

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ПСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**И.Г. Ершова, В.И. Магда**

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности «Технология  
машиностроения»*

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

Псков ППИ  
2006

**УДК 621.753  
ББК 34.5  
Е - 80**

Рецензенты: Шкуркин В.В. – к.т.н., профессор кафедры металлорежущих станков и инструментов Псковского государственного политехнического института

**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.

Методические указания по дисциплине ДС.01.03 «Метрологическое обеспечение производства» предназначены для студентов специальности 151001 – «Технология машиностроения» очной формы обучения.

Содержат сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ по измерению и контролю линейных размеров, отклонений формы поверхностей, а также по изучению конструкции измерительных приборов и определению погрешностей.

УДК 621  
ББК 34.5  
Е - 80

© Псковский государственный  
политехнический институт, 2006.  
© Ершова И. Г., Магда В. И., 2006.

## 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 данном выпуске лабораторных работ представлены к изучению специальные измерительные приборы, предназначенные для измерения линейных и угловых размеров, а также измерения отклонения формы поверхности. Описываются приемы работы на них, методы поверки, а также.

## РАБОТА 1 ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

Универсальный измерительный микроскоп предназначен для измерения линейных и угловых размеров различных точных изделий. Основными преимуществами универсальных микроскопов являются большие пределы измерения и более высокая точность измерений.

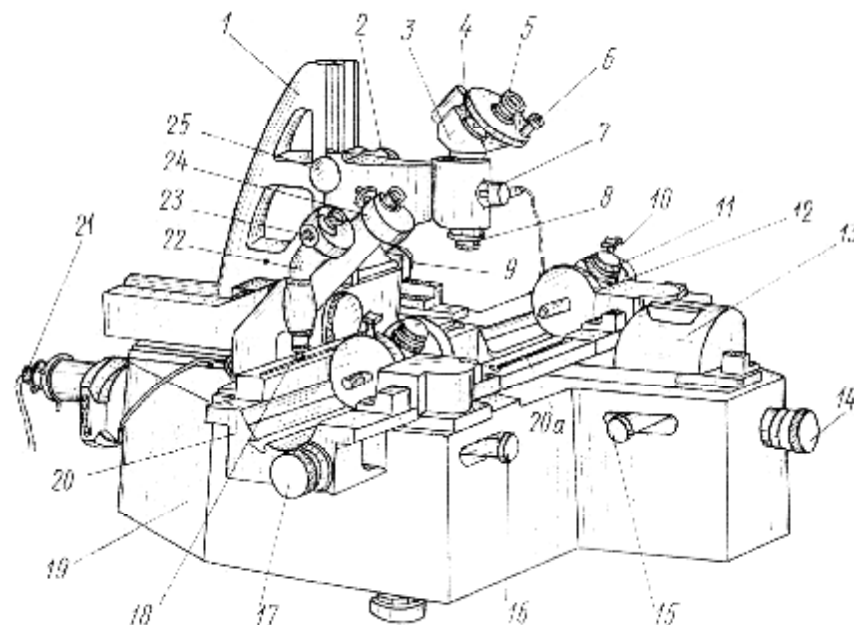


Рис. 1. Универсальный измерительный микроскоп

Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21 (рис.1) состоит из массивного основания 19, относительно которого могут независимо перемещаться во взаимно перпендикулярных направлениях стол 20 и каретка 13.

На каретке укрепляется колонна с микроскопом 3 и осветителем 21. Легкость и плавность перемещений стола и каретки достигаются за счет того, что они опираются на шариковые подшипники, которые катятся по доведенным направляющим.

Стол и каретка прикрепляются к своим микрометрическим винтам 17 и 14 зажимами 16 и 15. Вначале, при отпущенных зажимах, стол и каретку перемещают вручную в нужное положение относительно микровинтов, затем соединяют их зажимами с микрометрическими винтами и с помощью этих винтов производят малые перемещения.

Величина перемещения стола определяется по шкале 18 (длина 200 мм, длина деления 1 мм) с помощью прикрепленного к станине спирального микроскопа 22, а величина перемещения поперечной каретки - по шкале длиной 100 мм спиральным микроскопом 24. Цена деления спиральных микроскопов 1 мкм.

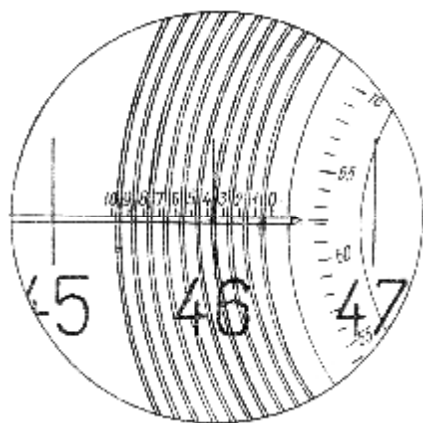


Рис. 2. Спиральный микроскоп

По спиральному микроскопу показания снимаются следующим образом (рис.2):

а) целое число миллиметров отсчитывается по тому штриху основной шкалы, который находится в пределах неподвижной шкалы десятых долей миллиметра (46 мм на рис.2);

б) десятые доли миллиметра отсчитываются по неподвижной шкале в зависимости от того, какой последний штрих этой шкалы прошел зафиксированный ранее штрих (46мм) основной шкалы (в примере на рис.2 штрих 46 мм прошел штрих 0,3 мм);

в) сотые и тысячные доли миллиметра отсчитываются после поворота пластинки со спиралью Архимеда за рукоятку 23. Пластинку поворачивают так, чтобы штрих основной шкалы (46 мм) в области

указателя располагался симметрично между рисками витка двойной спирали. Отсчет производится по круговой шкале и указателю (62 мкм на рис.2).

