T_i — коэффициент влияния, учитывающий долю каждой первичной погрешности в суммарной погрешности;

Δq_i — первичные погрешности ($i=1,2, \dots, n$), т. е. погрешности элементов устройства.

Для определения коэффициентов влияния имеется несколько методов, в частности метод преобразованной цепи. Метод преобразованного механизма, разработанный академиком Н. Г. Бруевичем, — трансформация метода преобразованной цепи для измерительных цепей из механических преобразовательных элементов. В нем коэффициент влияния некоторой первичной погрешности определяется как передаточное отношение соответствующего преобразованного механизма.

Преобразованный механизм — это механизм с идеально точно выполненными звеньями, построенный на базе исследуемого механизма следующим образом. Ведущее звено закрепляется (у него отнимается возможность движения в том направлении, что и в исходном механизме), в него преобразуется звено, коэффициент влияния первичной погрешности которого отыскивается, причем движение его совпадает и по направлению и

по размеру с этой первичной погрешностью. Ведомое звено — то же, что и в исходном механизме, и движение его такое же.

Передаточное отношение преобразованного механизма отыскивается с помощью картины малых перемещений, которая строится по тем же закономерностям, что и план скоростей. В качестве ведущего малого перемещения принимается перемещение ведущего звена преобразованного механизма в направлении и на размер исследуемой первичной погрешности.

Метод преобразованного механизма — графоаналитический в том смысле, что если картина малых перемещений построена с точным соблюдением масштабов, то коэффициент влияния можно найти как отношение отрезка картины малых перемещений, изображающего перемещение ведомого звена преобразованного механизма, к отрезку, изображающему перемещение ведущего звена преобразованного механизма (т. е. первичную погрешность). Однако то же отношение можно отыскать и аналитически, воспользовавшись геометрическими соотношениями и имея в виду, что отрезки картины малых перемещений параллельны или перпендикулярны к соответствующим звеньям преобразованного механизма.

Кроме того, метод преобразованного механизма позволяет отыскать коэффициент влияния экспериментально. В этом случае исследование проводится на макетах преобразованных механизмов, достаточно больших и точно изготовленных, чтобы погрешности изготовления деталей макета можно было считать пренебрежимо малыми по сравнению с заданными малыми перемещениями.

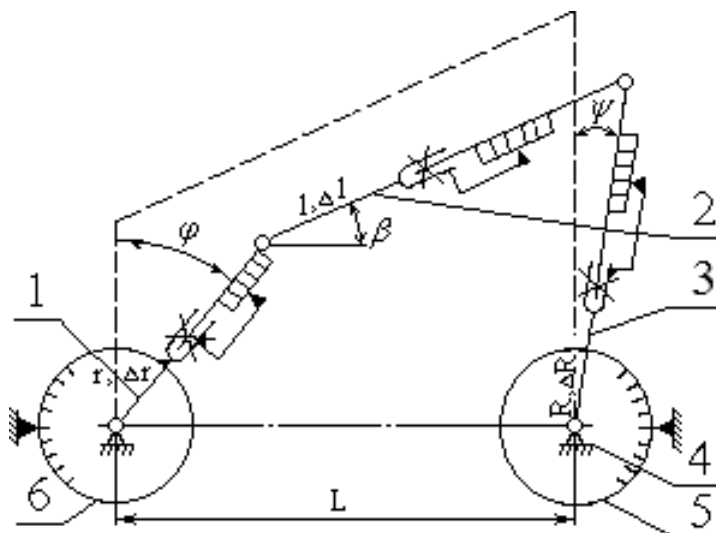


Рисунок 4.1 - Схема макета шарнирного четырехзвенника

Оборудование — макет шарнирного четырехзвенника с изменяемыми длинами кривошипа, шатуна в коромысла (рис. 4.1). Макет представляет

собой шарнирный четырехзвенник, состоящий из кривошипа 1, длина которого изменяется для того, чтобы можно было установить его длину r и обеспечить малое перемещение Δr ; такого же шатуна 2 (регулируемая длина l , малое перемещение Δl) и коромысла 3 (длина R , малое перемещение ΔR). Кривошип 1 и коромысло 3 вращаются вокруг осей в стойке 4. Расстояние L между осями — нерегулируемое. Угол поворота кривошипа φ отсчитывается по угловой шкале 6, а угол поворота коромысла ψ (ведомое звено) — по угломерной головке 5.

Задание по работе

1. Ознакомиться с устройством и работой макета.
2. Отыскать опытным и расчетным путем коэффициенты влияния первичных погрешностей.

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с заданием установить номинальное значение параметров $R_0 = 170 \text{ мм}$, $r_0 = 120 \text{ мм}$, $l_0 = 275 \text{ мм}$ и $\varphi_0 = 195^\circ$.

2. Проверить правильность установки по полученному значению. Допускается отклонение $\pm 5'$.

3. Задать малое перемещение $\Delta r = 10 \text{ мм}$ параметру r и определить $\Delta\psi(\Delta r)$. Для этого по отсчетному устройству параметра r установить значение $r_0 + \Delta r$, по устройству φ значение φ_0 . Затем по отсчетному устройству ψ определить значение угла $\psi_{изм}$ и $\Delta\psi(\Delta r) = \psi_{изм} - \psi_0$, причем операцию проделать трижды, всякий раз, заново осуществляя установку отсчетов $r_0 + \Delta r$ и φ_0 .

4. Определить коэффициент влияния

$$T_{\Delta r}^{эксп} = \frac{\Delta\bar{\psi}(\Delta r)}{\Delta r}$$

где $\Delta\bar{\psi}(\Delta r)$ — среднее арифметическое трех измерений.

5. Процедуру в соответствии с п. 3 и 4 проделать для малых перемещений $\Delta l, \Delta R$ и определить коэффициенты влияния:

$$T_{\Delta l}^{эксп} = \frac{\Delta\bar{\psi}(\Delta l)}{\Delta l}$$

$$T_{\Delta R}^{эксп} = \frac{\Delta\bar{\psi}(\Delta R)}{\Delta R}$$

6. Для погрешностей $\Delta r, \Delta l$ и ΔR построить преобразованные механизмы, картины малых перемещений и с их помощью отыскать расчетные значения коэффициентов влияния $T_{расч}$.

Примечания: 1. Из картины малых перемещений можно отыскать малое перемещение конца коромысла из-за наличия той или иной первичной погрешности (малого перемещения) $\Delta r, \Delta l$ или ΔR . Для отыскания коэффициентов влияния необходимо отношение соответствующих отрезков из картины малых перемещений умножить на l/R .

2. Расчетное значение коэффициента влияния отыскивается двумя способами: графически и графоаналитически. В первом случае необходимо при построении картин малых перемещений очень точно выдерживать масштабы и углы, и тогда непосредственным измерением определяются длины соответствующих отрезков картины малых перемещений и их отношение. При графоаналитическом способе отношение отрезков находится аналитически путем решения треугольников из картины малых перемещений.

7. Оформить отчет по работе.

Содержание отчета

1. Схема макета.
2. Номинальные значения параметров $R_0, r_0, l_0, L_0, \varphi_0, \psi_0$.
3. Заданные малые перемещения (первичны погрешности) $\Delta r, \Delta l, \Delta R$.
4. Экспериментально определенные значения $\Delta \bar{\psi}(\Delta r), \Delta \bar{\psi}(\Delta l), \Delta \bar{\psi}(\Delta R)$ и соответствующие значения коэффициентов влияния $T_{\Delta r}^{эксн}, T_{\Delta l}^{эксн}, T_{\Delta R}^{эксн}$.
5. Схемы преобразованных механизмов для каждой из трех первичных погрешностей и соответствующие картины малых перемещений.
6. Значения коэффициентов влияния, полученные из картин малых перемещений (графически и аналитически), $T_{\Delta r}^{расч(гр)}, T_{\Delta r}^{расч(ан)}, T_{\Delta l}^{расч(гр)}, T_{\Delta l}^{расч(ан)}, T_{\Delta R}^{расч(гр)}, T_{\Delta R}^{расч(ан)}$.

Контрольные вопросы

1. Понятие о преобразованном механизме.
2. Особенности экспериментального отыскания коэффициентов влияния.
3. Построение картины малых перемещений.

Литература

1. Коротков В. П., Тайц Б.А. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств – М. :Изд. стандартов, 1985.

Лабораторная работа №5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИНДИКАТОРА ЧАСОВОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Цель работы: выполнить анализ погрешностей показаний индикатора часового типа.

Оборудование

1. Длинномер ИЗВ-1 – 1 шт.
2. Индикатор часового типа ИЧ-10 – 1 шт.
3. Настраечное приспособление – 1 шт.
4. Набор концевых мер – 1 шт.

