

Министерство образования Российской Федерации
ПСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

И.Г. Ершова

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания
по выполнению контрольной работы
для студентов заочной формы обучения

специальность «Технология машиностроения»



*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
Псковского государственного политехнического института*

Псков
Издательство ППИ
2010

УДК 621.753
ББК 30.10
Е80

*Рекомендовано к изданию Научно-методическим советом
Псковского государственного политехнического института*

Рецензенты:

- В.В. Шевельков - к.т.н., профессор кафедры теории механизмов и машин;
- В.А. Игнатъев – к.т.н., зам. генерального директора СП ЗАО «Альянс ПМФ»

Ершова И.Г.

Метрологическое обеспечение производства: Методические указания и контрольные задания для студентов специальности «Технология машиностроения» очной формы обучения. – Псков: Издательство ППИ, 2010. – 36с.

Е80

Методические указания по дисциплине «Метрологическое обеспечение производства» предназначены для студентов специализации 120101 – Технология автоматизированного машиностроения, специальности 151001 – «Технология машиностроения» заочной формы обучения.

Содержат сведения, необходимые для выполнения контрольной работы по изучению конструкции измерительных приборов и определению погрешностей.

© Ершова И.Г., 2010

© Псковский государственный политехнический институт, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Цель и задачи выполнения контрольной работы	5
2. Методические указания по выполнению курсовой работы.....	5
3. Задание 1. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров.....	6
4. Задание 2. Определение погрешностей измерительных приборов	10
5. Задание 3. Определение погрешности показаний, обусловленных схемой измерительного устройства.....	21
Литература.....	35

ВВЕДЕНИЕ

Метрологическое обеспечение производства в машиностроении является одним из важнейших этапов технологической подготовки производства и непосредственно производства.

Неотъемлемой частью каждого технологического процесса является измерение, производимое с помощью средств измерений.

Без развернутой системы измерений, позволяющей контролировать технологические процессы, оценивать свойства и качество продукции, не может существовать ни одна область техники.

Совершенствование методов, средств и измерений происходит непрерывно. Их успешное освоение и использование на производстве требует глубоких знаний основ технических измерений, знакомства с современными образцами измерительных приборов и инструментов.

Для решения основных метрологических задач, инженеру необходимо изучить и освоить методы измерения, основные принципы конструирования измерительных средств, оценку точности измерений.

В методических указаниях представлены к изучению специальные измерительные приборы, предназначенные для измерения линейных и угловых размеров, а также измерения отклонения формы поверхности. Рассматриваются теоретические основы и основные понятия метрологии, методы нормирования метрологических характеристик средств измерений, методы поверки и оценки погрешностей средств и результатов измерений, основы обеспечения единства измерений.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Целью контрольной работы, выполняемой по дисциплине «Метрологическое обеспечение производства», является освоение передовых достижений в области обеспечения единства средств измерений и технического регулирования на основе сбора, обработки, анализа и систематизация научно-технической информации по разделам теоретической части изучаемой дисциплины.

Для достижения указанной цели, в ходе выполнения самостоятельной работы, студент должен приобрести навыки практического решения предлагаемых задач:

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа состоит из трех заданий по темам изучаемой дисциплины. Выполнение контрольной работы заключается в самостоятельном поиске и раскрытии положений каждой темы дисциплины.

Студент выполняет задачи контрольной работы по варианту, номер которого соответствует двум последним цифрам номера студенческого билета, либо по указанию преподавателя.

Контрольная работа выполняется на стандартных листах формата А-4.

Текст в расчетно-пояснительной записке пишется на одной стороне листа с оставлением полей: слева – 25 мм, справа – 15 мм, сверху и снизу – 20 мм.

Отчёт должен включать следующие разделы: титульный лист, оглавление, введение, решение задач контрольной работы, список использованной литературы. На титульном листе указываются: название дисциплины, фамилия и инициалы студента, факультет, номер группы, номер зачетной книжки и номер варианта.

ЗАДАНИЕ 1

ВЫБОР УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Правильное назначение универсального измерительного средства играет огромную роль при производстве деталей машин. Слишком грубый инструмент дает существенно неверную информацию, касающуюся аттестации изготовленной детали. Чрезмерно точный прибор повышает стоимость работ, поскольку, во-первых, сам стоит дорого, а, во-вторых, требует высокой квалификации, как рабочего, так и контролера ОТК. С другой стороны, любой измерительный инструмент не даст стопроцентной гарантии в том, что среди проверенных деталей не окажется неправильно принятых и неправильно забракованных.

Поэтому методика подбора измерительных средств по точностной характеристике измеряемого размера регламентирована стандартом.

2. ЗАДАНИЕ

Выбрать средства измерения размеров валов и отверстий для заданных сопряжений. Исходные данные табл.1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета гладких соединений

Номер варианта	Диаметр сопряжения, мм	Посадка сопряжения	Номер варианта	Диаметр сопряжения, мм	Посадка сопряжения
1	25	H7/f7	16	10	E9/h8
2	30	H7/js6	17	16	K7/h6
3	16	H7/p6	18	20	R7/h6
4	40	H7/e8	19	25	H8/d9
5	12	H7/k6	20	36	H8/js7
6	20	H7/r6	21	45	H8/u8
7	32	F8/h6	22	50	H7/c8
8	50	Js7/h6	23	63	H8/k7
9	80	P7/h6	24	75	T7/h6
10	63	H7/g6	25	80	D9/h9
11	75	H8/m7	26	85	H7/m6
12	90	H7/s6	27	90	S7/h6
13	100	H8/h8	28	100	H8/e8
14	110	H7/n6	29	110	H8/n7
15	125	H7/t6	30	120	H7/s7

3. ВЫБОР УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

Применяемое средство измерений должно в первую очередь обеспечивать требуемые производительность и точность измерения. Кроме того, при его выборе необходимо учитывать такие факторы, как организационная форма контроля, программа выпуска, особенности конструкции деталей, точность их изготовления, экономические показатели и др.

Выбору средств измерений предшествует определение допустимой погрешности измерения и приемочных границ, т.е. тех предельных значений размеров деталей, по которым будет производиться приемка последних.

Средства измерений выбирают в зависимости от допуска размера контролируемого изделия и допускаемой погрешности измерений, установленной ГОСТ 8.051-81. Допуск размера является определяющей характеристикой для подсчета допускаемой погрешности измерений, которая принимается равной $1/5 - 1/3$ допуска на размер. В допускаемую погрешность измерений входят погрешности средств измерений и установочных мер, погрешности условий измерений, а также погрешности базирования изделия и погрешности, вызываемые измерительной силой прибора. Допускаемые погрешности измерения линейных размеров в зависимости от качеств и номинальных размеров контролируемых изделий приведены в таблице 2.

Каждое средство измерения характеризуется предельной погрешностью, величина которой указана в паспорте на это средство измерений. Выбор средства измерения заключается в сравнении его предельной погрешности с допускаемой погрешностью измерения; при этом предельная погрешность средства измерения должна быть меньше допускаемой погрешности измерения.

Для проведения измерений с погрешностями, не превышающими допускаемые ГОСТ 8.051-81 значения, необходимо иметь сведения о значениях погрешностей измерения различными измерительными средствами в различных условиях их применения. Такие сведения о погрешностях измерения измерительными средствами, серийно выпускаемыми специализированными заводами, приведены в РД 50-98-86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм»(или см. [9] Приложение 2, табл. II и III).

В табл. II приведены сведения о погрешностях измерения различными измерительными средствами наружных размеров, размеров уступов и величин биения, а в табл. III – сведения о погрешностях измерений внутренних размеров.

Выбранные средства измерений указывают в технологических картах процессов механической обработки, сборки, технического контроля или в другой технологической документации.

Допускаемые погрешности измерения, мкм (ГОСТ 8.051 – 81)

Номинальные размеры	Квалитеты													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	1	1,4	1,8	3	3	6	8	12	20	30	50	80	120	200
Св. 3 до 6	1,4	1,6	2	3	4	8	10	16	30	40	60	100	160	240
Св. 6 до 10	1,4	2	2	4	5	9	12	18	30	50	80	120	200	300
Св. 10 до 18	1,6	2,8	3	5	7	10	14	30	40	60	90	140	240	380
Св. 18 до 30	2	3	4	6	8	12	18	30	50	70	120	180	280	440
Св. 30 до 50	2,4	4	5	7	10	16	20	40	50	80	140	200	320	500
Св. 50 до 80	2,8	4	5	9	12	18	30	40	60	100	160	240	400	600
Св. 80 до 120	3	5	6	10	12	20	30	50	70	120	180	280	440	700
Св. 120 до 180	4	6	7	12	16	30	40	50	80	140	200	320	500	800
Св. 180 до 250	5	7	8	12	18	30	40	60	100	160	240	380	600	1000
Св. 250 до 315	5	8	10	14	20	30	50	70	120	180	260	440	700	1100
Св. 315 до 400	6	9	10	16	24	40	50	80	120	180	280	460	800	1200
Св. 400 до 500	6	9	12	18	26	40	50	80	140	200	320	500	800	1400

4. ВЫБОР КОНКРЕТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Выбрать конкретное измерительное средство можно по табл. II и III [9] в зависимости от измеряемого размера, допуска на изготовление и допускаемой погрешности измерения по ГОСТ 8.051 – 81 (табл. 2). Однако по табл. II и III трудно выявить весь комплекс измерительных средств, которые можно использовать для измерения с допускаемой погрешностью.

Для упрощения процесса выбора конкретных измерительных средств в РД 50-98-86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм» даны табл. IV – VIII (см. [9] приложение 3). В левой части таблиц указаны диапазоны номинальных размеров, сверху квалитеты, от IT2 до IT17, а на пересечении горизонтальных полос и вертикальных колонок указаны в виде дроби допускаемые погрешности измерений (числитель) и допуски на изготовление (знаменатель). Под ними номерами и буквами из таблиц II и III указаны измерительные средства и варианты их использования, при которых погрешность измерений не превышает допускаемых значений.

Для измерений внутренних размеров, а также глубин и уступов (в табл. VI и VII) указана практически вся возможная номенклатура универсальных измерительных средств. При этом часть диапазонов номинальных размеров в некоторых квалитетах не обеспечена универсальными измерительными средствами. Для измерения этих размеров должны проектироваться специальные измерительные средства и разрабатываться соответствующие методики измерений.

5. ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1. По известному качеству и номинальному размеру найти допускаемые погрешности измерения в мкм (см. табл. 2).
2. По табл. II ([9] приложение 2) выбрать средства измерения размеров.
3. Произвести проверку выбранных средств измерения, используя [9] приложение 3, таблицы IV – VIII (см. п. 4.).