Таким образом, полный отсчет в данном примере 46,362мм.

Стол имеет цилиндрический направляющий желоб, куда устанавливают бабки 12 с центрами. Верхняя плоскость стола служит для установки на ней планок с измерительными ножами или для установки предметного стеклянного столика.

С целью увеличения точности измерения к универсальным микроскопам прилагаются измерительные ножи. Рабочая высота ножа рассчитана таким образом, что при установке его на специальной опорной планке лезвие ножа находится на высоте центров. Ножи бывают прямые и скошенные (левые и правые). На верхней поверхности ножа параллельно лезвию нанесена тонкая риска. Расстояние от лезвия до риски делается равным 0,3 или 0,9 мм.

Деталь освещается либо от источника света 21 снизу параллельным пучком лучей, либо сверху от постороннего источника света. Изображение детали рассматривается через окуляр 5 микроскопа. Фокусирование производится вначале грубо, перемещением микроскопа маховичком 25 при отпущенном стопоре 2, затем более точно кольцом 8.

Колонна 1 вместе с микроскопом и осветителем может быть наклонена относительно поперечной каретки винтом 9, что необходимо при измерении резьб. Отсчет выполняется по шкале с ценой деления 6'.

Измерительный микроскоп снабжается сменными окулярными головками: универсальная штриховая 5 (рис.1), двойного изображения (рис.4) и профильная, служащая для сравнения профиля детали с набором профилей на окулярной пластинке.

**Универсальная штриховая головка** имеет поворотную стеклянную пластину с перекрестьем и дополнительными штриховыми линиями (рис.3). Процесс измерения заключается в получении разности отсчетов по отсчетным микроскопам при двух последовательных совмещениях теневого изображения контура детали с одной и той же штриховой линией окулярной головки.

Дополнительные штриховые линии необходимы для измерения деталей с применением специальных измерительных ножей, поэтому расстояния от центрального штриха до дополнительных

соответствуют расстояниям от лезвия ножа до риски на его поверхности (0,3 или 0,9 мм).

Штриховая пластина может поворачиваться маховичком 4 (рис.1), угол поворота отсчитывается по шкалам угломерного микроскопа 6 (по основной шкале с ценой деления  $1^\circ$  и по дополнительной шкале с ценой деления  $1'$ ). Шкалы освещаются зеркальцем от осветителя 7, расположенных под угломерным микроскопом.

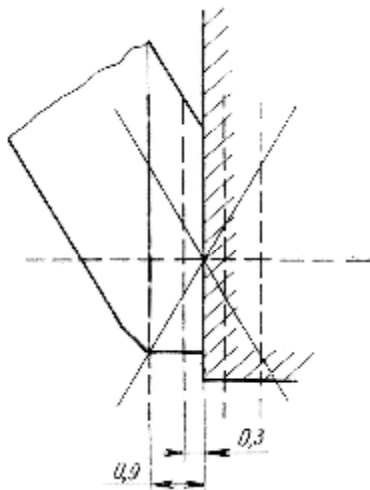


Рис. 3. Схема измерения специальными измерительными ножами

**Головка двойного изображения** (рис.4) служит для определения расстояний между осями отверстий или пазов. Головка состоит из корпуса, окуляра и системы призм. Плоскость  $abcd$  является полупрозрачным зеркалом, т.е. часть света проходит через него, а другая часть отражается. Пучок света, несущий изображение детали ( $A$ ), на грани  $abcd$  раздваивается, и из призмы выходят уже два пучка, образующие два изображения - прямое ( $A_1$ ) и перевернутое на  $180^\circ$  ( $A_2$ ). Если проследить ход лучей после их разделения, то видно, что при перемещении микроскопа относительно детали изображения будут сближаться или удаляться друг от друга. Поэтому, если добиться совмещения обоих изображений, то ось микроскопа  $OO$  будет располагаться над осью отверстия или паза. Таким образом, применяя головку двойного изображения, можно определять расстояния не между краями отверстий и пазов, а непосредственно между их осями.

Увеличение окуляров головок равно  $10^x$ , увеличения сменных объективов -  $1^x$ ;  $1,5^x$ ;  $3^x$  и  $5^x$ , соответствующие поля зрения - 21; 14; 7 и 4,2 мм.

В данной работе используется наиболее распространенный объектив  $3^x$ , т.е. общее увеличение микроскопа  $30^x$ .

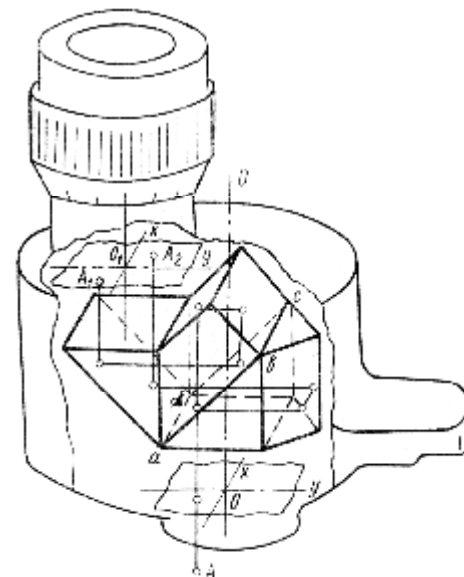


Рис. 4. Головка двойного изображения

## Порядок выполнения работы

### Измерения расстояния между осями отверстий

1. Подготовить микроскоп к работе. Для этого, отпустив стопорные винты 11 (рис.1), раздвинуть бабки 12 и установить стеклянный столик на шлифованную плоскость стола (регулирующие винты столика должны располагаться со стороны наблюдателя).