Основные положения

Инструментальная погрешность индикатора часового типа возникает вследствие наличия целого ряда погрешностей элементов, большинство из которых (эксцентриситет шкалы, кинематические погрешности зубчатых колес, погрешности профиля зубчатых колес) носит периодический характер. Поэтому и суммарная погрешность показаний индикатора, проявляющаяся в результате измерения как систематическая, является периодической функцией угла поворота стрелки (положения измерительного наконечника) и представляет собой сумму всех периодических элементарных составляющих.

Для выявления отдельных элементарных периодических составляющих воспользуемся разложением функции суммарной погрешности в тригонометрический ряд Фурье вида

$$y = a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + \dots \quad (5.1)$$

Ряд (5.1) бесконечный, и для удобства на практике его ограничивают, рассматривая исследуемую функцию как сумму n гармонических колебаний:

$$y \approx f_x = a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + a_n \cos nx + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + \dots + b_n \sin nx \quad (5.2)$$

В формуле (5.2) сумма

$$a_k \cos kx + b_k \sin kx = A_k \sin(kx + \varphi_k)$$

представляет k -ю гармонику с периодом $T_k = 2 \cdot \pi / k$, амплитудой A_k и начальной фазой φ_k .

Период каждой из интересующих гармоник определяется в результате

анализа схемы прибора, а амплитуды и начальные фазы из следующих соотношений:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{a_k}{b_k}.$$

Коэффициенты a и b определяются из опытных данных, при этом для характеристик n гармоник необходимо узнать экспериментально $2n+1$ ординат (значений функции $f(x)$) (5.2), т. е. погрешность показаний исследуемого прибора в $2n+1$ точках шкалы. Тогда коэффициенты a и b определяются следующим образом:

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n y_i \cos kx_i;$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} y_i \sin kx_i,$$

где n — количество ординат;
 k — порядковый номер исследуемой гармоники;
 y_i — ординаты, определенные экспериментально;
 x_i — соответствующие абсциссы.

Устройство индикатора часового типа и его основные погрешности

В процессе измерений перемещение измерительного наконечника 1 (рис. 5.1) передается через реечный триб 2 и жестко связанное с ним зубчатое колесо 3 на стрелочный триб 4. Отсчет снимается по шкале 5. При перемещении измерительного наконечника на 10 мм (диапазон показаний) реечный триб 2 и колесо 3 сделают один оборот, а стрелочный триб 4 — десять, причем стрелка 6 обежит шкалу 5 - 10 раз.

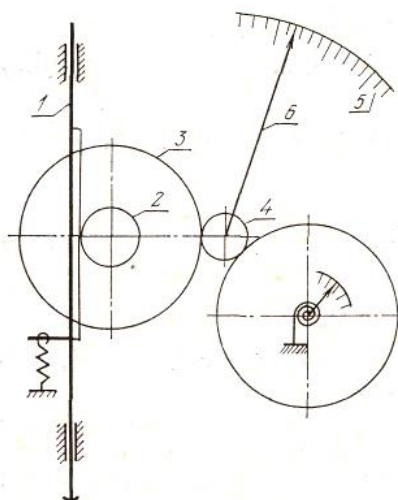


Рисунок 5.1 - Схема индикатора часового типа

Основные первичные погрешности, вызывающие погрешность

индикатора:

Δ_1 - накопленная погрешность шага рейки 1; Δ_2 — суммарный эксцентриситет блока «реечный триб 2 — зубчатое колесо 5»; Δ_3 — эксцентриситет стрелочного триба 4; Δ_4 — эксцентриситет шкалы 5; Δ_5 — погрешность профиля зубчатых колес 2, 3, 4, принимаемая одинаковой для всех колес.

Δ_1 — погрешность не периодическая, а, как правило, прогрессивная, и при обработке результатов ее следует исключать. $\Delta_2 \dots \Delta_5$ — погрешности периодические. Δ_2 — имеет период 2π , так как блок делает один оборот в диапазоне показаний, она составляет первую гармонику. Δ_3 и Δ_4 имеют одинаковый период $\pi/5$, так как стрелочный триб делает десять оборотов (для индикатора ИЧ-10), а стрелка 10 раз обегает шкалу. Это десятая гармоника Δ_5 складывается из трех составляющих:

- а) погрешности профиля триба 4 — 16-я гармоника;
- б) погрешности профиля колеса 3 — 100-я гармоника;
- в) погрешности профиля триба 2 — 100-я гармоника.

Таким образом, для точного определения всех гармоник необходимо знать погрешность индикатора в 201 точке шкалы (получить экспериментально 201 ординату), что трудно осуществить практически с достаточной точностью, кроме того, очень велик объем вычислений. Поэтому на практике при анализе погрешностей индикаторов часового типа ограничиваются определением 12 ... 13 ординат, т. е. первых 5... 6 гармоник. При этом равенство (5.2) выглядит следующим образом:

$$y \approx f_x = a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + a_3 \cos 3x + a_4 \cos 4x + a_5 \cos 5x + a_6 \cos 6x + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + b_3 \sin 3x + b_4 \sin 4x + b_5 \sin 6x. \quad (5.3)$$

Из равенства (5.3) можно получить шесть гармоник. Для определения гармоник более высоких порядков следует иметь в виду, что они обнаруживаются совместно с гармониками более низких порядков. Выбор гармоник производится по таблице 5.1.

Все гармоники, стоящие в одном вертикальном ряду, обнаруживаются совместно.

Таким образом, $\Delta_2 = \Delta_1$ и начальная фаза ее — φ_1 ; $(\Delta_3 + \Delta_4) = A_{10} = A_2$ и начальная фаза — φ_2 ; $\Delta_5 = A_4$ и начальная фаза — φ_4 .

Так как стрелочный триб и шкала не связаны жестко, погрешности Δ_3 и Δ_4 можно разделить. Для этого следует определить погрешность индикатора при одном положении шкалы y_i , а затем шкалу повернуть на 180° и снова определить погрешность индикатора y_i' . Найдя Δ_2 и φ_2 , A_2' и φ_2' , разделим Δ_3 и Δ_4 .

Расчетные формулы:

$$\Delta_3 = \frac{1}{2} \sqrt{A_2'^2 + (A_2')^2 + 2A_2 A_2' \cos(\varphi_2' - \varphi_2)};$$

$$\sin \varphi_{mp} = \sin \varphi_{\Delta} = \frac{1}{2\Delta_s} (A_2 \sin \varphi_2 + A_3 \sin \varphi_3);$$

Таблица 5.1. Совместное проявление гармоник

	1	2	3	4	5	6
12	11	10	9	8	7	18
	13	14	15	16	17	
24	23	22	21	20	19	...
	25	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	90
96	95	94	93	92	91	
	97	98	99	100	101	

$$\Delta_4 = \sqrt{A_2^2 + \Delta_3^2 - 2A_2\Delta_3 \cos(\varphi_2 - \varphi_{\Delta})}.$$

Определение погрешностей индикатора часового типа

Погрешность индикатора определяется путем сравнения перемещения его измерительного наконечника и соответствующего образцового перемещения шпинделя длиномера.

Индикатор 2 (рис. 5.1) закрепляется на шпинделе 3 длиномера 1. С помощью микрометрического винта 4 осуществляется установка соответствующего отсчета по шкале индикатора x_i и фиксируется отсчет по длиномеру Y_i , который снимается с помощью отсчетного микроскопа 5 со спиральным окулярным микрометром.

Порядок выполнения работы

1. Снять отсчеты по длиномеру, соответствующие 13 положениям стрелки индикатора x_i (см. отчет по работе, табл. 5.2, графа 3). Каждый отсчет снимается трижды с установкой показания индикатора заново; среднее арифметическое трех отсчетов Y_i заносится в четвертую графу табл. 5.2.

2. Первая операция повторяется после поворота шкалы индикатора на 180° . Результат Y_i' заносится в таблицу 5.2, графа 7.

3. Произвести обработку результатов:

а) определить погрешности показаний индикатора

$$y_i = Y_i - Y_0 - X_i;$$

$$y_i' = Y_i' - Y_0' - X_i'.$$

Результаты заносятся в табл. 5.2 графы 5 и 8;

б) построить графики погрешности индикатора (см. отчет по работе);

в) определить накопленную погрешность шага рейки

$$\Delta_1 = Y_{12} - Y_0 - 10 = y_{12} - y_0 = y_{12};$$

$$\Delta_1' = Y_{12}' - Y_0' - 10 = y_{12}' - y_0' = y_{12}', \quad \Delta_1 \approx \Delta_1' \text{ и исключить ее из результатов}$$

измерений.