6. ПРИМЕР

На чертеже детали указан наружный диаметр 16h5 ($\varnothing 16-0,008$).

Требуется выбрать средство измерения этого размера. В зависимости от конфигурации и габаритов детали и требований к методике выполнения измерения следует решить вопрос о выборе накладного или станкового измерительного средства.

Выбор накладного средства измерений производим по табл. V [9].

В графе, соответствующей 5 качеству, для диапазона размеров св. 10 до 18 мм находим обозначение «6в». В табл. II под номером 6 указаны микрометр рычажный и скоба рычажная. Буквой «в» обозначены условия измерения: настройка на размер должна производиться по концевым мерам длины 2 класса, при использовании отсчета в пределах ± 10 делений шкалы; температурные условия характеризуются температурным режимом 5°C при обеспечении надежной теплоизоляции от рук оператора.

Выбор станкового средства измерений производим по табл. IV [9].

В графе, соответствующей 5 качеству, для диапазона размеров св. 10 до 18 мм находим группу обозначений: 9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 34а, 36б. По табл. II [9] устанавливаем, что под номерами 9 и 10 обозначены рычажно-зубчатые головки с ценой деления 2 и 1 мкм; 15 – микрокатор с ценой деления 2 мкм; 20 и 21 – пружинные малогабаритные головки с ценой деления 2 и 1 мкм; 34 – вертикальный и горизонтальный длиномеры; 36 – показывающий прибор с индуктивным преобразователем.

Из указанных приборов выбираем тот, который имеется в наличии, который проще в обращении и к условиям применения которого предъявляются менее жесткие требования.

Например, выбрана рычажно-измерительная головка с ценой деления 1 мкм. В табл. II буквой обозначены следующие условия применения: установка в штативе с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом до 200 мм, настройка по концевым мерам длины 5 разряда, температурный режим 2°C.

ЗАДАНИЕ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является получение практических навыков по одному из основных видов анализа поверочной деятельности, в частности определение и подтверждение соответствия средств измерения установленным техническими требованиями.

2. ЗАДАНИЕ

В данной работе осуществлена поверка рабочих средств измерений: индикатора часового типа ИЧ-10, рычажно-зубчатой головка 1ИГ (1МИГ) и портативного прибора приемочного контроля ПППК-А35 (см. таблицу 3).

Требуется обработать результаты наблюдений. Подсчитать систематические погрешности Δ_s , средние квадратические отклонения σ и смещения показаний (сигналов) S , определив в результате интервал этих погрешностей по формулам (1) – (3).

Построить для всех случаев полигоны эмпирических распределений и кривые нормального распределения по методике, приведенной ниже.

Исходные данные – табл. 3.

Форма отчета см. п.5., табл. 6, 7.

К отчету приложить необходимые графики, выполненные на миллиметровой бумаге.

Таблица 3

Показания образцового прибора

Вариант	1		2		3		4		5		6		7	
Образцовые приборы	Система цифровая растровая		Микрокатор		Микрокатор		Система цифровая растровая		Микрокатор		Микрокатор		Система цифровая растровая	
Поверяемые приборы	ИЧ-10		ИИГ (1МИГ)		ПППК-А35		ИЧ-10		ИИГ (1МИГ)		ПППК-А35		ИЧ-10	
№ п/п	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ
	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм
1	1,0	-0,2	0,0	-1,5	0,3	-0,9	0,6	0,2	1,5	0,3	0,1	0,6	-1,7	0,6
2	1,1	-0,4	0,5	-1,0	0,3	-1,0	0,5	0,6	1,5	0,3	0,1	0,2	-1,8	0,4
3	1,5	-1,3	1,0	-1,5	2,2	-1,4	0,7	-1,2	1,3	0,1	0	0,5	0,6	1,0
4	1,6	-1,6	0,3	-1,4	0,5	-3,3	1,2	-1,3	1,5	0,3	0,2	0,2	0,4	1,5
5	1,7	-2,5	0,6	-1,5	0,6	-1,2	1,5	0,3	1,6	0,4	0,7	0,3	1,0	1,5
6	1,0	-1,7	0,4	-1,4	0,4	-4,0	0,6	0,5	1,2	0,3	0,2	0,5	1,5	-0,6
7	0,8	-1,8	0,5	-1,0	0,7	-0,5	-0,3	1,2	1,5	0,3	0,1	0,2	1,5	-0,2
8	0,6	-0,7	0,7	-0,8	1,5	-1,3	-0,2	1,1	1,5	0,4	0,6	0,3	1,4	-0,4
9	0,4	-1,5	0,9	-1,5	3,0	-0,5	0,5	0,3	1,3	0,4	0,1	0,2	1,8	-1,3
10	1,0	-1,5	0,6	-1,8	1,8	-2,8	1,6	-0,3	1,7	0,5	0,4	0,5	0,7	0,7
11	1,5	-0,7	0,4	-1,0	2,9	-1,5	2,1	-0,5	1,8	0,2	0,2	0,5	0,6	1,0
12	1,5	-0,6	0,6	-0,7	0,6	-0,6	-0,5	1,1	1,5	0,3	0,2	0,5	0,7	0,5
13	1,4	-0,2	0,3	-0,7	0,2	-0,4	0,3	1,9	1,8	0,2	0,3	0,2	2,0	0,7
14	1,8	-0,4	0,2	-1,0	0,0	-2,4	1,6	1,5	1,7	0,3	0,1	0,7	1,8	0,8
15	0,7	-1,3	0,4	-0,8	1,3	-0,3	1,2	0,2	1,7	0,5	0,4	0,3	2,5	1,5
16	0,6	-1,0	0,5	-1,5	2,8	-2,5	1,1	0,3	1,7	0	0,2	0	-1,6	1,8
17	0,7	-1,5	0,2	-0,6	0,2	-1,8	1,0	1,5	1,7	0,5	0,5	0,3	-1,3	0,6
18	2,0	-2,5	0,7	-1,0	1,5	-0,6	0,5	0,6	1,6	0	0,4	0	-1,4	0,3
19	1,8	-0,3	1,0	-0,3	1,1	-0,5	0,9	-0,4	2,0	0,2	0,7	0,3	1,3	2,4
20	0,2	-0,8	0,8	-1,0	1,9	-0,5	0,8	-0,4	1,8	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3
21	1,3	-0,9	0,6	-1,5	2,8	-2,0	-0,4	-0,3	1,6	0,1	0,1	0,5	0,6	2,5
22	0,5	-2,1	0,4	-1,0	0,5	-2,8	0,6	1,2	2,0	0,3	0,3	0,7	1,8	1,8
23	0,6	-0,6	0,5	-0,5	0,6	-4,0	0,7	1,1	2,2	0,1	0,3	1,1	1,1	1,9
24	1,8	-0,4	0,2	-0,8	0,5	-3,5	0,7	1,1	0,5	0,4	0,6	0,9	1,5	2,0
25	1,1	-1,7	0,4	-1,0	0,5	-2,0	0,2	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	-0,9
26	1,5	-1,9	0,6	-1,5	2,8	-2,5	1,2	0,9	1,6	0,1	0,2	0,5	1,8	-1,8
27	0,5	-2,5	0,7	-0,8	3,3	-0,4	1,3	1,5	1,1	0,2	0,1	1,1	0,3	2,0
28	1,8	-1,6	1,0	-0,6	1,1	-1,8	0,6	-0,6	1,8	0,3	0,7	0,5	0,5	1,9
29	0,3	-1,3	0,5	-1,3	1,5	-1,5	1,1	-0,3	1,8	0,1	0,6	0,3	0,4	0,5
30	0,5	-1,4	0,7	-0,9	1,8	-2,4	1,0	2,5	2,0	0,3	0,4	0,4	-1,6	1,0
31	1,6	-0,2	0,8	-0,6	0,6	-2,7	-0,6	2,4	2,0	0,4	0,1	0,1	-1,3	1,1
32	1,7	-0,9	0,5	-1,0	0,3	-0,5	-0,3	2,6	1,9	0,4	0,7	1,2	-0,4	1,7
33	1,5	-2,1	0,4	-1,2	2,4	-2,0	1,1	-0,2	2,5	0,5	0,8	0,9	-0,2	0,7
34	1,0	-0,6	0,6	-1,5	0,3	-3,2	0,5	-0,6	1,4	0,1	0,3	0,8	-0,9	0,6
35	1,5	-0,4	0,3	-0,8	2,5	-1,1	0,6	-0,9	1,8	0,4	0,2	0,3	-1,8	2,0
36	1,0	-1,4	0,4	-0,5	1,8	-0,6	0,3	-1,1	1,9	0,3	0,5	0,1	2,0	1,9
37	0,4	-1,7	0,3	-0,6	1,9	-2,0	0,8	1,9	0,9	0,3	0,6	0,2	1,9	0,5
38	1,4	-1,9	0,6	-1,0	2,0	-2,1	1,5	1,8	0,8	0,4	0,2	0,2	0,5	1,1
39	1,0	-1,7	0,5	-1,3	2,0	-0,3	1,9	0,6	1,9	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5
40	1,8	-2,5	0,9	-1,4	2,1	-1,4	1,4	0,5	1,8	0,2	0,5	0,3	1,1	0,6
41	1,7	-1,6	0,7	-1,3	0,0	-1,9	1,1	1,9	1,5	0,2	0,5	0,4	1,7	0,3
42	0,7	-0,9	0,8	-1,0	0,3	-1,7	1,8	2,1	2,0	0,3	0,6	0,2	1,8	0,8
43	0,6	-0,2	0,9	-0,5	3,3	-0,3	0,9	1,1	1,7	0,7	0,5	0,4	0,3	1,5
44	2,0	-0,4	0,6	-0,6	1,4	-2,8	0,7	1,3	1,8	0,2	0,3	0	0,5	1,9
45	1,9	-1,6	0,3	-1,0	1,9	-0,5	1,1	-0,3	1,2	0,2	0,4	0,3	1,0	1,4
46	0,5	-1,3	0,2	-1,5	0,6	-0,5	1,0	-1,1	2,2	0,6	0,4	1,2	1,1	1,1
47	1,0	-0,4	0,4	-1,4	1,7	-1,9	0,5	0,6	1,8	0,2	0,7	1,1	1,5	-0,6
48	1,1	-0,2	0,6	-1,0	1,9	-1,1	-0,4	0,5	2,0	0,4	0,9	1,0	1,6	-0,4
49	1,7	-0,9	0,5	-0,8	0,3	-1,2	-0,3	0,7	1,9	0,3	1,1	0,6	1,7	-1,4
50	1,6	-1,8	0,3	-0,5	0,4	-3,0	1,1	0,9	1,4	0,1	0,3	0,9	1,5	1,1