Подключить микроскоп к осветительной сети. Установить в освещенной зоне предметного стекла столика измеряемую деталь. Перемещая вручную стол и каретку микроскопа или деталь по стеклянному предметному столику, расположить деталь так, чтобы одно из отверстий находилось в поле зрения микроскопа.

Сфокусировать микроскоп относительно детали. Для этого, опустив стопор 2 и перемещая микроскоп вверх и вниз маховичком 25, добиться четкого изображения отверстия, после чего стопор 2 закрепить. При необходимости тонкую регулировку произвести кольцом 8.

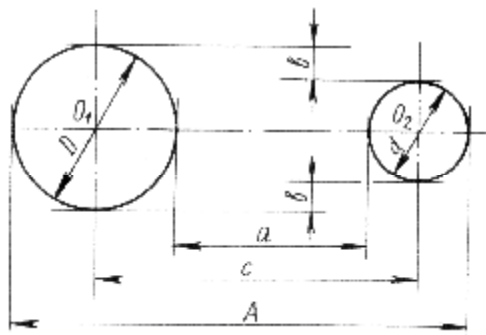


Рис. 5. Схема измерения межосевого расстояния при параллельном перемещении стола относительно  $O_1O_2$

2. Измерить расстояние между осями отверстий  $D$  и  $d$  (рис.5), используя универсальную штриховую головку. В этом случае межосевое расстояние отверстий можно определять только косвенным методом, либо по результатам измерения диаметров отверстий и расстояния между их краями:

$$C = a + \frac{D+d}{2} = A - \frac{D+d}{2}, \quad (1)$$

9

либо только по двум расстояниям между краями:

$$C = \frac{A+a}{2}. \quad (2)$$

Перед измерением расстояний  $A$  и  $a$  деталь необходимо установить так, чтобы межосевая линия  $O_1O_2$  располагалась параллельно направлению движения стола. Для этого последовательными перемещениями стола и поворотами детали добиться такого положения, чтобы расстояния  $b$ , измеренные поперечным микроскопом, были одинаковы.

Операция выверки детали трудоемка, поэтому рекомендуется другой вариант определения расстояния  $C$ .

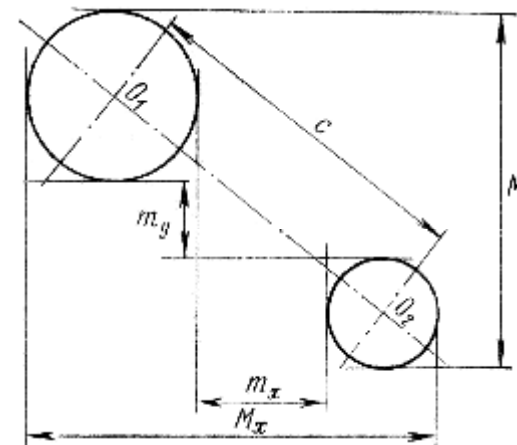


Рис. 6. Схема измерения межосевого расстояния при произвольном расположении детали

Измеряются расстояния между краями отверстий в двух взаимно перпендикулярных направлениях, т.е.  $m_x$ ,  $m_y$  и  $M_x$ ,  $M_y$ .

Тогда (рис. 6):

$$C_x = m_x + \frac{D+d}{2} = M_x - \frac{D+d}{2} = \frac{M_x + m_x}{2}; \quad (3)$$

$$C_y = m_y + \frac{D+d}{2} = M_y - \frac{D+d}{2} = \frac{M_y + m_y}{2}; \quad (4)$$

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}. \quad (5)$$

10

3. Измерить расстояние между осями при использовании головки двойного изображения. Вывернуть крепящий винт, расположенный справа под универсальной головкой 5, осторожно снять ее, установить взамен головку двойного изображения и снова закрепить винтом.

После установки этой головки в поле зрения будут видны два изображения одного из отверстий. Перемещением стола и каретки совместить оба изображения и по спиральным микроскопам отсчитать координаты  $x_1$  и  $y_1$  центра этого отверстия.

Перемещением стола и каретки расположить центр второго отверстия под осью микроскопа, совместив оба его изображения, и по спиральным микроскопам определить координаты  $x_2$  и  $y_2$  второго отверстия.

Межосевое расстояние определяется по формуле

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (6)$$

#### *Измерение конусности калибра*

1. Подготовить микроскоп к работе. Снять предметный стеклянный столик и установить деталь в центры, при необходимости можно перемещать и бабки 12 при отпущенном стопоре 11 и сами центры при отпущенном стопоре 10. Во избежание порчи осветительной линзы микроскопа деталь обязательно устанавливать в крайних положениях стола и каретки. Снова установить на микроскопе универсальную штриховую головку. Отфокусировать микроскоп на край установленного в центрах калибра.

2. Измерить конусность. Совместить центр перекрестья штриховой пластины с краем теневого изображения детали на расстоянии 2 - 5 мм от одного из торцов, снять показания продольного и поперечного микроскопов.

Затем определить диаметр в этом сечении, для чего переместить каретку до совмещения центра перекрестья с диаметрально противоположным краем детали и снять отсчет поперечного микроскопа.

Переместить стол микроскопа в сторону второго торца конуса на определенное расстояние  $L$  (для упрощения расчетов желательны перемещения на 50, 100 мм и т.п.), которое отсчитывается по продольному микроскопу.