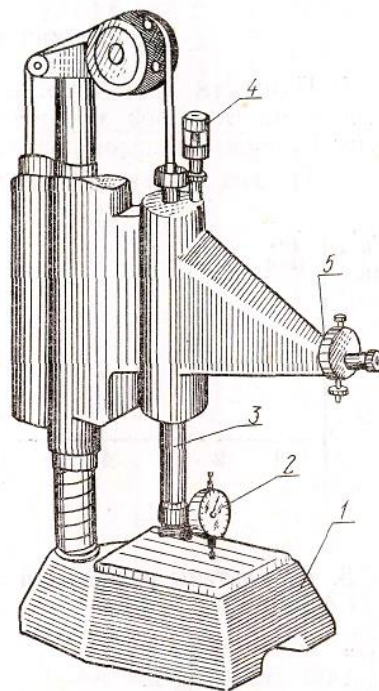


Рисунок 5.2 - Установка для определения погрешности индикатора с использованием длинномера ИЗВ-1:

1 – вертикальный длинномер; 2 – проверяемый индикатор; 3 – подвижный плунжер; 4 – микрометрическое отсчетное устройство; 5 – отсчетный микроскоп.

г) после обсчета результатов определяются отдельные элементарные погрешности.

Схема установки для проверки индикатора приведена на рис. 5.2.

4. Оформить отчет по работе.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Привести характеристику проверяемого и образцового индикаторов часового типа: заводской номер; цену деления; диапазон показаний.
3. График погрешности индикатора.
4. Результаты расчета амплитуд и начальных фаз:

$A_1 =$	$\varphi_1 =$
$A_2 =$	$\varphi_2 =$
$A_4 =$	$\varphi_4 =$
$A_2' =$	$\varphi_2' =$

Результаты расчета:

$$\Delta_3 = \Delta_4 =$$

$$\sin \varphi_2 = \varphi_\Delta =$$

Первичные погрешности:

$$\Delta_i =$$

$$\Delta_5 =$$

Таблица 5.2

Результаты измерений

Номер точки i	Угол поворота реечного триба, град	Точка отсчета по шкале индикатора X_i , мм	Отчет по длиномеру Y_i , мм	Погрешность показаний индикатора y_i , мкм	Погрешность показаний индикатора после исключения накопленной ошибки шага рейки y_i , мкм	Отчет по длиномеру после поворота шкалы на 180° Y_i , мм	Погрешность показаний индикатора y_i , мкм	Погрешность показаний индикатора после исключения ошибки шага рейки y_i , мкм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0		0	0		0	0
1	30	0.83						
2	60	1.67						
3	90	2.50						
4	120	3.33						
5	150	4.17						
6	180	5.00						
7	210	5.83						
8	240	6.67						
9	270	7.50						
10	300	8.33						
11	330	9.17						
12	360	10.00			0			0

Контрольные вопросы

2. В каких случаях целесообразно применять гармонический анализ?
3. Методика проведения гармонического анализа.
4. Цель проведения гармонического анализа.

Литература

1. Иванцов А.И. Основы теории точности измерительных устройств. – М.: Изд. стандартов, 1972.
2. Ковалев Л.Д., Суевой С.Н. Приборы для измерения линейных и угловых величин. – Мн.: БГПА, 2001.

Лабораторная работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НАСТРОЙКИ ПРУЖИННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК

Цель работы: Определение числа циклов измерений пружинной измерительной головкой при непрерывной её работе, после которого, должна производиться проверка настройки прибора и подналадка его на заданный уровень.

Оборудование

1. Микрокатор 1ИГП – 1 шт.
2. Стенд испытательный – 1 шт.
3. Блок питания стенда – 1 шт.

Основные положения

Приборы для контроля линейных размеров с помощью концевых мер или образцовых деталей настраиваются на определённые значения размеров. При переходе действительных размеров деталей за установленные границы приборы выдают сигнал измерительной информации или управляющий импульс (приборы активного контроля), после чего контролёр или оператор производит отбраковку деталей (брак + или брак -) или заканчивает её обработку (при использовании приборов активного контроля).

Точность контроля и измерения зависит от того, как соответствует действительный уровень настройки прибора заданному (установленному). Это соответствие определяется погрешностью операции и смещением уровня настройки в процессе эксплуатации прибора. Погрешность операции настройки на заданный размер зависит от качества настроечного элемента прибора, принятого метода настройки (по концевым мерам или образцовым деталям) и квалификации настройщика. В процессе работы в результате неравномерного нагревания отдельных частей прибора, износа и загрязнения измерительных поверхностей, самопроизвольного смещения настроечных элементов и прочего происходит смещение уровня первоначальной настройки. Если этот уровень переходит допустимые значения, происходит отказ настройки.

Если по оси Y (рис.6.1) будем откладывать погрешность настройки всех однотипных приборов, а по оси X – время эксплуатации прибора (или количество циклов измерений), измерения уровня настройки каждого прибора можно описать случайно функцией $y(t)$, а смещение настройки всех однотипных приборов - случайным процессом с начальными характеристиками : математическим ожиданием χ_{H_0} (средним значением погрешности первоначальной настройки) и D_x - дисперсией погрешности

первоначальной настройки, и текущими характеристиками процесса M_{X_H} - математическим ожиданием случайного процесса и D_{X_H} - дисперсией. Если $[\Delta]_H$ - допустимое значение погрешности настройки, в момент времени t_i погрешность настройки i -го прибора превысит допустимое значение, т.е. произойдёт отказ прибора по настройке. Так как величина t_i - случайная величина, полной характеристикой рассеивания времени работы однотипных приборов до поднастройки служит функция распределения $f(t)$, вид которой зависит от закономерности смещения настройки. Кривая распределения $f(t)$ даёт возможность подсчитать средний срок работы однотипных приборов без поднастроек \bar{T}_H - (математическое ожидание), рассеивание (дисперсию) этих сроков относительно центра группирования и другие числовые параметры случайной величины t .

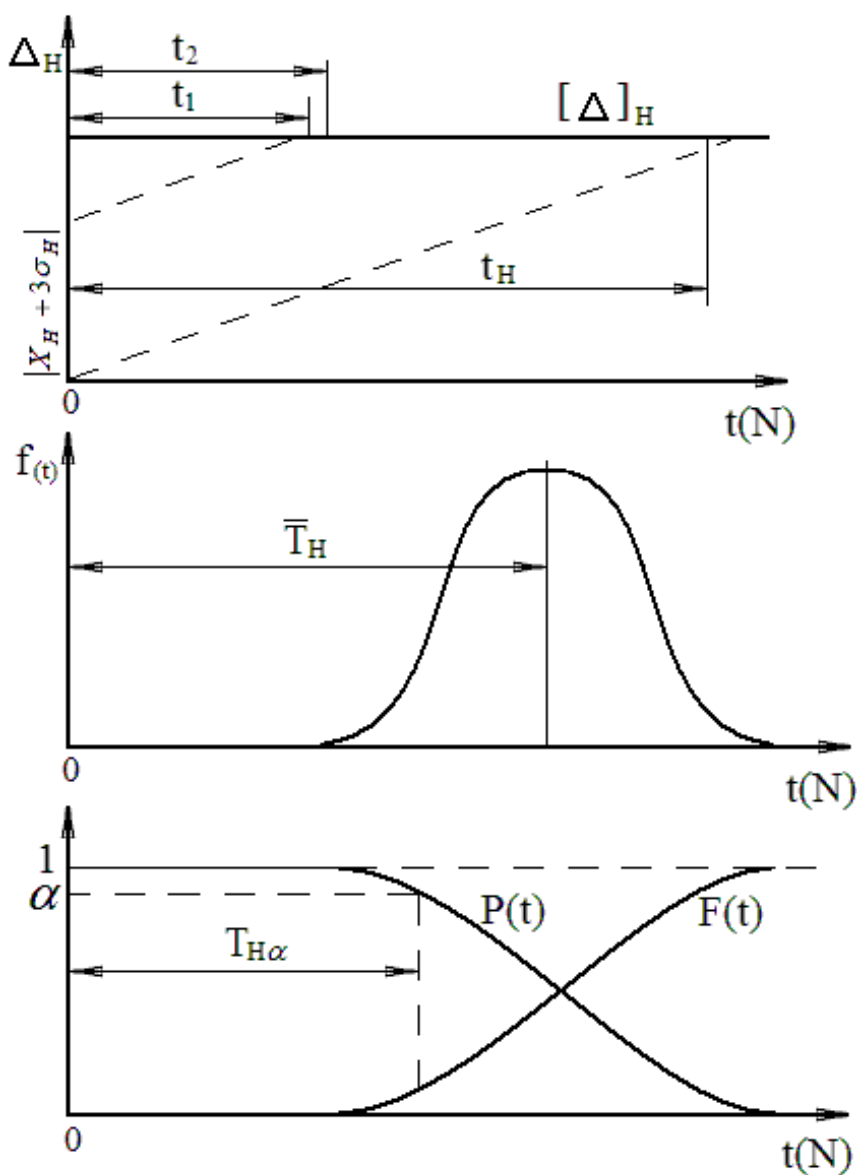


Рисунок 6.1 - Кривые распределения смещения настройки

Для оценки надежности прибора по отказам настройки необходимо знать вероятность безотказной работы $P(t)$ в пределах заданного периода времени t работы прибора без поднастройки. Для этого воспользуемся значением интегральной функции появления отказов по поднастройке. Вероятность безотказной работы $P(t)$ относится к событию, противоположному появлению отказа $F(t)$. Поэтому $P(t) + F(t) = I$ или $P(t) = I - F(t)$

Функция $P(t)$ является зеркальным отображением функции $F(t)$, и её ординаты характеризуют вероятность безотказной работы прибора за данный промежуток времени t . Зная кривую $P(t)$, можно задаваясь допустимыми значениями $P(t)$, определить необходимый промежуток времени \bar{T}_{Ha} между поднастройками прибора или, наоборот, при заданном \bar{T}_{Ha} определить вероятность безотказной работы прибора без поднастройки.