Вариант	8		9		10		11		12		13		14	
Образцовые приборы	Система цифровая растровая		Микрокатор		Микрокатор		Система цифровая растровая		Микрокатор		Микрокатор		Система цифровая растровая	
Поверяемые приборы	ИЧ-10		1ИГ (1МИГ)		ПППК-А35		ИЧ-10		1ИГ (1МИГ)		ПППК-А35		ИЧ-10	
№ п/п	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ
	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм
1	-1,3	0,8	1,5	0,1	0,6	0,5	0,7	-0,6	0,3	0,3	0,9	1,8	0,5	-0,6
2	-1,0	0,6	-1,3	0,3	0,4	0,3	1,2	-0,3	0,6	0,3	0,7	1,1	1,0	-0,7
3	-1,5	0,4	-1,7	0,1	0,7	2,2	1,5	-0,2	0,4	-0,1	0,6	1,5	0,7	-2,0
4	1,0	1,0	-1,8	0,4	1,5	0,5	-1,2	0,2	0,5	-0,3	0,5	1,9	1,7	-0,3
5	1,1	1,5	1,5	0,3	-0,9	-3,3	-1,3	-0,6	1,5	-0,4	1,8	-0,4	-1,7	-0,8
6	1,5	1,5	1,8	0,3	-1,0	-1,2	0,3	0,3	1,5	-0,5	1,2	-2,4	1,6	-0,9
7	1,6	-0,2	0,0	0,4	-1,4	-4,0	0,5	-0,3	-1,3	0,2	2,2	-0,3	2,0	-0,8
8	1,7	-0,4	0,5	0,4	3,0	2,9	1,2	-0,5	1,5	0,3	0,8	-2,0	1,0	-0,6
9	1,0	-1,3	1,0	-1,5	-0,5	0,6	1,1	-1,1	1,6	0,2	1,5	-1,8	0,8	0,4
10	1,8	-1,6	0,7	-1,0	2,8	0,2	0,6	-1,9	1,2	0,3	1,8	-1,5	0,6	-1,0
11	0,7	-0,6	1,7	-1,5	0,2	-2,8	0,5	-0,6	1,5	0,5	-1,0	-2,4	0,7	-1,5
12	1,8	-0,2	-1,7	1,4	1,5	-1,5	0,5	-0,4	1,8	0	0,7	-2,7	0,6	-1,5
13	0,2	-0,4	1,6	-1,5	1,1	-0,6	1,6	-0,5	-1,6	0,5	2,0	2,8	0,7	-0,2
14	1,3	-2,5	2,0	-1,4	1,9	-2,8	2,1	0,5	2,0	0	1,0	0,5	2,0	-0,4
15	0,5	0,6	1,0	-1,0	-0,4	-4,0	1,5	-0,9	-2,2	0,2	0,8	0,6	1,8	-1,3
16	0,6	0,7	0,8	0,8	-2,4	-3,5	0,2	-0,8	0,2	0,5	0,6	0,3	0,6	-0,7
17	1,8	2,0	0,6	1,5	-0,3	-2,0	0,3	-0,4	-0,4	-0,6	-1,3	-0,5	1,8	-1,0
18	1,8	-0,3	-0,4	1,8	-2,0	-2,5	1,5	-0,3	0,5	0,5	-0,5	-2,0	1,1	-0,5
19	0,3	-0,8	-0,5	-1,0	-1,8	-0,4	-0,4	-1,5	-0,2	0,1	1,8	-3,2	1,5	-0,7
20	0,5	-0,9	0,2	0,7	-1,5	0,6	0,6	-0,6	-0,7	0,2	0,0	-1,1	0,5	-0,8
21	1,6	1,1	-0,4	0,7	-2,4	0,5	0,7	-0,3	-1,7	-0,3	1,3	-0,6	1,8	-1,8
22	-1,9	1,5	0,6	-1,0	-2,7	0,5	0,7	-2,5	1,7	-0,1	-0,7	-2,0	1,0	-1,9
23	-2,5	0,5	-0,7	-0,8	2,8	2,8	0,2	-2,4	0,5	-0,3	-0,8	3,5	1,5	-2,0
24	-1,6	-2,1	1,0	-1,5	0,5	1,1	1,2	-2,6	0,6	-0,4	0,5	-2,0	1,0	-0,9
25	1,7	-0,6	0,5	-0,6	3,3	1,5	1,2	0,6	1,6	-0,4	0,3	-2,5	0,4	-1,8
26	1,5	-0,4	-0,7	1,0	2,4	1,8	1,1	-1,1	1,1	-0,5	0,6	-0,4	0,5	-0,7
27	-0,4	-1,7	-0,8	-0,3	0,3	0,6	1,1	-1,0	1,8	0,1	0,5	0,6	1,0	-0,6
28	-1,4	-1,3	0,5	1,0	2,5	0,3	0,8	-0,3	1,8	0,4	0,1	0,5	1,1	-1,0
29	-1,7	-1,4	0,3	-1,5	1,8	-0,5	0,9	-0,8	-1,8	0,3	0,1	0,5	1,7	-1,5
30	-1,9	-0,2	0,6	1,0	1,9	-2,0	1,3	-1,5	-1,9	0,3	0,7	2,8	-0,4	-1,0
31	1,8	-0,9	0,5	-0,5	2,0	-3,2	-0,3	-1,9	-0,9	0,4	0,8	1,1	-0,2	0,4
32	1,0	-2,1	0,9	0,8	2,0	-1,1	1,1	0,6	-0,8	0,5	0,3	-3,3	0,3	-0,5
33	1,5	-0,6	0,7	-1,0	2,1	-0,6	0,5	-0,2	1,9	0,2	0,6	-1,2	0,5	-1,0
34	1,0	1,4	0,6	-1,5	-0,3	-2,0	0,6	-0,6	1,8	0,2	0,5	-4,0	0,4	-1,1
35	0,4	1,0	0,5	-0,8	-1,4	0,0	-1,1	-0,9	1,5	0,3	0,3	2,9	-1,6	-2,0
36	0,5	0,6	1,8	-0,6	-1,9	0,3	1,9	0,5	2,0	0,7	0,4	0,6	-1,3	-1,9
37	1,0	2,0	1,2	-1,3	-1,7	3,3	1,8	-1,9	1,7	0,2	0,4	0,2	1,4	-0,5
38	1,1	1,9	2,2	-0,9	-0,3	1,4	0,6	-2,1	0,8	0,2	0,7	-2,8	1,9	-1,1
39	1,7	1,7	1,8	-0,6	-1,2	1,9	1,4	-1,1	0,9	0,6	0,9	0,7	0,6	-0,5
40	-0,4	0,7	2,0	-1,0	-3,0	0,6	1,1	0,5	0,6	0,2	1,1	1,1	1,7	-0,6
41	-0,2	-1,7	1,9	-1,2	-2,1	1,7	1,3	-0,7	0,3	0,4	0,3	0,9	1,9	0,3
42	-0,9	-2,5	2,0	-1,5	-2,8	1,9	-0,3	-1,1	-0,2	0,3	0,9	0,5	0,3	-0,8
43	-1,8	-1,6	-2,0	0,8	-0,5	0,3	-1,1	-1,0	-0,4	0,1	0,7	0,5	0,4	-1,5
44	1,6	-0,9	1,9	0,5	-0,5	0,4	0,6	-0,7	-0,4	-0,2	0,6	1,1	0,9	-1,9
45	0,5	-0,2	2,5	0,6	-1,9	0,9	1,8	-0,9	-0,6	-1,5	0,5	0,5	1,1	-0,6
46	0,7	-0,4	1,4	1,0	-0,6	0,5	0,9	-0,6	0,3	-1,1	1,8	0,3	1,7	-1,0
47	1,3	-1,6	-1,0	0,5	0,3	1,1	0,5	-0,5	0,4	-0,6	1,2	0,4	1,8	-0,5
48	2,5	-1,3	-1,5	0,6	0,2	0,2	-0,4	-1,2	-1,0	0,3	2,2	0,1	1,7	-0,6
49	0,9	0,6	-1,4	1,0	0,5	1,5	-0,3	-0,9	-1,3	0,5	0,3	1,2	1,5	-1,0
50	0,1	1,3	0,3	0,8	0,1	1,6	1,1	-0,2	-0,5	0,2	0,4	0,6	0,6	-0,8