Определить диаметр конуса во втором сечении и рассчитать конусность  $K$  и угол  $\alpha$ .

3. Измерить половину угла при вершине конуса  $\alpha$ . Поворотом окулярной пластинки маховичком 4 совместить горизонтальную штриховую линию с краем теневого изображения и произвести отсчет по угломерному микроскопу 6.

4. Измерить конусность с применением ножей. Установить два специальных ножедержателя в пазы 20а стола 20 и закрепить их стопорными винтами так, чтобы удобно было прижать лезвия ножей к диаметрально противоположным образующим конуса в нужном сечении. Лезвие ножа должно так прилегать к образующей конуса, чтобы между ними не было видно просвета.

Тщательно отфокусировать поворотом кольца 8 микроскоп на риску измерительного ножа, совместить соответствующую (0,3 или 0,9 мм) дополнительную штриховую линию головки с риской ножа (центральная линия должна почти совпадать с краем теневого изображения, как показано на рис.3).

Снять показания и определить конусность так, как указано в п. 2.

### Форма отчета

Работа		Измерение деталей на универсальном микроскопе	
Данные о приборе		Схема головки двойного изображения	
Наименование			
Цена деления спирального микроскопа			
Цена деления угломерного микроскопа			
Пределы измерения перемещений			
Схема расположения подшипников стола и каретки			
<b>Результаты измерения межосевых расстояний</b>			
универсальной штриховой головкой		головкой двойного действия	
Эскиз детали с указанием всех отсчетов		Эскиз детали с указанием всех отсчетов	
$C_x =$	$C_y =$	$C =$	$C_x =$
			$C_y =$
			$C =$
<b>Результаты измерения конуса</b>			
без ножей		с применением ножей	
Эскиз детали с указанием всех отсчетов		Эскиз детали с указанием всех отсчетов	
$K =$	$\alpha =$	$K =$	$\alpha =$

### РАБОТА 2 ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА ПРОЕКТОРЕ

Проекционный прибор БП служит для измерения и контроля деталей сложного контура (фасонных шаблонов, кулачков, мелкозубчатых колес, штампов и т.п.).

При контроле в серийном производстве увеличенный контур детали сопоставляют с двумя предельными контурами. Изделие признается годным, если действительный контур не выходит за предельные контуры чертежа. Измерение может выполняться двумя методами: вычерчиванием увеличенного контура измеряемой детали с последующим измерением чертежа или непосредственным измерением размеров детали путем отсчетных перемещений координатного и поворотного столиков.

В частности от контролируемого параметра и формы детали на проекторе можно работать: в проходящем свете снизу; в проходящем свете сбоку; в отраженном свете сверху.

Из оптической схемы (рис.7) видно, что метод контроля меняется в зависимости от того, как располагается осветитель 1 относительно объектива 6 и измеряемой детали, установленной на столике 4 проектора.

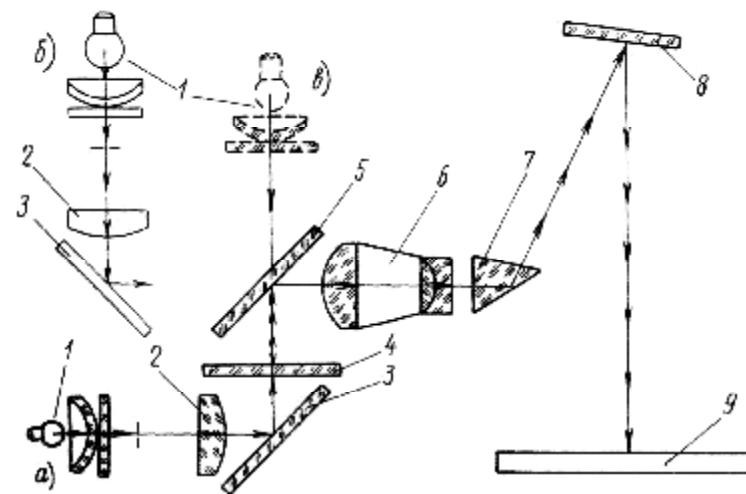


Рис. 7. Оптическая схема проекционного прибора

**В проходящем свете снизу** удобно проверять плоские детали, положив их на стекло столика. Тогда лучи от осветителя 1 проходят конденсор 2, отражаются от зеркала 3, освещая деталь снизу, отражаются от обычного зеркала 5, проходят через объектив 6 и призму 7, отражаются от верхнего зеркала 8, и дают теневое изображение на экране 9.