Учитывая конкретные условия эксплуатации приборов, целесообразнее установить один показатель надежности, непосредственно определяющий порядок обслуживания приборов во время работы, а именно \bar{T}_{Ha} - время непрерывной работы прибора (в часах, минутах или в числе циклов), после которого должна производиться проверка настройки прибора и поднастройка его на заданный уровень. Проверка настройки прибора осуществляется при помощи тех же конечных мер или образцовых деталей, по которым производилась первоначальная настройка приборов, и при обнаружении смещения настройки производится поднастройка при помощи настроечных элементов прибора.

Описание прибора

Микрокатор – пружинная измерительная головка, предназначенная для относительных измерений линейных размеров и используемая или в стойке, или в виде отсчетного устройства в специальных приборах (приспособлениях). Так как механизм микрокатора не имеет кинематических пар с внешним трением, он обладает очень высокой чувствительностью и стабильностью показаний.

Таблица 6.1 Технические характеристики пружинных измерительных головок

Параметры	Тип			
	ИГП	1ИГП	2ИГП	1ОИГП
Цена деления, мкм.	0.5	1	2	10
Пределы измерения, мкм.	+15	+30	+60	+300

Допустимая погрешность на любом участке шкалы, в пределах 30 делений, мкм.	0,25	0,5	1,0	3,0
Более 30 делений		0,8	1,5	5,0
Вариация показаний (дел. шкалы)	1/3	1/3	1/3	1/3
Измерительное усилие, Н	2,00	2,00	2,00	2,00
Присоединительный диаметр, мм.	28	28	28	28

Малая вариация показаний позволяет настроить микрокатор по заданному размеру очень точно. Таким образом, непосредственно после настройки прибора можно производить с высокой точностью. Однако в дальнейшем точность измерения снижается вследствие смещения настройки. Поэтому для правильной эксплуатации микрокатора очень важно знать закономерности процесса смещения настройки и установить рациональную периодичность проверки настройки прибора.

Для оценки показателей надёжности настройки микрокатора должен быть получен в результате испытаний ряд опытных данных – значений случайного количества циклов измерений прибора до отказа. После обработки опытных данных вероятность безотказной работы для N циклов измерений может быть рассчитана по формуле:

$$P_N = 0.5 + \Phi\left(\frac{\bar{N}-N}{\delta_N}\right)$$

где: N - математическое ожидание;

δ_N - среднее квадратическое отклонение кривой распределения $f(N)$.

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i ; \quad \delta_N = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}$$

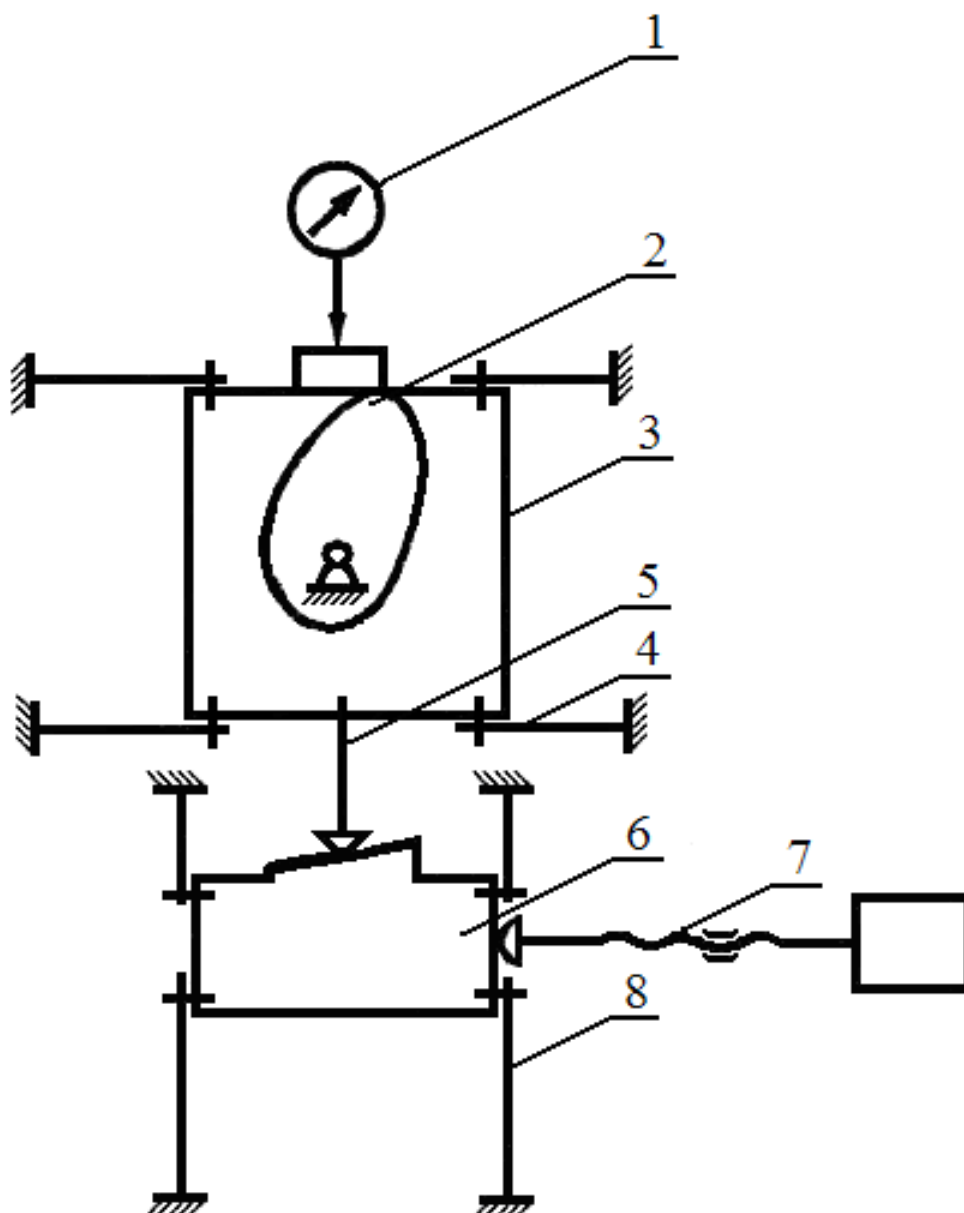


Рисунок 6.2 - Схема стенда

Описание стенда для испытания микрокаторов

Показатели надежности настройки измерительных головок с рычажно-зубчатой, рычажно-оптической, пружинно-оптической передачами и измерительных преобразователей, могут быть определены на стенде (рис.6.2, 6.3, 6.4.) Микрокатор 1 устанавливается в стойке 9 таким образом, чтобы измерительный наконечник 10 находился в контакте с подпятником 11. Подпятник 11 жёстко соединён с цилиндром 3, установленном на плоских пружинах 4. Возвратно-поступательное движение цилиндра 3 обеспечивает кулачок 2 вращение, которому сообщается от

электродвигателя постоянного тока 12. Электродвигатель подключён к блоку питания 13. Введение кулачка 2 в контакт с цилиндром 3 осуществляется винтом 14. Количество оборотов кулачка 2 фиксируется счётчиком 15.

Для установки показателей микрокатора 1 используется подвешенное на плоских пружинах 8 клиновое устройство 6, которое через наконечник 5 перемещается в вертикальном направлении цилиндр 3. Перемещение клинового устройства 6 производится с помощью микровинта 7.