Вариант	15		16		17		18		19		20		21	
Образцовые приборы	Система цифровая растровая		Микрокатор		Микрокатор		Система цифровая растровая		Микрокатор		Микрокатор		Система цифровая растровая	
Поверяемые приборы	ИЧ-10		1ИГ (1МИГ)		ПППК-А35		ИЧ-10		1ИГ (1МИГ)		ПППК-А35		ИЧ-10	
№ п/п	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ	Δ_M	Δ_δ
	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм	мкм
1	1,3	0,8	1,5	0,1	0,6	0,5	0,7	0,6	0,3	0,3	0,9	1,8	-0,5	0,6
2	1,0	0,6	1,3	0,3	0,4	0,3	1,2	0,3	0,6	0,3	-0,7	1,1	-1,0	0,7
3	1,5	0,4	1,7	0,1	0,7	2,2	1,5	0,2	0,4	0,1	0,6	1,5	-0,7	2,0
4	1,0	1,0	1,8	0,4	1,5	0,5	1,2	0,2	0,5	0,3	0,5	1,9	-1,7	0,3
5	1,1	1,5	1,5	0,3	0,9	3,3	1,3	0,6	1,5	0,4	-1,8	0,4	-1,7	0,8
6	1,5	1,5	1,8	0,3	1,0	1,2	0,3	0,3	1,5	0,5	1,2	2,4	1,6	0,9
7	1,6	0,2	0,0	0,4	1,4	4,0	0,5	0,3	1,3	0,2	2,2	0,3	2,0	0,8
8	1,7	0,4	0,5	0,4	3,0	2,9	1,2	0,5	1,5	0,3	-0,8	2,0	1,0	0,6
9	1,0	1,3	1,0	1,5	0,5	0,6	1,1	1,1	1,6	0,2	-1,5	1,8	0,8	0,4
10	1,8	1,6	0,7	1,0	2,8	0,2	0,6	1,9	1,2	0,3	-1,8	1,5	0,6	1,0
11	0,7	0,6	1,7	1,5	0,2	2,8	0,5	0,6	1,5	0,5	-1,0	2,4	0,7	1,5
12	1,8	0,2	1,7	1,4	1,5	1,5	0,5	0,4	1,8	0	0,7	2,7	-0,6	1,5
13	0,2	0,4	1,6	1,5	1,1	0,6	1,6	0,5	1,6	0,5	2,0	2,8	-0,7	0,2
14	1,3	2,5	2,0	1,4	1,9	2,8	2,1	0,5	2,0	0	1,0	0,5	-2,0	0,4
15	0,5	0,6	1,0	1,0	0,4	4,0	1,5	0,9	2,2	0,2	-0,8	0,6	-1,8	1,3
16	0,6	0,7	0,8	0,8	2,4	3,5	0,2	0,8	0,2	0,5	-0,6	0,3	-0,6	0,7
17	1,8	2,0	0,6	1,5	0,3	2,0	0,3	0,4	0,4	0,6	-1,3	0,5	-1,8	1,0
18	1,8	0,3	0,4	1,8	2,0	2,5	1,5	0,3	0,5	0,5	-0,5	2,0	-1,1	0,5
19	0,3	0,8	0,5	1,0	1,8	0,4	0,4	1,5	0,2	0,1	1,8	3,2	-1,5	0,7
20	0,5	0,9	0,2	0,7	1,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,2	0,0	1,1	-0,5	0,8
21	1,6	1,1	0,4	0,7	2,4	0,5	0,7	0,3	1,7	0,3	-1,3	0,6	-1,8	1,8
22	1,9	1,5	0,6	1,0	2,7	0,5	0,7	2,5	1,7	0,1	-0,7	2,0	-1,0	1,9
23	2,5	0,5	0,7	0,8	2,8	2,8	0,2	2,4	0,5	0,3	-0,8	3,5	-1,5	2,0
24	1,6	2,1	1,0	1,5	0,5	1,1	1,2	2,6	0,6	0,4	-0,5	2,0	-1,0	0,9
25	1,7	0,6	0,5	0,6	3,3	1,5	1,2	0,6	1,6	0,4	-0,3	2,5	-0,4	1,8
26	1,5	0,4	0,7	1,0	2,4	1,8	1,1	1,1	1,1	0,5	0,6	0,4	-0,5	0,7
27	0,4	1,7	0,8	0,3	0,3	0,6	1,1	1,0	1,8	0,1	-0,5	0,6	1,0	0,6
28	1,4	1,3	0,5	1,0	2,5	0,3	0,8	0,3	1,8	0,4	-0,1	0,5	1,1	1,0
29	1,7	1,4	0,3	1,5	1,8	0,5	0,9	0,8	1,8	0,3	-0,1	0,5	1,7	1,5
30	1,9	0,2	0,6	1,0	1,9	2,0	1,3	1,5	1,9	0,3	0,7	2,8	-0,4	1,0
31	1,8	0,9	0,5	0,5	2,0	3,2	0,3	1,9	0,9	0,4	0,8	1,1	-0,2	0,4
32	1,0	2,1	0,9	0,8	2,0	1,1	1,1	0,6	0,8	0,5	0,3	3,3	0,3	0,5
33	1,5	0,6	0,7	1,0	2,1	0,6	0,5	0,2	1,9	0,2	0,6	1,2	0,5	1,0
34	1,0	1,4	0,6	1,5	0,3	2,0	0,6	0,6	1,8	0,2	-0,5	4,0	0,4	1,1
35	0,4	1,0	0,5	0,8	1,4	0,0	1,1	0,9	1,5	0,3	-0,3	2,9	-1,6	2,0
36	0,5	0,6	1,8	0,6	1,9	0,3	1,9	0,5	2,0	0,7	-0,4	0,6	-1,3	1,9
37	1,0	2,0	1,2	1,3	1,7	3,3	1,8	1,9	1,7	0,2	-0,4	0,2	1,4	0,5
38	1,1	1,9	2,2	0,9	0,3	1,4	0,6	2,1	0,8	0,2	0,7	2,8	1,9	1,1
39	1,7	1,7	1,8	0,6	1,2	1,9	1,4	1,1	0,9	0,6	0,9	0,7	-0,6	0,5
40	0,4	0,7	2,0	1,0	3,0	0,6	1,1	0,5	0,6	0,2	-1,1	1,1	-1,7	0,6
41	0,2	1,7	1,9	1,2	2,1	1,7	1,3	0,7	0,3	0,4	-0,3	0,9	-1,9	0,3
42	0,9	2,5	2,0	1,5	2,8	1,9	0,3	1,1	0,2	0,3	-0,9	0,5	-0,3	0,8
43	1,8	1,6	2,0	0,8	0,5	0,3	1,1	1,0	0,4	0,1	-0,7	0,5	-0,4	1,5
44	1,6	0,9	1,9	0,5	0,5	0,4	0,6	0,7	0,4	0,2	-0,6	1,1	-0,9	1,9
45	0,5	0,2	2,5	0,6	1,9	0,9	1,8	0,9	0,6	1,5	-0,5	0,5	-1,1	0,6
46	0,7	0,4	1,4	1,0	0,6	0,5	0,9	0,6	0,3	1,1	1,8	0,3	-1,7	1,0
47	1,3	1,6	1,0	0,5	0,3	1,1	0,5	0,5	0,4	0,6	1,2	0,4	-1,8	0,5
48	2,5	1,3	1,5	0,6	0,2	0,2	0,4	1,2	1,0	0,3	2,2	0,1	-1,7	0,6
49	0,9	0,6	1,4	1,0	0,5	1,5	0,3	0,9	1,3	0,5	0,3	1,2	-1,5	1,0
50	0,1	1,3	0,3	0,8	0,1	1,6	1,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6	-0,6	0,8

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Любое измерение производится с определенной точностью, то есть характеризуется погрешностью. Абсолютной погрешностью измерительного прибора является разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины. Так как истинное значение неизвестно, то на практике вместо истинного пользуются действительным значением измеряемой величины, которое воспроизводится либо с помощью меры, либо с помощью образцового прибора.

В первом случае погрешность определяется по шкале самого поверяемого прибора, а во втором случае - по шкале образцового прибора, цена деления, а соответственно и погрешность которого выбирается обычно в 5 - 10 раз меньше, чем у поверяемого.

Схема установки для определения погрешностей прибора дана на рис. 1.

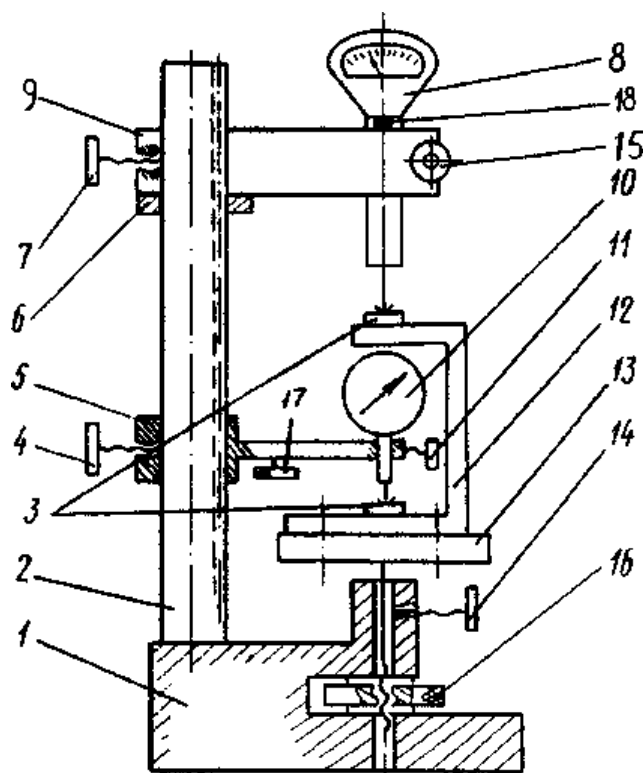


Рис. 1. Схема установки

Стойка состоит из основания 1 и колонны 2, по которой гайкой 6 можно перемещать образцовый измерительный прибор 8 и фиксировать его в нужном положении стопорным винтом 7. Столик 13 можно перемещать через винтовую передачу гайкой 16 и стопорить в нужном положении винтом 14.

Поверяемый прибор 10 закрепляется в специальном кронштейне 5 и помещается внутри скобы 12, которая закрепляется на столике и имеет две находящиеся друг под другом пятки 3 с плоскими мерительными поверхностями. Эта скоба дает возможность расположить оси измерительных стержней образцового 8 и поверяемого прибора 10 на одной прямой (принцип Аббе), что уменьшает погрешности, связанные с перекосами.

В данной работе в качестве образцовых измерительных приборов использовали микрокатор ИГП и систему цифровую растровую для линейных измерений модели 19000.

Микрокаторы выпускаются с ценой деления шкалы от 0,1 до 10 мкм (0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм) и поэтому удобны для поверки приборов с различной ценой деления. В данной работе использованы микрокаторы 01ИГП и 1ИГП, т.е. с ценой деления 0,1 и 1 мкм соответственно и пределами измерения ± 4 мкм и ± 30 мкм (допускаемые погрешности 0,1 мкм и 0,4 мкм).

Система цифровая растровая для линейных измерений предназначена для измерения размеров и перемещений в цеховых условиях. Диапазон измерения 0-10 мм, шаг дискретности 1 мкм, допускаемая погрешность ± 2 мкм.

В качестве поверяемых приборов использованы: портативный прибор приемочного контроля ПППК-А35, рычажно-зубчатая головка 1ИГ (1МИГ) и индикатор часового типа ИЧ-10.

Портативный прибор приемочного контроля ПППК-А35 предназначен для контроля размеров изделий в условиях машиностроительных предприятий, забраковки и сортировки контролируемых изделий.

Предел допускаемой основной погрешности прибора (определяется с каждым преобразователем измерительных устройств отдельно), мкм по шкале с ценой деления

$$\begin{array}{ll} 0,2 \text{ мкм} & \pm(0,05x + 0,1x_k) \\ \text{на остальных шкалах прибора} & \pm (0,02x + 0,02x_k) \end{array}$$

где x - текущие показания по шкале, мкм; x_k - диапазон показаний по шкале, мкм.

Измерительные головки типа ИГ изготавливаются следующих типоразмеров: типа 1ИГс ценой деления 0,001мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм и типа 2ИГ с ценой деления 0,002мм и пределом измерения $\pm 0,1$ Омм.

Предел основной допускаемой погрешности (мкм)

	1ИГ	2ИГ
на границе шкалы 0 ± 30 делений	$\pm 0,40$	$\pm 0,80$
свыше ± 30 делений	$\pm 0,70$	$\pm 1,20$
размах показаний деления шкалы	0,20	0,40

Индикаторы типа МИГ относятся к группе многооборотных измерительных головок.