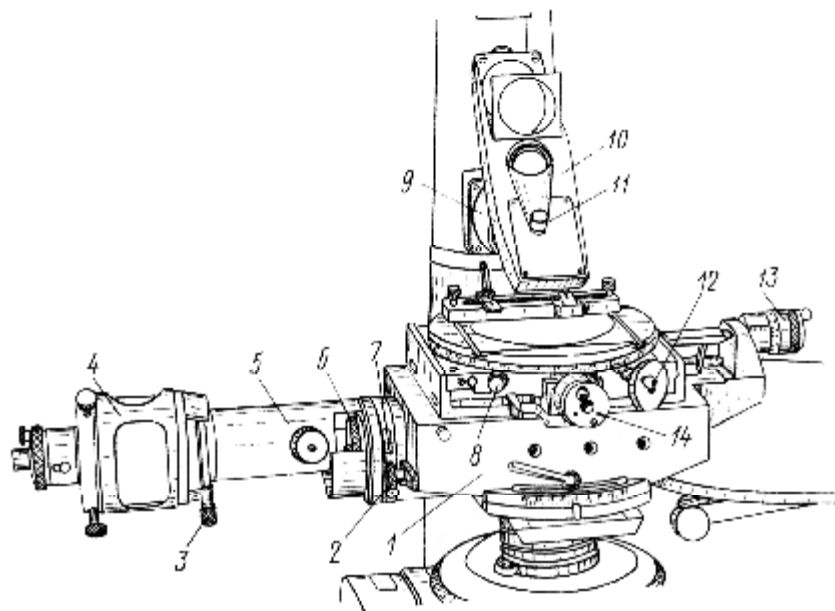


Рис. 8. Измерение деталей в проходящем свете

**В проходящем свете сбоку** обычно измеряют резьбу, так как при этом имеется возможность избежать искажения осевого сечения резьбы. В этом случае осветитель 1 вместе с конденсором 2 и зеркалом 3 располагаются сбоку, как показано на рис.7, б, а зеркало 5 отводится.

**В отраженном свете** проверяют контур части детали, который перекрывается другими выступающими ее частями. При таком контроле осветитель 1 (рис.7, в) располагается над проверяемой деталью. Пучок лучей, проходя через полупрозрачное зеркало 5, которое подводится вместо обычного, освещает торец измеряемой детали. Отраженные от детали лучи вновь отражаются от зеркала 5 и далее, как при проходящем свете снизу, дают изображение на экране 9.

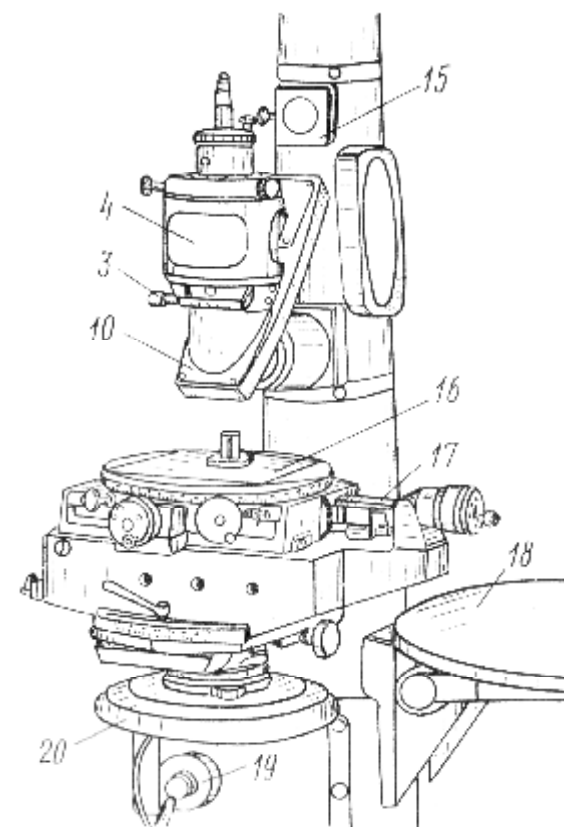


Рис. 9. Измерение деталей в отраженном свете

Проектор состоит из массивного основания с пустотелой колонной, к которой крепится кронштейн, измерительного координатного столика 1 (рис.8 и 9), объектива 9 с револьверной головкой 10, в которой расположены обычные и полупрозрачные зеркала, а также верхнего зеркала и экрана 18.

Осветитель 4 в зависимости от схемы измерения крепится либо к трубе 5 столика (рис.8), либо к револьверной головке (рис.9), либо к колонне при помощи специальной трубы, которая укрепляется в отверстие 15. Проектор БП снабжается сменными объективами с увеличением  $10^x$ ,  $20^x$  и  $50^x$  при соответствующих полях зрения 60, 30 и 12 мм. Цена деления барабанов микровинтов - 5 мкм. Величина отсчета по нониусу угловой шкалы поворотного столика -  $3'$ .

## Порядок выполнения работы

### *Работа в проходящем свете снизу*

1. Проверить, закреплен ли осветитель для работы в проходящем свете; при необходимости установить его. Для этого отвернуть винт 3 и снять осветитель с револьверной головки (рис.9), закрепить осветитель на трубе 5 и закрепить его винтом 3 (рис.8).

2. Вернуть в гнездо колонны объектив требуемого увеличения в соответствии с размером детали и полем зрения объектива. Поворотом стопора 11 против часовой стрелки открепить револьверную головку и расположить ее горизонтально. Ввинтить объектив и повернуть револьверную головку так, чтобы над деталью располагалось обыкновенное зеркало, и закрепить ее стопором.

3. Установить конденсор 6, соответствующий увеличению объектива. Для этого отпустить винт 2 и поворотом барабана добиться появления в окне 7 соответствующего числа.

4. Включить прибор в сеть, установить деталь примерно в центре освещенной части стекла столика 16 (рис.9) и поворотом штурвала 20 при опущенном стопоре 19 добиться четкого изображения детали на экране 18.

5. Дать эскиз детали, для этого обвести контур тени на листе бумаги, закрепленном на экране. Снять лист, необходимые размеры измерить штангенциркулем или линейкой и указать их на эскизе с учетом масштаба увеличения.

6. На экране нанести оси координат так, чтобы начало координат совпадало с центром вращения стола, а оси координат - с направлениями продольного и поперечного перемещений стола.

**Найти центр вращения стола на экране.** Для этого микрометрические винты стола установить на нулевые показания. Между продольным микровинтом 13 и опорной плоскостью стола должна быть установлена концевая мера 50 мм, а между поперечным микровинтом 14 и другой опорной плоскостью стола - мера 25 мм.