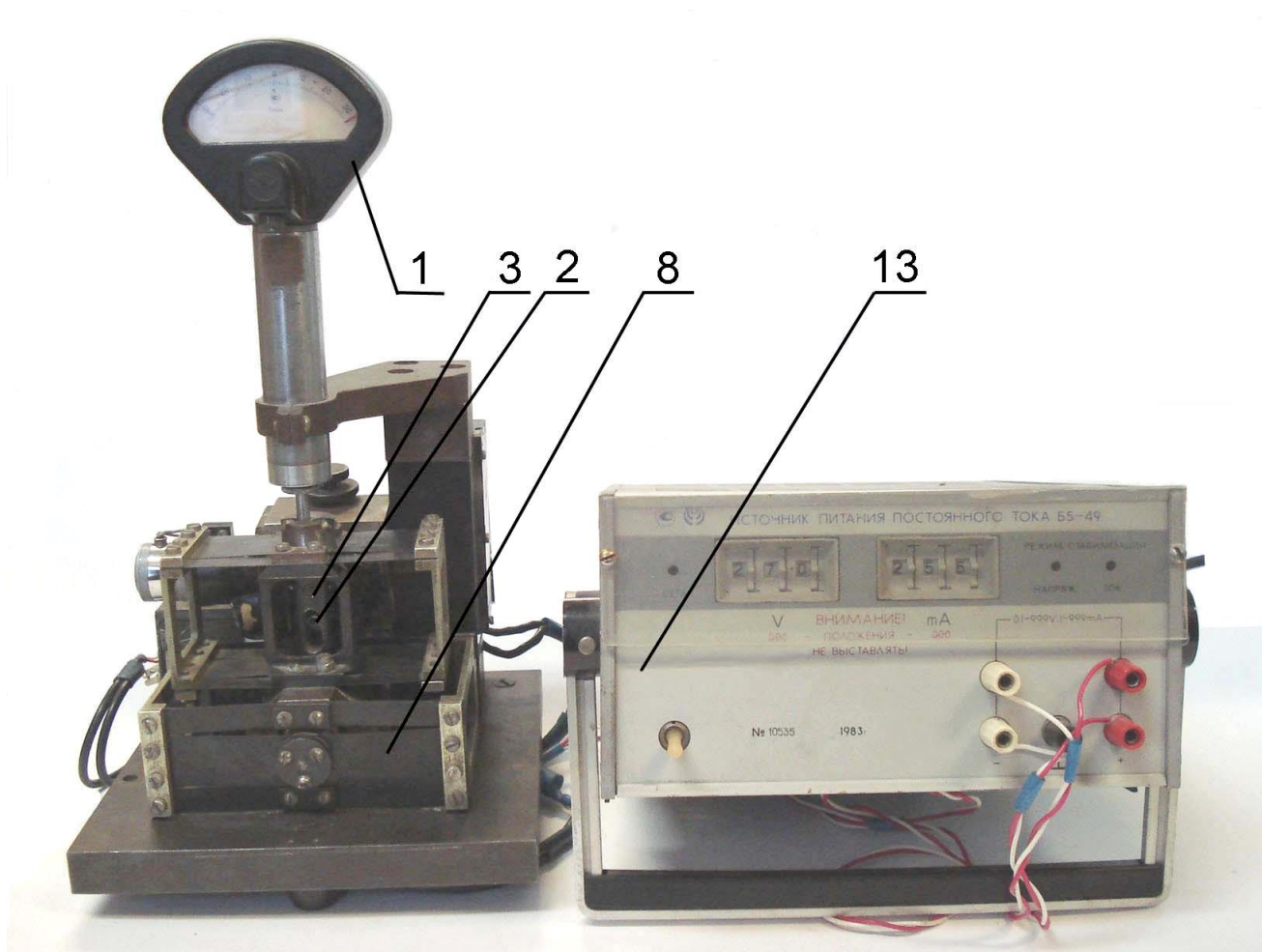


Рисунок 6.3 - Общий вид установки

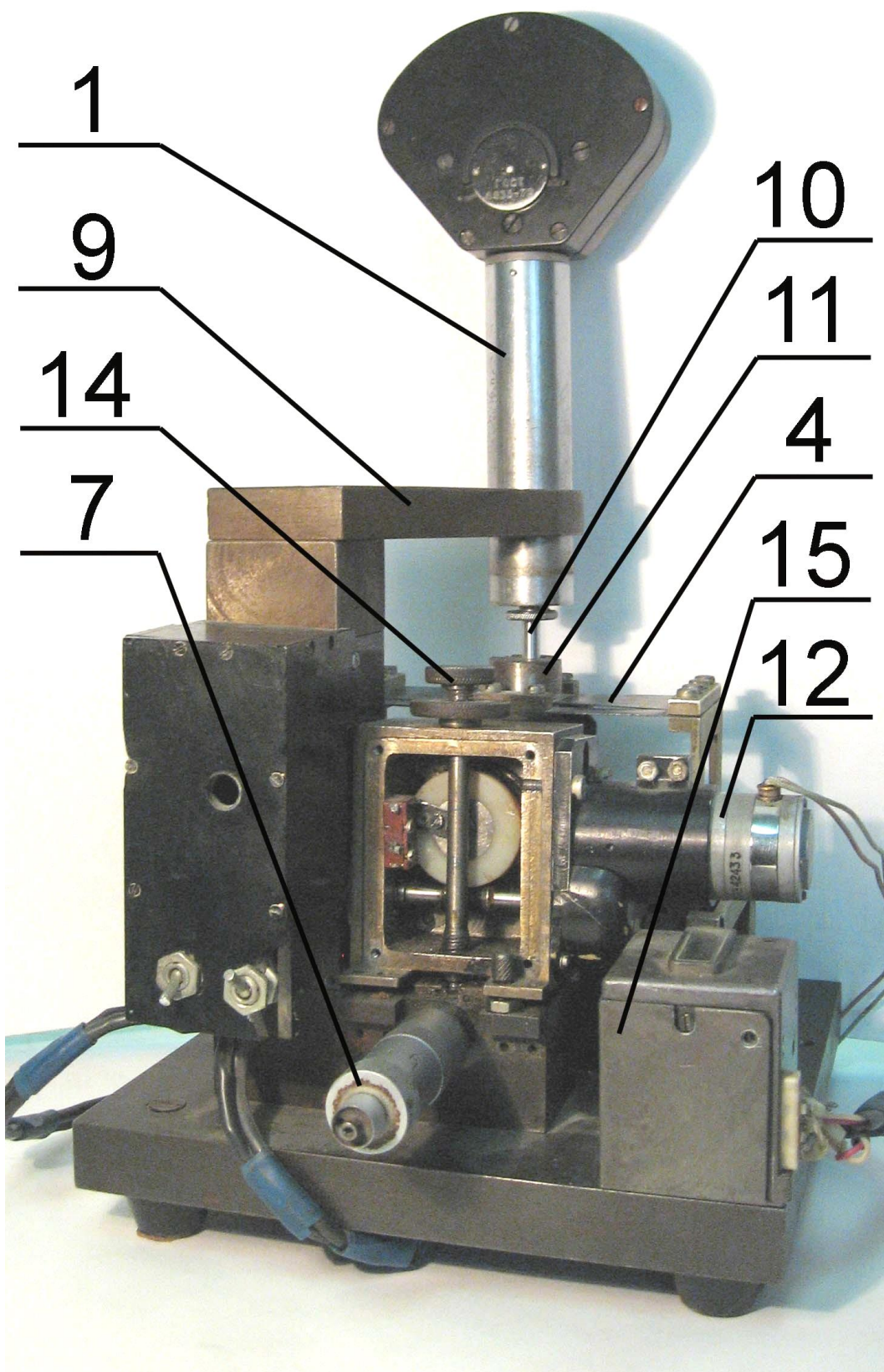


Рисунок 6.4 - Общий вид станда

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством стенда для испытаний микрокатора 1.
2. При помощи винта 14 установить зазор между кулачком 2 и цилиндром 3.
3. Вращая микровинт 7 установить определённое показание (например, 0) микрокатора 1 и снять при этом показание по барабану микровинта 7.
4. Вращая микровинт 7 против часовой стрелки отвести клиновое устройство в крайнее положение.
5. При помощи винта 14 подвести кулачок вверх до соприкосновения с цилиндром 3 и включить электродвигатель 12, сообщающий вращение кулачку 2.
6. После определённого числа движений измерительного наконечника 10, имитирующего измерение микрокатора 1 выключить электродвигатель 12 и отпустив кулачок 2 вниз при помощи винта 14.
7. Вращая микровинт 7 установить по барабану полученное в п.3 показание по микрокатору 1 определить величину смещения настройки и записать его в журнал.
8. Операции 4-7 повторять до тех пор, пока уровень настройки не выйдет за границу допустимого значения.
9. При изменении уровня настройки свыше допустимых значений повторить операции 2-8.
10. По каждой последовательности данных построить график реализации процесса смещения настройки, соединяя опытные данные отрезками прямых (оси координат: число циклов, показания микрокатора). Все реализации поместить на одном графике, получив, таким образом, пучок реализации.
11. Для каждой реализации определить число циклов, соответствующее точке пересечения реализации с допустимым уровнем смещения настройки.
12. Обработать опытные данные и построить график вероятности безотказной работы микрокатора.
13. Определить с вероятностью 0.9 число циклов измерений пружинной измерительной головки при непрерывной ее работе, после которого должна производиться поднастройка прибора.
Все данные и вычисления записать в журнал. Графики пучка реализации и вероятность безотказной работы выполнить на миллиметровой бумаге в удобном масштабе.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Используемые средства измерения и их метрологические характеристики.
3. Схема испытательного стенда.
4. Результаты измерений в виде графика.