Выпускаются два типа измерительных головок 1МИГ и 2МИГ Основные данные головок следующие:

	1МИГ	2МИГ
Цена деления, мкм	1	2
Диапазон измерений, мм	0-1	0-2
Предел основной допускаемой погрешности на участке шкалы, мкм:		
200 делений	2	3
1 мм	2,5	4,0
2 мм	-	5,0

Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01мм принадлежат к числу зубчатых приборов, широко применяемых при линейных измерениях.

Индикаторы выпускают двух классов точности 0 и 1 с пределами измерений 0-2; 0-5 и 0-10 мм. Погрешность индикаторов не должна превышать значений, приведенных в табл. 4.

Таблица 4

Основные параметры индикаторов часового типа

Предел допускаемой основной погрешности, мкм	Класс точности	
	0	1
0, 1 мм на любом участке шкалы	4	6
1 мм на любом участке шкалы	8	10
Всей шкалы с пределом измерения		
0-2	10	12
0-5	12	16
0-10	15	20
Погрешность обратного хода, мкм	2	3
Размах показаний, мкм	3	3

Для зубчатых и рычажно-зубчатых измерительных приборов (индикаторов ИЧ и головок ИГ, МИГ) основными параметрами статической погрешности средств измерения являются: систематическая составляющая Δ_c ; среднее квадратическое отклонение случайной составляющей σ , определяющее наибольший размах $b\sigma$; смещение показаний погрешностей C .

Погрешности показывающих приборов определяются как погрешности показаний в одной или нескольких точках диапазона измерения, при неизменных внешних условиях.

Погрешности приборов командного типа, таких как контрольно-сортировочные автоматы, разбраковочные устройства, индикаторы контакта и т.п. определяются как погрешности выходного сигнала измерительного преобразователя (погрешности срабатывания).

В том и другом случае погрешности определяют при многократном воспроизведении с помощью экспериментальной установки (рис.1) одного и того же показания или одного и того же сигнала поверяемого прибора, фиксируя каждый раз показания образцового прибора.

Сначала n раз воспроизводят одно и то же показание (сигнал) при медленном подходе к нему, например, со стороны меньших значений измеряемого размера (при медленном подъеме измерительного столика 13). При этом фиксируют n показаний образцового прибора Δ_{mi} и находят среднее значение

$$\bar{\Delta}_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_{mi}$$

Затем t раз воспроизводят одно и то же показание (сигнал) при медленном подходе к нему со стороны больших значений измеряемого размера (при

медленном опускании измерительного столика 13). При этом снова фиксируют т показаний образцового прибора $\Delta_{\sigma i}$ и находят среднее значение

$$\bar{\Delta\sigma} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\sigma_i$$

Систематическая составляющая погрешности поверяемого прибора определяется полусуммой найденных средних значений;

$$\Delta_c = \frac{1}{2} (\bar{\Delta}_M + \bar{\Delta\sigma})$$

Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности поверяемого прибора определяется как общая оценка для Δ_{Mi} и $\Delta_{\sigma i}$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_{Mi} - \bar{\Delta}_M)^2 + \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_{\sigma i} - \bar{\Delta\sigma})^2} = \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_\sigma^2}$$

Смещение показания (сигнала) определяется абсолютной величиной разности

$$C = |\bar{\Delta}_M - \bar{\Delta\sigma}|$$

Зная основные параметры погрешности поверяемого прибора, можно приближенно определить тот интервал, в котором находится погрешность в одной из точек диапазона изменения (уровня настройки) данного экземпляра средства измерения

$$\Delta = \Delta_c \pm \left(\frac{C}{2} + 3\sigma \right)$$

Эта формула получена из предположения, что случайные погрешности подчинены закону нормального распределения.

Действительно, практика показывает, что в большинстве случаев погрешности измерения подчинены нормальному закону распределения, однако в этом рекомендуется убедиться при проведении каждого эксперимента.

Гипотеза о соответствии эмпирического распределения нормальному может быть проверена либо с помощью критерия согласия χ^2 либо ориентировочно визуально простым сравнением совмещенных графиков эмпирического и теоретического распределений.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Из полученного ряда выбрать максимальное и минимальное значения.
2. Разбить весь ряд показаний (между максимальным и минимальным значениями) на несколько равных интервалов (удобно брать 5, 7, 9 или 11 интервалов, значение средин интервалов выбирать округленное). Подсчитать количество показаний m_i , попадающих в каждый интервал размеров. Если показания совпадают с границей интервала, то необходимо к каждому из смежных интервалов отнести по $\frac{1}{2}$ единицы.
3. Отложить по оси абсцисс значения выбранных средин интервалов Δ_j .

4. Отложить на оси ординат в середине каждого интервала частоту m_i , т.е. количество показаний, попадающих в каждый интервал. Соединив найденные точки, получим полигон распределения (ломаная линия, рис. 2).

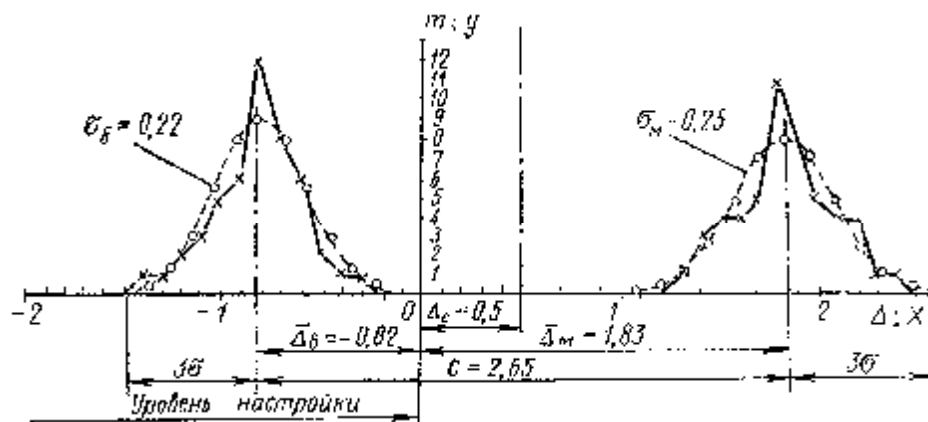


Рис.2. Полигоны эмпирических распределений и теоретические кривые нормального распределения

Центр группирования результатов наблюдений характеризуется средним арифметическим отклонением $\bar{\Delta}$, которое можно определить по следующей формуле:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum \Delta_i m_i}{n}, \quad (1)$$

где Δ_i – средний размер каждого интервала, m_i – число наблюдений (частота), n – общее число наблюдений.

Систематические постоянные погрешности на форму кривой распределения влияния не оказывают и вызывают лишь смещение кривой в направлении абсцисс (смещение центра группирования).

Случайные погрешности сказываются как на форме кривой распределения, так и на величине рассеивания размеров.

Величина рассеивания размеров может быть характеризована средним квадратическим отклонением

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2 m_i}{n}}. \quad (2)$$

Кривые распределения, полученные на основании данных наблюдений, имеют вид ломаных линий (см. полигон распределения).

Однако, как показали исследования случайных погрешностей при многократных измерениях, опытные кривые в большинстве случаев близки к кривым нормального распределения (плавная теоретическая кривая).

Зная среднеарифметическое отклонение $\bar{\Delta}$ и среднее квадратическое отклонение σ , можно построить кривую нормального распределения для полученных результатов.

Среднеарифметическое отклонение определит положение кривой нормального распределения (центр группирования), а среднее квадратическое

отклонение – высоту и растянутость этой кривой; кривая симметрична относительно центра группирования.

Для построения ветви кривой нормального распределения практически достаточно 5 – 7 точек, для чего необходимо задать некоторое количество значений абсциссы x . Графическое построение кривой нормального распределения облегчается, если пользоваться таблицей ординат, вычисленных при $s = 1$ (см. табл. 5), где $x = \Delta_i - \bar{\Delta}$ – абсцисса, отсчитываемая от центра группирования; y – ордината кривой.

Таблица 5

Значения ординат, вычисленные при $\sigma = 1$, ($y = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/s^2}$)

$\pm x$	0	0,5s	1s	1,5s	2s	2,5s	3s
y	0,3989	0,3521	0,2420	0,1295	0,0540	0,0175	0,0044

Первое значение абсциссы, определяющее вершину кривой нормального распределения, следует принять равным нулю ($x = 0$). Последнее значение абсциссы не должно выходить за пределы $x = 3s$.

Для приведения кривой нормального распределения к тому же масштабу (частоте), в котором вычерчена практическая кривая распределения, необходимо ординаты y , найденные по табл. 4 (при $s = 1$), умножить на масштабный коэффициент. Тогда

$$m_i = y \frac{n\Delta x}{s}, \quad (3)$$

где m_i – ордината кривой нормального распределения (в том же масштабе, что и y опытной кривой распределения); y – табличное значение ординаты для $s = 1$; Δx – величина интервала (по оси абсцисс), принятая при построении опытной кривой распределения и выраженная в тех же единицах, что и s ; $\Delta x = \Delta_2 - \Delta_1 = \Delta_3 - \Delta_2$ и т.д.

Точки, полученные на графике при построении теоретической кривой нормального распределения, обводятся плавной линией (рис. 2).

5. Форма отчета

Таблица 6

Часть I		Обработка результатов опытов (производится для поверяемого прибора)				
	Границы интервала	Среднее значение интервала	Частота		Отклонение от среднего	
Δ_M		Δ_{Mi}	m_{Mi}	$\Delta_{Mi}m_{Mi}$	$\Delta_{Mi} - \bar{\Delta}_M$	$(\Delta_{Mi} - \bar{\Delta}_M)^2 m_{Mi}$
	$\Delta_{M1} \dots \Delta_{M2}$					
	$\Delta_{M2} \dots \Delta_{M3}$					
	и т.д.			$\sum \Delta_{Mi}m_{Mi}$		$\sum (\Delta_{Mi} - \bar{\Delta}_M)^2 m_{Mi}$
	$\bar{\Delta}_M = \frac{\sum \Delta_{Mi}m_{Mi}}{n} =$		$s_M = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_{Mi} - \bar{\Delta}_M)^2 m_{Mi}}{n}} =$			
Δ_δ		$\Delta_{\delta i}$	$m_{\delta i}$	$\Delta_{\delta i}m_{\delta i}$	$\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_\delta$	$(\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_\delta)^2 m_{\delta i}$
	$\Delta_{\delta 1} \dots \Delta_{\delta 2}$					
	$\Delta_{\delta 2} \dots \Delta_{\delta 3}$					
	и т.д.			$\sum \Delta_{\delta i}m_{\delta i}$		$\sum (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_\delta)^2 m_{\delta i}$
	$\bar{\Delta}_\delta = \frac{\sum \Delta_{\delta i}m_{\delta i}}{n} =$		$s_\delta = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_{\delta i} - \bar{\Delta}_\delta)^2 m_{\delta i}}{n}} =$			
Систематическая составляющая погрешности				$\Delta_c = \frac{1}{2}(\bar{\Delta}_M + \bar{\Delta}_\delta) =$		
Среднее квадратическое отклонение				$s = \sqrt{s_M^2 + s_\delta^2} =$		
Смещение				$C = \bar{\Delta}_M - \bar{\Delta}_\delta =$		
Интервал погрешности				$\Delta = \Delta_c \pm \left(\frac{C}{2} + 3s \right) =$		

Таблица 7

Часть II	Таблица координат кривых нормального распределения		
x_M	$m_{Mi} = y \frac{n\Delta x}{s_M}$	x_δ	$m_{\delta i} = y \frac{n\Delta x}{s_\delta}$
0		0	
$\pm 0,5s_M$		$\pm 0,5s_\delta$	
$\pm 1s_M$		$\pm 1s_\delta$	
$\pm 1,5s_M$		$\pm 1,5s_\delta$	
$\pm 2s_M$		$\pm 2s_\delta$	
$\pm 2,5s_M$		$\pm 2,5s_\delta$	
$\pm 3s_M$		$\pm 3s_\delta$	

ЗАДАНИЕ 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПОКАЗАНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ СХЕМОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Важную роль в технических измерениях играют используемые при их осуществлении технические средства, имеющие нормированные метрологические характеристики и называемые средствами измерений (СИ).