Вместо контролируемой детали установить примерно на середину стекла круглого стола оправу с перекрестьем и вращением штурвала добиться четкого изображения штрихов оправы на экране. Поворачивая круглый стол, отметить на бумаге изображение точки пересечения штрихов через каждые 90°. Эти четыре точки соединить так, чтобы получить две пересекающиеся линии.

Для проверки передвигать осторожно от руки оправу с

перекрестьем до тех пор, пока точка пересечения штрихов на оправе не совместится с перекрестьем, полученным на бумаге. Вращая круглый стол, убедиться, что это перекрестье является центром вращения стола. При необходимости повторить нахождение центра.

**Найти две взаимно перпендикулярные оси координат.** Оставив оправу с перекрестьем в центре вращения стола, переместить стол микровинтом в продольном направлении, отметив на экране точкой новое положение перекрестья. Повторить подобную операцию при поперечном перемещении стола.

Через начало координат и полученные отметки на экране провести оси координат.

7. Измерить необходимые размеры. При измерении линейных размеров надо с помощью микровинтов 13 и 14 перемещать деталь так, чтобы ее контуры последовательно совпадали с координатными линиями. В случае необходимости деталь поворачивать маховичком 12 при опущенном стопоре 8. Отсчет производится по барабанам микровинтов. Для увеличения пределов измерения между микровинтами и столиками можно устанавливать концевые меры 17.

При измерении угловых размеров следует, перемещая деталь от руки, совместить вершину измеряемого угла или центра детали с изображением центра вращения стола на экране. Измерить углы, снимая показания по угловой шкале стола и нониусу.

8. Результаты измерения указать на том же эскизе в скобках рядом с ранее полученными размерами.

### *Работа в отраженном свете*

1. Установить осветитель для работы в отраженном свете (рис.9). При опущенном стопоре 11 повернуть револьверную головку 10 на 180°, чтобы вместо обычного зеркала над деталью расположилось полупрозрачное зеркало. Закрепить головку поворотом стопора по часовой стрелке. Отпустить винт 3, снять осветитель с трубы 5, установить его на револьверную головку и закрепить винтом.

2. Дать эскиз детали и выполнить необходимые измерения. Порядок выполнения такой же, как и при работе в проходящем свете.

3. Ознакомиться с конструкцией микрометрических винтов и дать эскиз микрометрического устройства.

### Форма отчета

Работа		Измерение деталей на проекторе
Данные о приборе		
Наименование		Схема хода лучей
Увеличение объектива		
Цена деления барабанов		
Величина отсчета по нониусу		
Эскиз микрометрического устройства		

Эскизы деталей, полученные при работе в проходящем и отраженном свете, предоставить на отдельных листах.

### РАБОТА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ КРУГЛОСТИ

Для измерения отклонений от круглости цилиндрических и конических поверхностей деталей часто используют специальные приборы – кругломеры, работающие по методу относительного прецизионного вращения измерительного преобразователя и детали.

В зависимости от объекта, которому сообщается вращение, кругломеры делятся на два типа: КН – с вращающимся измерительным преобразователем и КД – с вращающейся измеряемой деталью.

Диаграммный диск с записанными на нем в полярных координатах сигналами от перемещения измерительного наконечника преобразователя представляет собой круглограмму, по которой определяется числовое значение отклонения от круглости. Запись круглограммы осуществляется самописцем электроискровым способом на бумажных диаграммных дисках, вращающихся синхронно с прецизионным шпинделем. Диаграммный диск имеет 12 равномерно расположенных по окружности лучей (радиусов) с делениями через 2 мм.

Для исключения записей на круглограммах шероховатости измеряемой поверхности измерительные наконечники преобразователя выполняются с большим радиусом закруглений (0,5 мм и 2,5 мм). У кругломеров предусмотрены фильтры частот, с помощью которых устанавливается число неровностей, регистрируемых за 1 оборот.

В данной лабораторной работе предусмотрено применение кругломера модели ВЕ-20А (тип КН), см. рис.10.

Прибор для измерения круглости ВЕ-20А основан на радиальном методе контроля и предназначен для проверки отклонений от правильной окружности любого перпендикулярного к оси сечения наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения с высокой точностью.

Размеры диаметров измеряемых поверхностей: наружных – 0,5÷250 мм, внутренних – 3÷260 мм. Наибольшая высота детали - до 380 мм. Предельное расстояние проверяемого сечения от торца – 200 мм. Погрешность вращения шпинделя не более 0,15 мкм. Радиусы ошупывающих игл – 0,5; 2,5 мм. Усилие щупа датчика на деталь – 0,05 – 0,20 Н. Диапазоны частотных фильтров (число регулируемых волн

на окружности): в положении В -  $2 \div 15$ ; в положении А -  $2 \div 50$ ; в отключенном положении не менее 150.