5. Результаты обработки полученных данных.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия микрокатера.
2. Причины смещения уровня настройки.
3. Устройство испытательного стенда.
4. Оценка надежности настройки микрокатера.

Литература

1. Проников А. С. Основы надежности и долговечности машин. – М.: Изд. стандартов, 1989.
2. Ковалев Л. Д., Суровой С. Н. Приборы для измерения линейных и угловых величин. – Мн.: БГПА, 2001.

Лабораторная работа №7

МЕТОДЫ ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

Цель работы: определить момент выхода показаний измерительного прибора за границы поля допуска в результате износа контактирующих поверхностей.

Оборудование

- | | |
|---------------------------|-------|
| 1. Стенд испытательный | 1 шт. |
| 2. Испытываемый прибор ИГ | 1 шт. |
| 3. Набор концевых мер | 1 шт. |

Основные положения

Методы форсированных испытаний

Значение ускоренных методов испытаний на надежность и долговечность очень велико, так как в них ключ к получению своевременных и достоверных данных в кратчайшее время. Форсирование испытания можно осуществлять за счет различных факторов.

Эффективность форсирования можно характеризовать коэффициентом ускорения (K_y), равным отношению средних значений времени безотказной работы при нормальных условиях работы (T_n) и при данных форсированных испытаниях (T_ϕ):

$$K_y = \frac{T_n}{T_\phi}$$

Рассмотрим основные методы формирования испытаний.

Усиление режима работы изделия. Усиление режимов работы данного механизма или узла производится путем применения более высоких скоростей, нагрузок, температур, а также агрессивных сред, абразива и т.п. Предельные значения этих факторов должны выбираться, в первую очередь, исходя из условия сохранения физики отказа, т. е. чтобы вид и характер разрушения при нормальной эксплуатации и при работе на повышенных режимах были идентичны. Для определения коэффициента ускорения надо определить функциональную зависимость процесса разрушения от данного параметра (скорости, нагрузки).

Например, при испытании изделий, которые выходят из строя в результате износа, для форсирования испытаний можно увеличить нагрузку (P) и скорость относительного скольжения (V). Максимально допустимое значение P_{max} и V_{max} определяются условием сохранения данного вида изнашивания.

При линейной зависимости износа от P и V (например, при абразивном изнашивании) коэффициент ускорения рассчитывается по формуле:

$$K_y = \frac{P_{\max} \cdot V_{\max}}{P_{cp} \cdot V_{cp}}$$

Сокращение простоев и холостых ходов. Проведение испытаний в условиях, когда изделие работает более интенсивно во времени – без перерывов и холостых ходов, чем при нормальной эксплуатации, соответственно сокращает сроки испытаний. Однако использовать этот весьма простой метод форсирования можно только после анализа влияния перерывов в работе изделия на интенсивность процесса разрушения.

Здесь могут встретиться различные случаи. Например, увеличение частоты цикла нагрузки при усталостных разрушениях в большинстве случаев не влияет на конечный результат. При изнашивании деталей наличие перерывов в работе может, как увеличивать износ (например, при жидкостном трении в подшипниках качения), так и уменьшать его (например, при эксплуатации металлорежущего инструмента, так как при перерывах в работе он охлаждается).

Надо разработать такую методику испытаний, чтобы длительность простоев и холостых ходов была минимально допустимой. Если при испытаниях ликвидированы все холостые ходы (T_x) и имеет место непрерывная работа (T_p), то

$$K_y = \frac{T_p + T_x}{T_p}$$

Увеличение точности измерения параметров. В тех случаях, когда в узле имеют место износные отказы, не всегда можно доводить износ до предельного состояния. Во многих случаях достаточно знать скорость процесса $\dot{\Delta}$ (скорость изнашивания), если дальнейшее его протекание во времени определяется известными закономерностями. Для ускорения испытаний необходимо повышать точность измерения данного процесса (износа), с тем, чтобы за сравнительно короткий промежуток времени установить ход процесса.

Предельная погрешность метода измерения Δl должна быть значительно меньше того значения параметра U_y , которое условно принять за предельное значение. Как показал анализ, должно быть выдержано условие $U_y: \Delta l \geq 4$. Этот метод ускоренных испытаний в применении к испытаниям на надежность технологического оборудования (станков) носит название *метода условных полей допусков*.

Он заключается в том, что устанавливаются условные границы допусков более жесткие, чем пределы допуска. Вместо отказа станка из-за выхода параметра обрабатываемого изделия за пределы допуска формируется

условный отказ, т. е. выход параметра за границы условного поля допуска. Коэффициент ускорения в этом случае будет равен отношению допуска (δ) к условному допуску (δ_y):

$$K_y = \frac{\delta}{\delta_y}$$

Этот коэффициент может достигать значений $K_y \geq 3$.

Метод сопряженных распределений. В ряде случаев сокращение времени испытания можно получить путем установления связи между требуемыми показателями надежности и теми параметрами машины, которые определяют эти показатели.

Так, вместо кривой распределения времени безотказной работы изделия $f(t)$ можно исследовать кривую распределения выходных параметров машины $f(x)$ и ее изменение во времени (рис.7.1.). Эти два распределения являются сопряженными, так как одно определяет другое. Например, при обработке деталей на станке исходным параметром является точность обработки, и наступление отказа определяется моментом перехода регламентированного квантиля распределения параметров изделия соответствующей границы поля допуска. Причиной отказа является смещение во времени центра мгновенного рассеивания выходных параметров $f(x)$.

На рис.7.1 это смещение характеризуется прямой линией (линией регрессии) с параметрами X_n , зависящими от настройки машины, и $b = tg \alpha$, зависящими от скорости процесса, определяющего смещение центра $f(x)$ (например, от скорости изнашивания инструмента).

Необходимый при испытании результат – вероятность безотказной работы изделия $P(t)$ – можно получить как на основании параметров кривой $f(t)$, так и на основании параметров кривой $f(x)$ и ее смещения во времени по данному закону: $X_n(t) = X_n + b \cdot t$

Если оба сопряженных распределения подчиняются нормальному закону, то пользуясь функцией Лапласа получим две эквивалентные формулы определения вероятности безотказной работы:

$$P(t) = 0.5 + \Phi\left(\frac{T-t}{\sigma_T}\right)$$

$$P(t) = \Phi\left[\frac{\delta - (X_n + b \cdot t)}{\sqrt{\sigma_{x_{cp}}^2 + \sigma_n^2 + (\sigma_1 \cdot t)^2}}\right] + \Phi\left[\frac{X_n + b \cdot t}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_n^2 + (\sigma_1 \cdot t)^2}}\right], \quad (1)$$

где t - время;

δ - допуск;
 $b = \frac{\bar{x} - \bar{x}_H}{\tau}$, τ – время испытания;
 \bar{T} - математическое ожидание;
 σ_T - среднее квадратическое отклонение кривой распределения $f(x)$;
 σ_x - среднее квадратическое отклонение скорости смещения группирования кривой $f(x)$, $\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1}(x_i - \bar{x})^2$; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$;
 σ_H - среднее квадратическое отклонение погрешности настройки x_H ; $\sigma_H^2 = \frac{1}{n-1}(x_{H_i} - \bar{x}_H)^2$; $\bar{x}_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{H_i}$;
 σ_1 - среднее квадратическое отклонение относительного (на единицу времени) отклонения смещений центра группирования $\sigma_1^2 = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_H^2}{\tau^2}$;

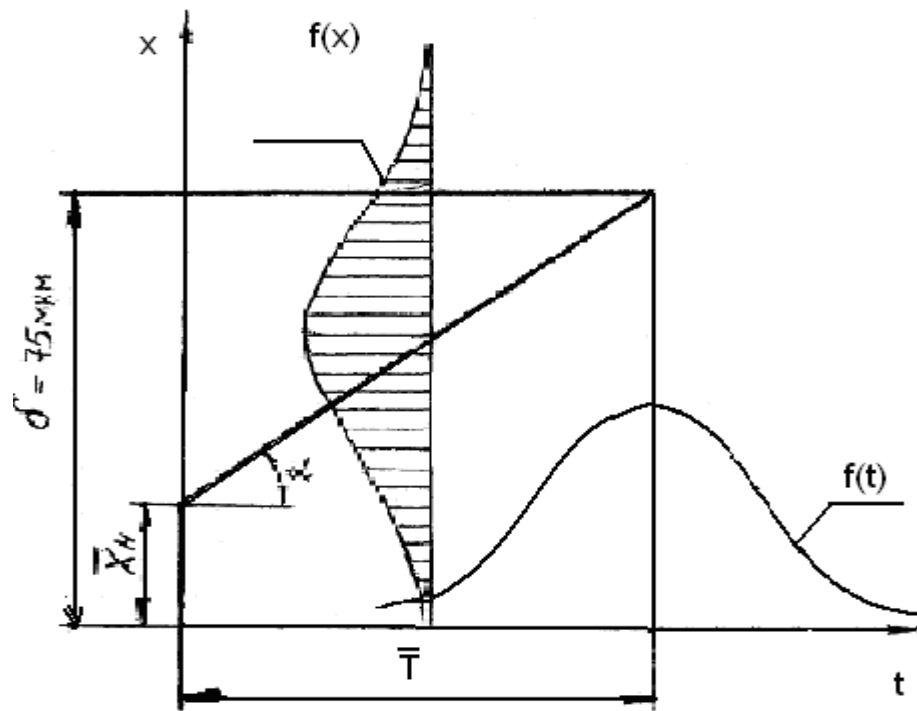


Рисунок 7.1 - Связь сопряженных распределений

Как правило, параметры X_H ; b ; σ_x ; σ_H ; σ_1 устанавливаются при испытаниях быстрее, чем параметры \bar{T} и σ_T , что и дает ускорение испытаний. При исследованиях получить функцию смещения центра группирования наиболее просто при помощи точечных диаграмм, на основании которых строится линия регрессии.