Основным структурным элементом средства измерений является измерительная цепь (рис.3), определяемая как совокупность преобразовательных элементов средства измерений, обеспечивающая осуществление всех преобразований сигнала измерительной информации.

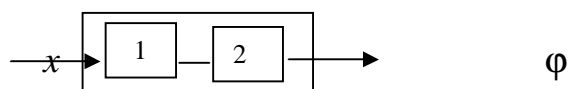


Рис.3. Структурная схема измерительной цепи

Измерительный преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, называется первичным измерительным преобразователем 1 (рис.3).

Масштабный преобразователь 2 (рис.3) – преобразователь, вырабатывающий сигнал на выходе измерительной цепи, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателя.

Сигнал, поступающий на вход средства измерений, т.е. входной сигнал x , пройдя через все ступени преобразования, дает на выходе средства измерений выходной сигнал в том или ином виде. Одним из видов выходного сигнала является **показание** ϕ средства измерений, т.е. значение величины, определяемое по отсчетному устройству и выраженное в принятых единицах этой величины.

Зависимость между значениями величины на выходе и входе средства измерений, представленная в виде таблицы, графика или формулы, называется **градуировочной характеристикой** средства измерений. Эта характеристика имеет важное значение при изучении точности измерений, проводимых данным средством, как одной из важнейших характеристик его качества. Точность измерений отражает близость к нулю его погрешностей. Погрешность измерительного прибора есть разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

По характеру проявления погрешности средств измерений могут быть систематическими и случайными. Систематическая погрешность – составляющая погрешности средства измерений, принимаемая постоянной или закономерно изменяющаяся. Случайная погрешность – составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом.

Для изучения погрешностей измерений важно установить в математической форме связь между измеряемой величиной и показанием средства измерений.

Связь между входом и выходом измерительной цепи должна быть рассмотрена, по крайней мере, в трех аспектах:

1. **реальные показания** j , зависящие от схемы и погрешностей параметров СИ; для реальной характеристики φ математическое описание может быть составлено по экспериментальным данным с применением математического аппарата теории случайных функций;

2. **теоретические показания** j_{cx} , зависящие от параметров схемы без учета их погрешностей; характеристика φ_{cx} может быть выполнена в общем виде для конкретной схемы СИ;

3. **требуемые точные показания** j_0 , реализуемые средствами поверки СИ; требуемая точная характеристика φ_0 выражает закон построения шкалы.

Измерительные приборы конструируют так, чтобы изображение значения измеряемой величины воспринималось человеком непосредственно с помощью геометрических, физических или цифровых символов.

В большинстве показывающих измерительных приборах применяется равномерная шкала и измерительная цепь должна воспроизводить линейную зависимость $\varphi_0=kx$, где k – требуемое передаточное отношение прибора.

Однако для показывающих приборов характерно наличие систематической погрешности, играющей важную роль в общей погрешности. Для измерительных приборов механического типа наиболее значительной составляющей систематической погрешности является погрешность измерительного механизма, т.е. ошибка положения или перемещения механизма.

Функцию, связывающую перемещение x чувствительного элемента и перемещение указателя измерительного механизма, называют функцией положения или теоретическими показаниями, обусловленными схемой средства измерения φ_{cx} .

В эту функцию входят параметры механизма r_i – геометрические величины, определяющие размеры и взаимное положение отдельных элементов, и она имеет вид

$$j_{cx} = f(x; r_i). \quad (4)$$

В случае если измерительный механизм реализует требуемую для прибора функциональную зависимость между измеряемой величиной и результатом измерения приближенно, то механизм обладает теоретической ошибкой, т.е. погрешностью показаний $\Delta\varphi_{cx}$, обусловленной схемой СИ.

Тогда теоретическая ошибка $\Delta\varphi_{cx}$ представляет собой разность функции положения механизма и требуемыми точными показаниями φ_0 :

$$\Delta j_{cx} = j_{cx} - j_0, \quad (5)$$

где φ_{cx} – характеристика средства измерения по его схеме без учета первичных погрешностей; φ_0 – требуемая точная характеристика СИ.

Таким образом, теоретическая ошибка является функцией перемещения чувствительного элемента прибора и его параметров.

Совпадение характеристик φ_{cx} и φ_0 означает отсутствие погрешностей показаний, обусловленных схемой СИ, т.е. $\varphi_{cx} = \varphi_0$.

Измерительные цепи рычажно-зубчатых приборов состоят из сочетаний механических рычагов и зубчатых пар.

Математическое описание рычажно-зубчатых средств измерений должно быть представлено в виде функции, отражающей основные закономерности измерительного устройства, в которое входят:

- первичный преобразователь, который преобразует линейную величину в угловую;
- масштабный преобразователь, состоящий из зубчатой передачи;

В конструкциях рычажно-зубчатых механизмов в начале цепи располагают рычажные передачи, т.к. они имеют малые ошибки профиля контактирующих поверхностей. В качестве первичного преобразователя (для преобразования прямолинейного перемещения во вращательное) могут быть использованы элементы синусного (рис.5) или тангенсного (рис.6) механизма, а также их комбинации. Синусный механизм получается при плоской поверхности контакта поступательно движущего элемента, а тангенсный при сферической его поверхности.

На выходе измерительной цепи ставят зубчатые передачи, т.к. они обладают значительно большими погрешностями, чем рычажные передачи. В качестве масштабного преобразователя используют зубчатую передачу (пара колес), состоящую из одноступенчатой передачи или, чаще, 2-х ступенчатой для которой определяют передаточное отношение i_m .

Методику математического описания средства измерений (получение характеристики $\varphi_{сх}$ и погрешности показаний $\Delta\varphi_{сх}$, обусловленной схемой СИ) рассмотрим на нескольких примерах.

ПРИМЕР 1. Индикатор часового типа ИЧ

В измерительной цепи индикатора часового типа (рис.4) первичным преобразователем служит зубчатая передача от рейки к колесу.

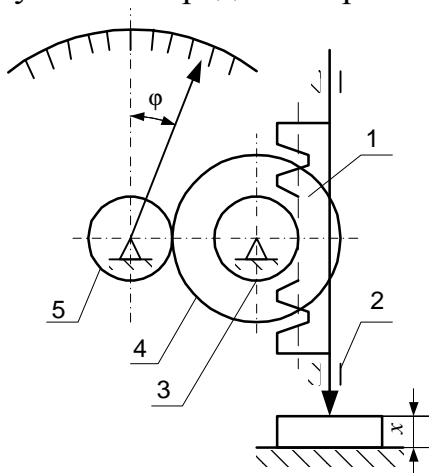


Рис. 4. Кинематическая схема индикатора часового типа:
1 – зубчатая рейка; 2 – корпус; 3 – 5 – зубчатые колеса

Здесь линейная величина преобразуется в угловую:

$$a = \frac{x}{r_3}. \quad (6)$$

Масштабным преобразователем служит пара колес 4 и 5:

$$i_M = \frac{z_4}{z_5}. \quad (7)$$

Тогда функция схемы φ_{cx} будет иметь вид:

$$j_{cx} = a \cdot i_M = \frac{x \cdot z_4}{r_3 \cdot z_5} \text{ [рад]}. \quad (8)$$

Функция схемы φ_{cx} может быть выражена в делениях шкалы:

$$j_{cx} = a \cdot i_M = \frac{x \cdot z_4}{r_3 \cdot z_5} \cdot \frac{z_{ш}}{q} \text{ [дел. шк.]}, \quad (9)$$

где $z_{ш}$ – общее число делений шкалы; θ – угол шкалы, соответствующий $z_{ш}$.

Функция φ_{cx} может быть выражена в единицах измеряемой величины, если ввести множитель c (c – цена деления):

$$j_{cx} = a \cdot i_M = \frac{x \cdot z_4}{r_3 \cdot z_5} \cdot \frac{z_{ш}}{q} \cdot c \text{ [ед. измеряемой величины]}. \quad (10)$$

Вывод: функция φ_{cx} – линейна, шкала равномерная, следовательно, φ_{cx} совпадает с φ_0 и $\Delta\varphi_{cx} = 0$.

ПРИМЕР 2. СИНУСНАЯ РЫЧАЖНАЯ ПЕРЕДАЧА

Дана схема измерительной цепи (рис.5).

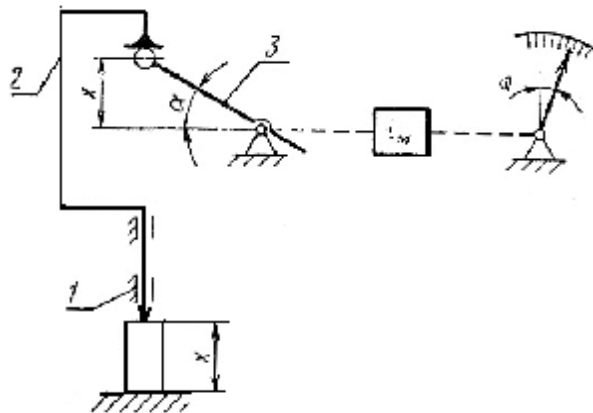


Рис.5. Схема измерительной цепи с синусной рычажной передачей: 1 – корпус; 2 – измерительный стержень; 3 – ведущее плечо рычага

Из схемы следует, что

$$\sin a = \frac{x}{r_3}, \quad (11)$$

где r_3 – длина звена 3 от сферы до оси вращения рычага. Отсюда

$$a = \arcsin \frac{x}{r_3} \text{ [рад]}. \quad (12)$$

Тогда показания φ_{cx} при синусном первичном преобразователе:

$$j_{cx} = \left(\arcsin \frac{x}{r_3} \right) \cdot i_M \cdot \frac{z_{ш}}{q} \text{ [дел. шк.]}, \quad (13)$$

где i_M – передаточное отношение масштабного преобразователя;
 $z_{ш}$ – число делений шкалы в диапазоне измерений; θ – угол шкалы в том же диапазоне.