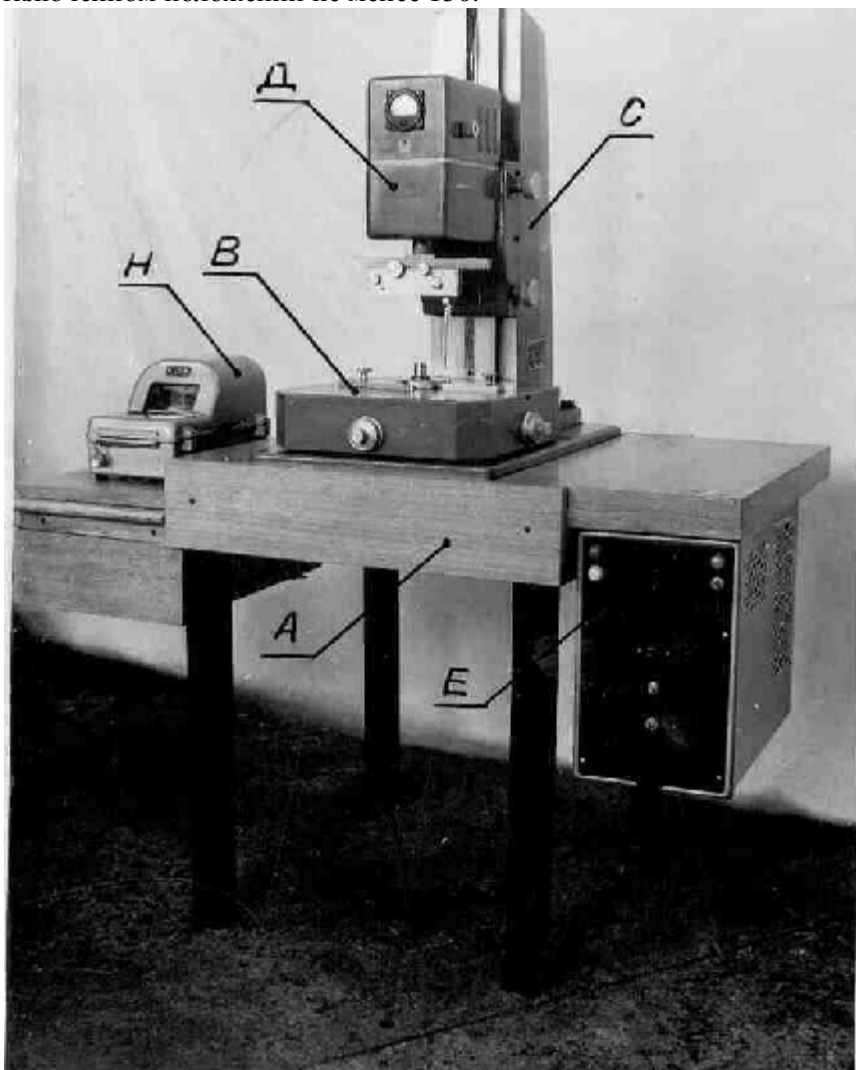


Рис.10. Кругломер модели BE-20А

А – сварной стол с деревянным накрытием и ящиком для принадлежностей, В – центрирующий столик, С – стойка, Д – измерительная головка, Е – электронный блок, Н – записывающий прибор.

## 1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ПРИБОРА

Некруглость - это колебание радиуса наружной или внутренней поверхности цилиндрической, конической и сферической детали в поперечном её сечении. Понятие некруглости охватывает все виды погрешностей этого сечения, как овальность, огранка, волнистость и др.

Контроль некруглости осуществляется специальными приборами, принцип работы которых основан на точно вращающемся шпинделе 1 (рис.11 а), на котором закреплена специальная каретка 2 с индуктивным датчиком.

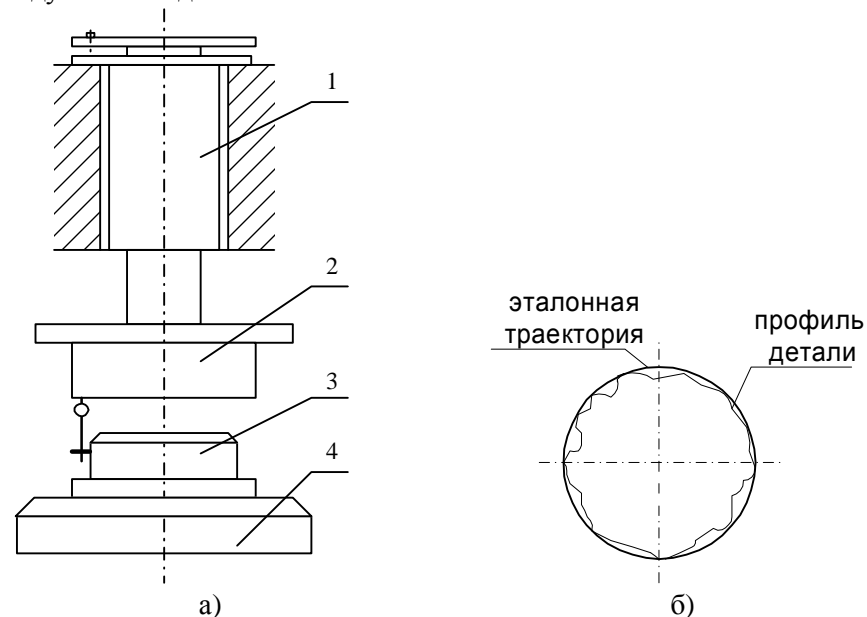


Рис.11. Принципиальная схема работы кругломера

Биение шпинделя является сравнительно малой величиной, и траектория его вращения может быть принята за правильную окружность или эталон круглости. Таким образом, при вращении шпинделя любая на нем закрепленная деталь, а также и наконечник щупа датчика, рисует правильную окружность (рис.11 б). Если ось измеряемой детали 3 и ось вращения шпинделя 1 совпадают, то при касании наконечника щупа с деталью за один оборот шпинделя будет записан фактический профиль поперечного сечения детали в

соответствующем радиальном увеличении. Совпадение оси вращения шпинделя и оси детали обеспечивается центрирующим столиком 4.