Испытания с использованием закономерностей отказов. Если на основании теоретических и экспериментальных исследований раскрыта физика данного вида отказов (вредных процессов) и установлены

закономерности, связывающие интенсивность этого процесса с физическими параметрами, то время испытаний в этом случае может быть сокращено до минимума.

Действительно, если скорость процесса γ является функцией времени t и ряда параметров $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ и эти параметры могут изменяться в некоторых пределах, то можно получить функцию случайных аргументов

$$\gamma = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k; t)$$

Поскольку безотказность работы изделия $P(t)$ зависит от скорости протекания данного процесса, то надежность будет являться функцией тех же аргументов

$$P(t) = F(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k; t)$$

Параметры $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ не зависят от времени, и определить их даже с учетом дисперсии можно достаточно быстро.

Например, если скорость абразивного изнашивания линейно зависит от твердости материала, удельного давления, скорости скольжения и т.п., то достаточно знать среднее значение и дисперсию этих величин, чтобы определить скорость изнашивания.

Этот метод требует сложных предварительных исследований, установление границ применимости полученных закономерностей, оценки условий работы машины и сопряжения, определение постоянных параметров, входящих в функциональные зависимости, и т.д. Однако, именно в нем заложено решение основной проблемы испытаний на надежность – получение достоверных данных в кратчайшее время.

Это возможно лишь в том случае, если известны физические закономерности процессов, приводящих к отказам машин и их элементов.

Описание стенда для определения надежности индикатора в зависимости от износа измерительного наконечника

Исследование надежности индикатора в зависимости от времени испытания с поверхностью перемещающейся детали проводится на стенде, общий вид которого приведен на рис.7.2. На плите 1 установлен электродвигатель 2, на валу которого закреплен диск 3. Материал диска и шероховатость его боковой поверхности те же, что и у измеряемой детали. Питание электродвигателя 2 осуществляется от цепи переменного тока напряжением 220В при включении тумблера 4. С вращающимся диском контактирует наконечник 5 измерительного прибора 6, установленного в магнитной стойке 7. Изменение показаний индикатора фиксируется относительно блока концевых мер (на рисунке не показан), который устанавливается на плите 1 и имеет размер, равный высоте диска над плитой.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством стенда для определения надежности индикатора.
2. Настроить индикатор по блоку концевых мер 94,48 на определенное показание и записать его в журнал. Операцию повторить 5-6 раз.
3. Ввести наконечник индикатора в контакт с боковой поверхностью диска и включить электродвигатель.
4. Через 10 минут выключить электродвигатель и, используя блок концевых мер, определить смещение показаний индикатора.
5. Повторить операции 3 и 4 пять раз и, используя полученные результаты, рассчитать параметры X_n ; b ; σ_x ; σ_n по формуле 1.
6. Узнав у преподавателя границы поля допуска смещения ($\delta=75\text{мкм}$) показаний индикатора, построить графики распределений $f(x)$ и $f(t)$.
7. Определить с заданной вероятностью момент выхода показаний индикатора за границу поля допуска.

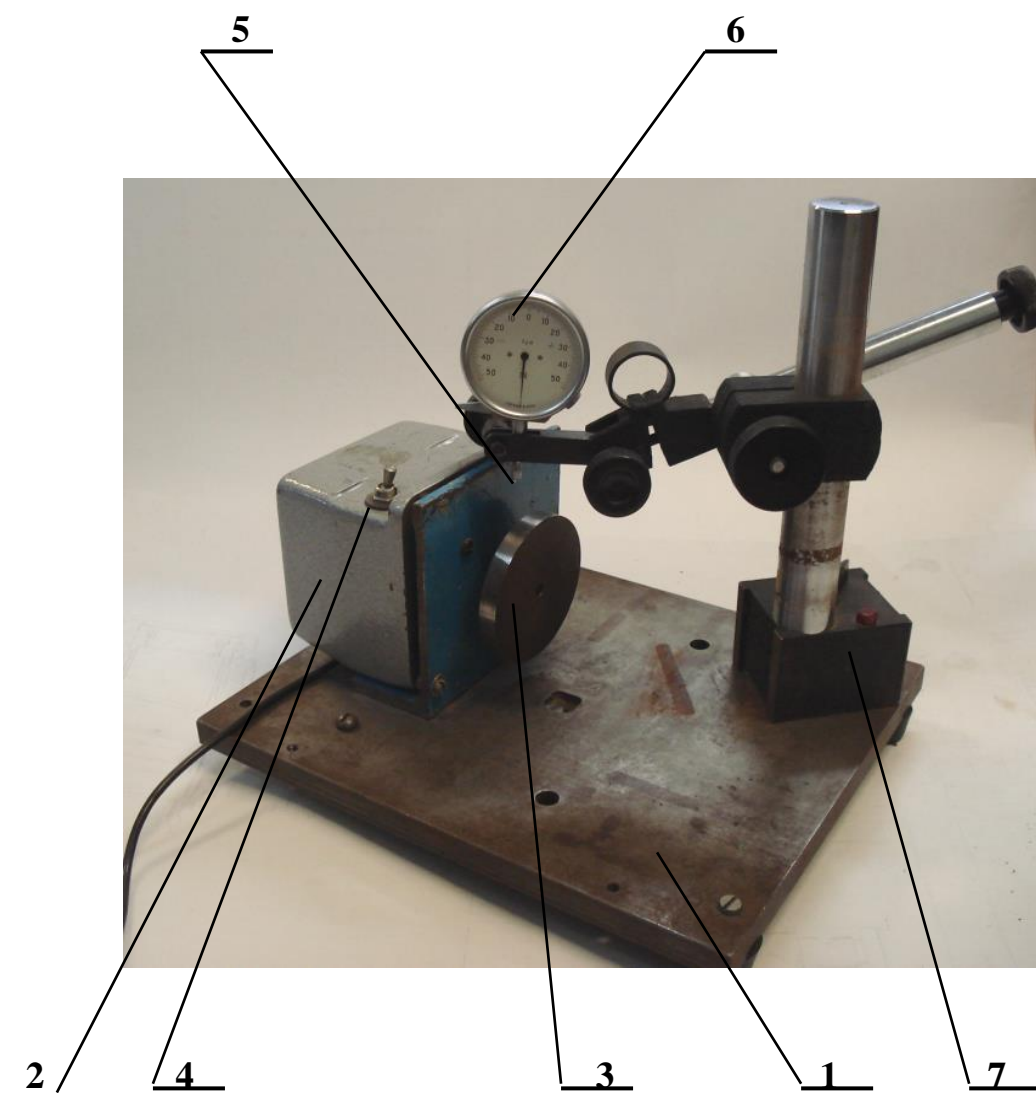


Рисунок 7.2 - Общий вид испытательного стенда

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Средства измерений и их метрологические характеристики.
3. Результаты обработки полученных данных в виде графика.

Контрольные вопросы

1. Основные методы форсированных испытаний.
2. Определение коэффициента ускорения.
3. Какие из методов ускоренных испытаний использованы в работе, их особенности.

Литература

1. Проников А.С. Основы надежности и долговечности машин. – М.:Изд.стандартов, 1989.
2. Ковалев Л.Д., Суровой С.Н. Приборы для измерения линейных и угловых величин. – Мн.: БГПА, 2001.

Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ МЕХАНИЗМА ПРИБОРА

Цель работы: аналитическое и экспериментальное исследование теоретической погрешности механизма прибора на модели.

Оборудование

1. Макет механизма прибора – 1 шт.