Формула (13) представляет нелинейную функцию. При равномерной шкале возникает погрешность показаний, т.е. $\Delta\varphi_{сх} \neq 0$.

ПРИМЕР 3. ТАНГЕНСНАЯ ПЕРЕДАЧА

Дана схема измерительной цепи с тангенсной передачей (рис.6).

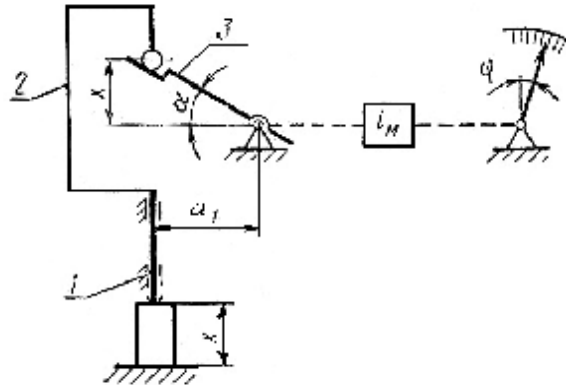


Рис.6. Схема измерительной цепи с тангенсной рычажной передачей:
 1 – корпус; 2 – измерительный стержень; 3 – ведущее плечо рычага

Из схемы измерительной цепи с тангенсной рычажной передачей (рис.6) следует, что

$$\operatorname{tg} a = \frac{x}{a_1}, \quad (14)$$

где a_1 – длина звена до оси вращения рычага.

Отсюда:

$$a = \operatorname{arctg} \frac{x}{a_1} \text{ [рад]}. \quad (15)$$

Тогда показания СИ при тангенсном первичном преобразователе:

$$j_{сх} = \left(\operatorname{arctg} \frac{x}{a_1} \right) \cdot i_M \cdot \frac{z_{ш}}{q} \text{ [дел. шк.]}. \quad (16)$$

Формула (16) представляет также нелинейную функцию, следовательно, при равномерной шкале $\Delta\varphi_{сх} \neq 0$.

ПРИМЕР 4. СИНУСНО-КУЛИСНАЯ ПЕРЕДАЧА

Дана схема измерительной цепи с синусно-кулисной передачей (рис.7).

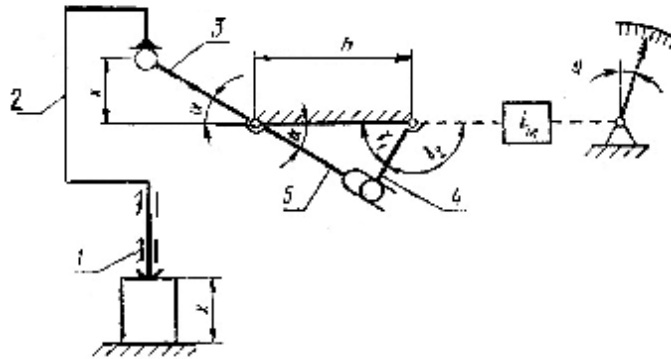


Рис. 7. Схема измерительной цепи синусно-кулисной передачи средства измерения:

1 – корпус; 2 – измерительный стержень; 3 – ведущее плечо рычага;
4 – рычаг сектора; 5 – кулиса

По схеме измерительной цепи синусно-кулисной передачи (рис.7) определим угол γ_1 , исходя из равенства отношений сторон треугольника и синусов противолежащих углов:

$$\frac{b}{r_4} = \frac{\sin[p - (a + g_1)]}{\sin a}, \quad (17)$$

Учитывая, что

$$a = \arcsin \frac{x}{r_3}, \quad \text{и} \quad \sin[p - (a + g_1)] = \sin(a + g_1);$$

Получим: $\frac{bx}{r_4 r_3} = \sin(a + g_1);$

$$a + g_1 = \arcsin \left(\frac{bx}{r_4 r_3} \right);$$

$$g_1 = \arcsin \left(\frac{bx}{r_4 r_3} \right) - \arcsin \frac{x}{r_3}. \quad (18)$$

Показание СИ, обусловленное его схемой (при учете внутреннего угла γ_1)

$$j_{\text{сх}} = \left[\arcsin \left(\frac{bx}{r_4 r_3} \right) - \arcsin \frac{x}{r_3} \right] \cdot i_m \frac{z_{\text{ш}}}{q} \text{ [дел. шкалы]}, \quad (19)$$

где i_m , $z_{\text{ш}}$, θ имеют тот же смысл, что и в примере 2.

Если в схеме определяют внешний угол $\gamma_2 = \pi - \gamma_1$, то знак минус в квадратных скобках изменяют на плюс.

Равенство (19) выражает нелинейную функцию, поэтому при равномерной шкале $\Delta \varphi_{\text{сх}} \neq 0$.

ПРИМЕР 5. РЫЧАЖНО-ЗУБЧАТЫЙ ИНДИКАТОР ТИПА ИРБ

В рычажно-зубчатом индикаторе типа ИРБ жестко связанные элементы 3 и 4 (рис.8) образуют первичный преобразователь – синусный рычаг. Элементы 4 – 6 представляют собой масштабный преобразователь. Элементы 1 и 5 соединены жестко.

Значения параметров:

- $0,4 \leq x \leq + 0,4$ мм – диапазон измерений;
- $c = 0,01$ мм – цена деления шкалы;
- $r_3 = 10,58$ мм – расстояние от центра сферы наконечника 3 до оси шарнира;
- $z_1 = 30, z_4 = 410, z_5 = 72, z_6 = 12$ – параметры зубчатой передачи;
- $z_{ш} = 80$ – число делений шкалы;
- $\theta = 2\pi$ – угол шкалы.

Требуется вычислить погрешность показаний, обусловленных схемой.

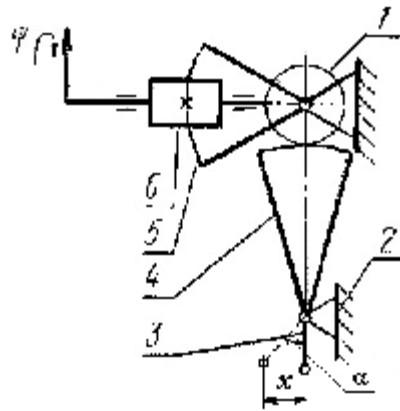


Рис. 8. Схема измерительной цепи рычажно-зубчатого индикатора типа ИРБ:
1, 4 – 6 – зубчатая передача; 2 – корпус; 3 – рычаг

Из схемы (рис.8) следует, что

$$\sin a = \frac{x}{r_3}, \quad (20)$$

где r_3 – длина звена 3 от сферы до оси вращения рычага. Отсюда:

$$a = \arcsin \frac{x}{r_3} \text{ рад.} \quad (21)$$

Показания индикатора $\varphi_{сх}$:

$$j_{сх} = \left(\arcsin \frac{x}{r_3} \right) \cdot i_M \cdot \frac{z_{ш}}{q} \text{ [дел. шк.],} \quad (22)$$

где i_M – передаточное отношение масштабного преобразователя;

$z_{ш}$ – число делений шкалы в диапазоне измерений; $\theta = 2\pi$ – угол шкалы в том же диапазоне.

Подставив в (22) выражение i_M , получим зависимость между входом и выходом:

$$j_{cx} = \left(\arcsin \frac{x}{r_3} \right) \cdot \frac{z_4 \cdot z_5}{z_1 \cdot z_6} \cdot \frac{z_{ш}}{q} \text{ [дел. шк.]}. \quad (23)$$

Формула (23) представляет нелинейную функцию.

При равномерной шкале возникает погрешность схемы φ_{cx} . Расчет погрешности схемы по формуле (5) представим в табличной форме:

№ п/п	x (мм)	φ_{cx} (дел)	φ_{cx} (мм)	φ_0 (дел)	φ_0 (мм)	$\Delta\varphi_{cx}$ (мкм)
1	-0,4	-39,48	-0,3948	-40	-0,4	5,2
2	-0,3	-29,61	-0,2961	-30	-0,3	3,9
3	-0,2	-19,73	-0,1974	-20	-0,2	2,6
4	-0,1	-9,87	-0,0987	-10	-0,1	1,3
5	0	0	0	0	0	0
6	0,1	9,87	0,0987	10	0,1	-1,3
7	0,2	19,74	0,1974	20	0,2	-2,6
8	0,3	29,61	0,2961	30	0,3	-3,9
9	0,4	39,48	0,3948	40	0,4	-5,2

На графике рис.9 показана зависимость погрешности схемы от величины входного сигнала x .

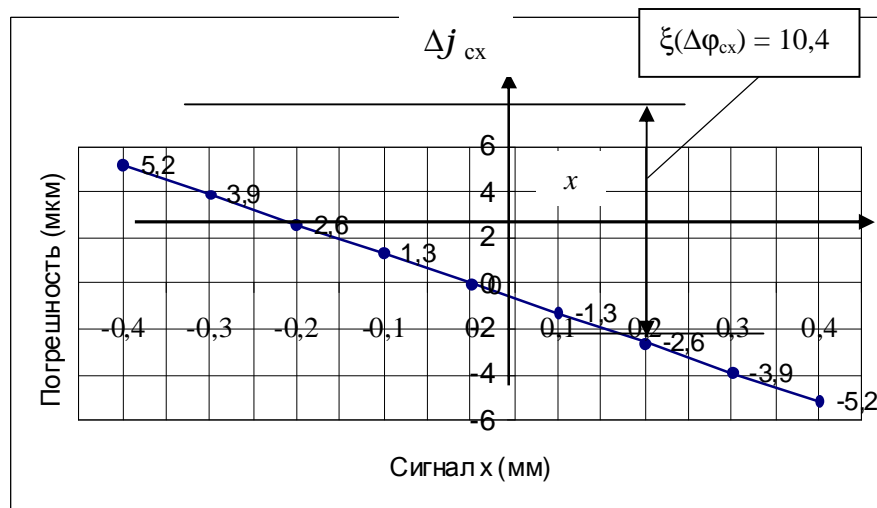


Рис.9. График функции $\Delta\varphi_{cx}(x)$

Ширина зоны погрешности схемы $\xi(\Delta\varphi_{cx})$ для всего диапазона индикатора ИРБ:

$$\xi(\Delta\varphi_{cx}) = |\Delta\varphi_{cx \max} - \Delta\varphi_{cx \min}| = 5,2 - (-5,2) = 10,4 \text{ (мкм)}.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изобразить схему измерительной цепи измерительной головки 1ИГ, 2ИГ, 1МИГ, 2МИГ, 1МКМ, 1ИГМ, 05205 (по указанию преподавателя).
2. Исходя из паспортных данных головки и ее схемы, определить значения параметров:
 - x – диапазон измерений;
 - c – цену деления шкалы;
 - r_i – размеры звеньев;
 - b – расстояние между опорами рычагов;
 - z_i – числа зубьев ;
 - $z_{ш}$ – число делений шкалы;
 - θ – угол шкалы.
3. Вывести формулу для определения показаний измерительной головки, обусловленных ее схемой

$$j_{cx} = j_{cx}(x; r_i).$$

4. Выполнить расчет показаний, обусловленных схемой для всего диапазона измерений (для многооборотных головок в пределах одного оборота). Расчет произвести в табличной форме:

№ п/п	x (мм)	φ_{cx} (дел)	φ_{cx} (мм)	φ_0 (дел)	φ_0 (мм)	$\Delta\varphi_{cx}$ (мкм)
1						
2						
3						
...						

5. Построить график зависимости погрешности схемы от величины x :

$$\Delta\varphi_{cx} = \Delta\varphi_{cx}(x).$$

6. Рассчитать ширину зоны погрешности схемы.

Ширина зоны погрешностей $\xi(\Delta\varphi)$ равна абсолютному значению разности между $\Delta\varphi_{cx \max}$ и $\Delta\varphi_{cx \min}$:

$$\xi(\Delta\varphi_{cx}) = |\Delta\varphi_{cx \max} - \Delta\varphi_{cx \min}|.$$

7. Вывод.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

1. Измерительная головка 1ИГ (2ИГ)

Измерительные головки типа ИГ (рис. 10) изготавливаются следующих типоразмеров: типа 1ИГ с ценой деления 0,001мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм и типа 2ИГ с ценой деления 0,002мм и пределом измерения $\pm 0,10$ мм.

Для обоих типов головок сохраняются одинаковыми следующие параметры: $r_1=4,15$ мм; $b=30,4$ мм; $z_1=228$; $z_2=16$; $z_{ш}=100$; $\theta = (4/3)\pi$.

Изменение цены деления достигается регулированием длины кулисного рычага r_3 . Для типа 1ИГ – $r_3=2,3$ мм; для типа 2ИГ – $r_3=4,3$ мм.

Допускаемая погрешность на всем диапазоне, мм: 1ИГ - $\pm 0,0007$; 2ИГ - $\pm 0,0012$.

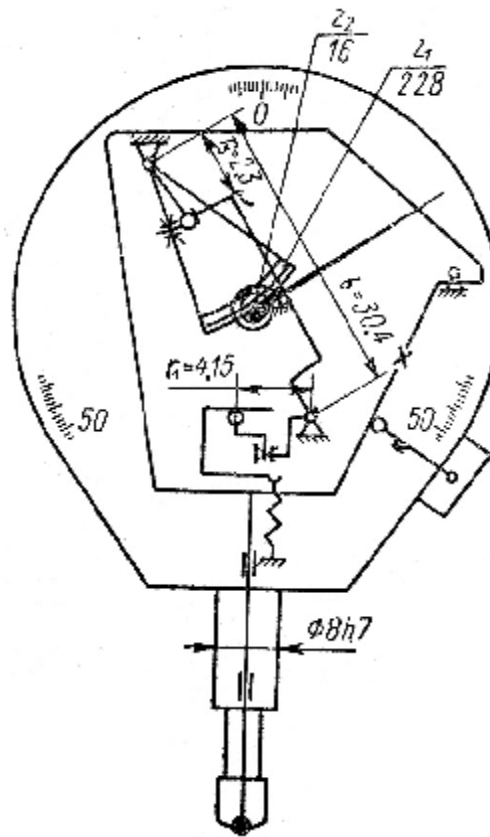


Рис. 10. Измерительная головка 1ИГ

3. Рычажно-зубчатая измерительная головка типа 1МКМ

Механизм головки состоит из двух рычажных и одной зубчатой пары (рис. 12). Последняя расположена в конце кинематической цепи механизма. Поэтому погрешности зубчатого зацепления почти не влияют на суммарную погрешность прибора. Цена деления головки 1МКМ – 0,001мм, диапазон измерений составляет $\pm 0,05$ мм. Остальные параметры головки: $r_1= 4,15$ мм; $r_2=28,1$ мм; $r_3=2,3$ мм; $z_1=228$; $z_2=16$; $z_{ш}=100$; $\theta = (4/3)\pi$. Допускаемая погрешность на всем диапазоне $\pm 0,0008$ мм.

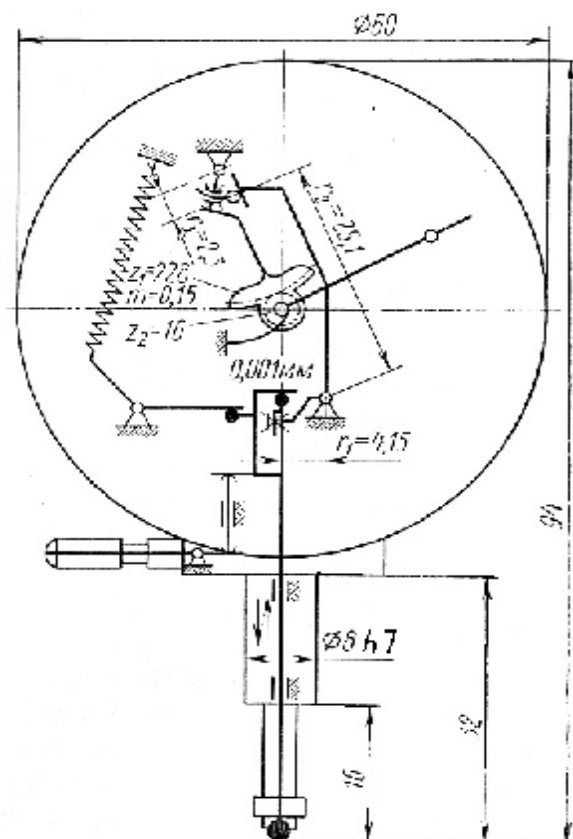


Рис. 12. Измерительная головка 1МКМ

4. Многооборотная измерительная головка мод. 05205

Многооборотная рычажно-зубчатая измерительная головка модели 05205 (рис.13) имеет цену деления 2мкм и диапазон измерения 5мм. Допускаемая погрешность измерения в пределах одного оборота составляет 0,004мм. Кулисный рычаг имеет переменную длину, номинальный размер которого составляет $r_{2ном}=18\text{мм}$

Остальные параметры головки 05205 следующие: $r_1=9,8\text{мм}$; $b=6\text{мм}$; $z_1=330$; $z_2=44$; $z_3=160$; $z_4=16$; $z_{ш}=500$; $\theta = 2\pi$.

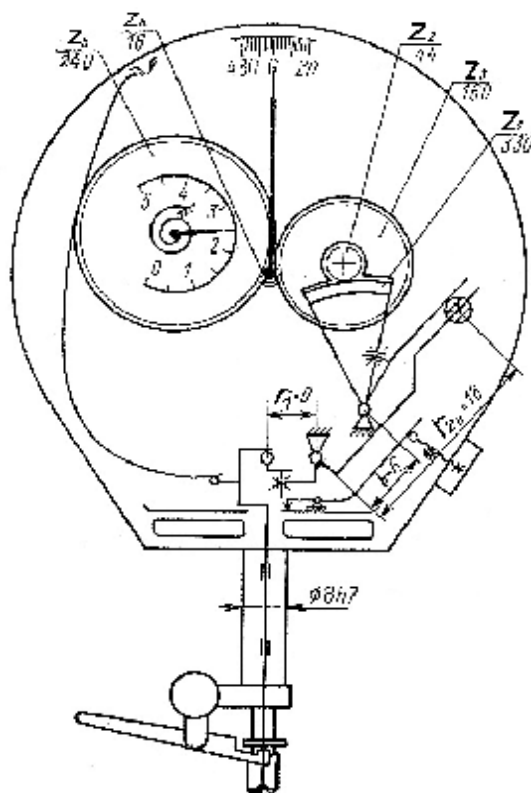


Рис. 13. Многооборотная измерительная головка модели 05205

ЛИТЕРАТУРА

1. Городецкий Ю.Г. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. – М.: Машиностроение, 1971. – 376с.
2. Дмитриев С.И., Ершова И. Г. Метрологическое обеспечение производства в машиностроении : Курс лекций – Псков : Издательство ППИ, 2010. – 184 с.: – ил.
3. Ершова И. Г., Магда В. И. Метрологическое обеспечение производства: Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности «Технология машиностроения» очной формы обучения. – ППИ, 2006 – 75с.
4. Иванцов А.И. Основы теории точности измерительных устройств. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 212с.
5. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология. – М. ИПК. Изд-во стандартов, 2001. – 272с.
6. Метрологическое обеспечение технологических процессов изготовления изделий в машиностроении: Учебное пособие/ Н.П. Солнышкин, Л.В. Дашков, С.И. Дмитриев. Под общ. ред. Н.П. Солнышкина – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – 198с.
7. Расчет и конструирование измерительных приспособлений. Методические указания по выполнению курсовой работы /С.И. Дмитриев, И.Г. Ершова; – Псков: Изд. СПбГПУ, 2004. – 43с.
8. РМГ 29-99. Метрология. Основные термины и определения.
9. Средства линейных измерений. Методические указания по выбору средств измерений линейных размеров./ С.И. Дмитриев, И.Г. Ершова. СПб.: Изд. СПбГТУ, 2001. – 86с.
10. Средства для линейных измерений /Б.М. Сорочкин, Ю.З. Тененбаум, А.П. Курочкин, Ю.Д. Виноградов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 264с.

Ершова Ирина Глебовна

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания
по выполнению контрольной работы
для студентов заочной формы обучения
специальность «Технология машиностроения»

Технический редактор: И.Г. Ершова
Компьютерная верстка И.Г. Ершова
Корректор: С.Н Емельянова

Подписано в печать 25.10.2010. Формат 60×90/16.
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 2.
Тираж 100 экз. Заказ № 2830.

Адрес издательства:
Россия, 180000, Псков, ул. Л. Толстого, 4
Издательство ППИ