Основные положения

Теоретическая погрешность измерительной цепи ΔS_T — разность выходных сигналов идеальной S_H и теоретической S_T измерительных цепей при одинаковом значении входного сигнала S .

$$\Delta S_T = S_u - S_T = f(s, q_i) - f_T(s, G_j) \quad (3.1)$$

где $S_H = f(s, q_i)$ — градуировочная характеристика идеальной измерительной цепи; q_i — номинальные значения параметров исследуемой измерительной цепи; $S_T = f_T(s, C_j)$ — градуировочная характеристика теоретической измерительной цепи, т. е. предписанная зависимость между выходным и входным сигналами, которую должна воспроизвести исследуемая измерительная цепь; C_j — некоторые константы.

Характерная особенность теоретической погрешности — ее систематический характер, вследствие чего ее можно исключить из результата измерений (если нельзя пренебречь в силу небольшой величины). Для исключения теоретической погрешности методом внесения поправок необходимо знать ее значение в функции входного сигнала. На практике для этого используют два способа:

1) аналитическое исследование в соответствии с зависимостью (3.1), причем градуировочная характеристика теоретической цепи должна быть известна, а идеальной цепи следует вывести;

2) экспериментальное исследование, когда опытным путем строится поправочная таблица, при этом исследуемой цепи задается ряд нормированных значений входного сигнала и с возможно высокой точностью определяются соответствующие значения выходного. Разность

между потребными и определенными экспериментально значениями выходного сигнала есть необходимая оправка.

Описание механизма прибора

Преобразование измерительной информации осуществляется следующим образом. Измеряемая величина (отклонение размера детали от настроенного размера) воспринимается чувствительным элементом 1 измерительного стержня 2 (рис. 8. 1.) Перемещение последнего передается качающемуся ножу 3, который поворачивает призму 4 вокруг острия неподвижного ножа 7. Призма жестко связана со стрелкой 6, поворачивающейся на тот же угол относительно неподвижной шкалы 5. Перемещение конца стрелки (указателя) — выходной сигнал прибора, который фиксируется оператором как отсчет.

Механизм прибора — дезаксиальный кривошипно-шатунный с ведущим ползуном (измерительный стержень 2) и ведомым кривошипом (призма 4), в котором роль шатуна выполняет качающийся рычаг 3. При исследовании теоретической погрешности механизма прибора можно определить лишь отклонение угла поворота кривошипа-призмы от расчетного значения при фиксированных положениях измерительного стержня-ползуна.

Схема модели механизма представлена на рис. 8.2. Ее параметры — радиус кривошипа r , длина шатуна ℓ и дезаксиал a . Все они регулируются, необходимое значение каждого устанавливается с помощью отсчетных устройств на кривошипе, шатуне и стойке.

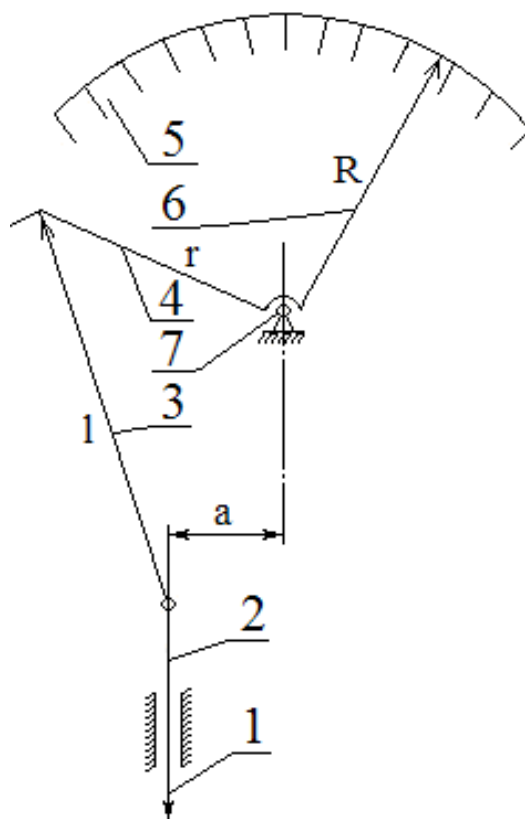


Рисунок 8.1 - Схема прибора с нижним качающимся ножом

Ведущее звено — ползун 1, а входной сигнал — его перемещение S из нулевой позиции B_0 , которая соответствует моменту, когда кривошип 3 перпендикулярен к направлению перемещения ползуна. В нулевой позиции $S = 0$ и $\alpha = 0$.

Ведомым звеном является кривошип 3, а выходным сигналом — угол α поворота его с нулевой позиции. Координата положения ползуна отсчитывается по линейке, связанной с ползуном, с помощью индекса, закрепленного на стойке. Угол поворота кривошипа отсчитывается по угломерной головке.

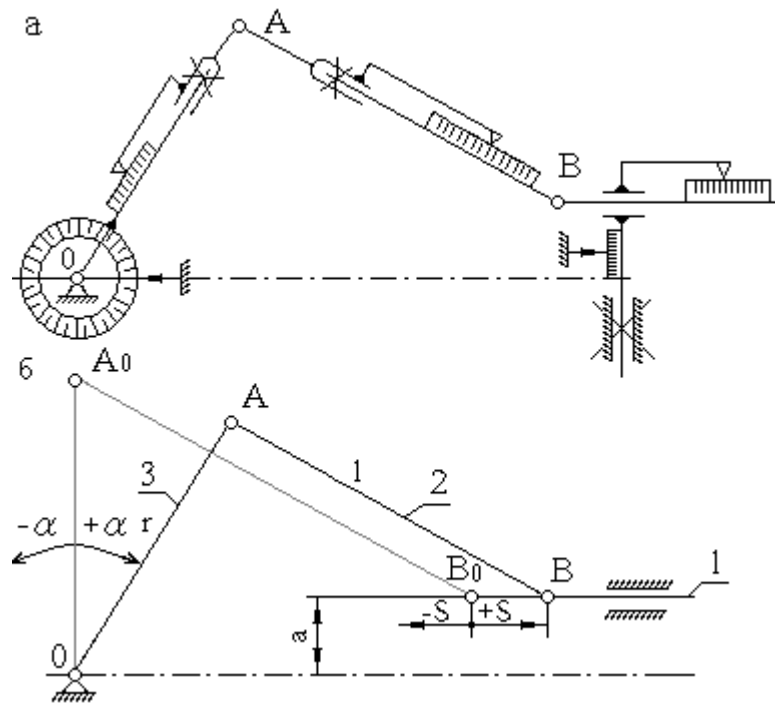


Рисунок 8.2 - Схема модели механизма миниметра:
a — схема модели; *б* — расчетная схема

Градуировочная характеристика теоретического механизма

$$\alpha_T = K \cdot S,$$

где K — чувствительность, град/мм.

Значения параметров модели механизма указаны в табл. 8.2.

Таблица 8.1- Результаты измерений и расчётов

S , мм	Отсчёты по угломерной головке α , град/мин	$\alpha_{\text{экс}}$, град	$\alpha_{\text{расч}}$, град	$\alpha_{\text{лин}}$, град	$\Delta \alpha_{\text{экс}}$, град	$\Delta \alpha_{\text{расч}}$, град
-6						
-4						
-2						
0						
2						
4						
6						

Определить расчётное и экспериментальное значения погрешности:

$$\Delta\alpha_{расч} = |\alpha_{расч} - \alpha_{лин}|$$

$$\Delta\alpha_{эксп} = |\alpha_{эксп} - \alpha_{лин}|$$

Результаты занести в табл. 3.2.

Оформить отчёт по работе с представлением результатов измерений.

Порядок выполнения работы

1. Установить заданные значения параметров на модели.

Таблица 8.2 – Значения параметров механизма

R, мм	L, мм	A, мм	K, рад/м
160	280	100	6.2

Рассчитать значения $\alpha_{лин} = K \cdot S$ для различных значений S, имея в виду, что S изменяется в пределах -6 +6 мм. Результаты расчёта занести в таблицу.

2. Рассчитать значения $\alpha_{расч}$ при различных S используя формулу:

$$\alpha_{расч} = \arcsin \left[\left(\frac{S}{R} \right) \left(1 - \frac{S^3}{8R^2L} \right) \right]$$

Результаты расчётов занести в таблицу.

3. Получить экспериментальные значения $\alpha_{экс}$ при различных S.

Результаты занести в таблицу.

4. Определить расчётное и экспериментальное значения погрешности.

Результаты занести в таблицу.

Содержание отчета

1. Схема механизма и таблица значений его параметров.
2. Вывод градуировочной характеристики идеального механизма.
3. Табл. 8.2 и все необходимые расчеты и измерения для ее заполнения.
4. Графическое изображение погрешностей

$$\Delta\alpha_{расч} = f(S), \Delta\alpha_{экс} = f(S).$$

Контрольные вопросы

1. Теоретическая погрешность, методы её минимизации.
2. Особенности экспериментального определения погрешности схемы.
3. Факторы влияющие на погрешность схемы.

Литература

1. Иванцов А. И. Основы теории точности измерительных устройств. – М: Изд. стандартов. 1972.