Действие электрической части прибора основано на принципе преобразования линейных перемещений измерительного наконечника датчика в изменения напряжения индуктивным методом.

При измерении наконечник щупа непрерывно касается поверхности детали в течение одного оборота шпинделя. Колебания радиуса измеряемого сечения детали фиксируются перемещениями стрелки записывающего прибора, которая синхронно со шпинделем вращающемся диске электротермической бумаги записывает круглограмму.

Запись погрешностей может быть выполнена с большим радиальным увеличением, поэтому круглограмма имеет наглядный вид.

## 2. УСТРОЙСТВО ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ПРИБОРА

Основные узлы прибора для измерения круглости ВЕ-20А представлены на рис.10.

### Центрирующий столик (рис. 10, В)

Он одновременно является и предметным столиком, на котором устанавливаются детали при измерениях.

Центрирующий столик установлен на неподвижной плите, через три шариковые опоры, на которых он может перемещаться относительно неподвижной плиты в двух перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости при помощи механизмов микроперемещения.

Для быстрого перемещения стола (0,5 мм на оборот) вращается ручка 4 (рис.13), а для медленного (около 0,05 мм на оборот) - ручка 3 (рис.13). Общая величина передвижения стола в любом направлении не менее  $\pm 2,5$  мм.

### Стойка (рис. 10, С)

Стойка служит для закрепления измерительной головки на требуемой высоте над поверхностью центрирующего столика. На стойке имеются вертикальные направляющие типа «Ласточкина хвоста», при помощи которых обеспечивается точное передвижение измерительной головки вверх и вниз. Передвижение измерительной головки осуществляется при помощи шестерни 16 (рис.13).

### Измерительная головка (рис. 10, Д)

Измерительная головка прибора состоит из следующих дополнительных узлов: привода, шпиндельного узла и узла датчика.

Узел датчика жестко закреплен на нижней части шпинделя и вращается вместе с ним. Несущей деталью узла является направляющая 18 (рис.13), по которой при помощи реечного механизма может передвигаться каретка 20 (рис.13) с закрепленным на ней индуктивным датчиком. Передвижение каретки по направляющей необходимо для установки наконечника иглы щупа 21 (рис.13) на требуемый радиус измеряемой детали.

Щуп вставляется в специальную призматическую державку с пружиной и может быть установлен на шарнире качающегося рычага под любым углом (до  $90^\circ$ ) относительно оси проверяемой детали, что необходимо при измерении некруглости конусных и сферических деталей в разных сечениях.

### Электронный блок (рис. 10, Е)

Электронный блок представлен на рис.12.

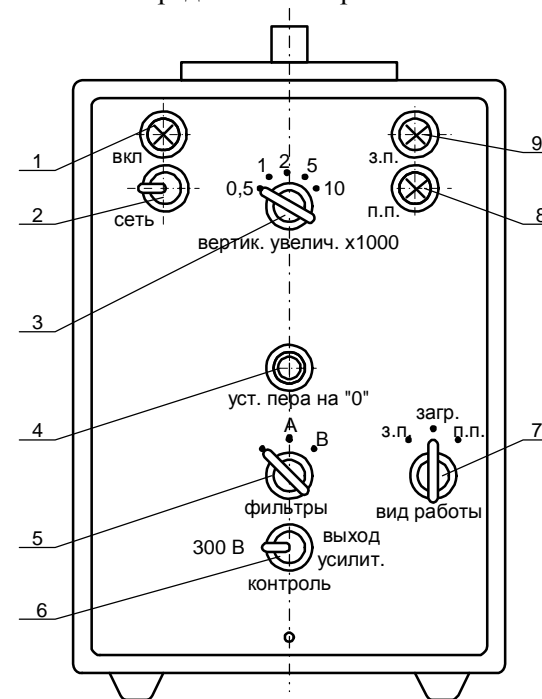


Рис.12. Электронный блок

На передней панели блока расположены тумблер включения сети 2; три сигнальные лампочки: 1 - для контроля включения прибора в сеть, 8 - для контроля включения гнезд показывающего прибора и 9 - для контроля включения записывающего прибора; три переключателя: 7 - для установки вида работ, 3 - для установки вертикального увеличения и 5 - для включения соответствующих фильтров; тумблер 6 включения контрольного прибора для контроля напряжения «300 В» и «выхода усилителя».

### Записывающий прибор (рис. 10, Н)

Записывающий прибор представляет собой самопишущий магнитоэлектрический миллиамперметр постоянного тока и служит для записи колебаний радиуса измеряемого объекта.

Запись производится на электротермической бумаге. Записывающий прибор является универсальным и может применяться для записи результатов на диаграммном диске в полярной системе координат с шириной поля записи 30 мм или на диаграммной ленте в прямоугольной системе координат с шириной поля записи 70 мм.

Диаграммный диск вставляется с левой стороны записывающего прибора, где в крышке имеется специальный паз. Сверху диаграммный диск прижимается хомутиком. Поднятие и опускание прижимного хомутика осуществляется поворотом рукоятки 26 (рис.13) по часовой стрелке и обратно на 90°. Рукоятка 26 жестко соединена с продольной осью, на другом конце которой находится эксцентрик и через толкатель поднимает или опускает магнитную систему на необходимую величину для вставления бумажного диска.

Вращение бумажного диска осуществляется от синхронного электродвигателя. Включение и выключение электродвигателя производится тумблером 25 (рис.13). На перо записывающего прибора подается напряжение 300-350 вольт через блокирующую кнопку, которая замыкается только при закрывании крышки записывающего прибора и запирается её эксцентриковым замком 28 (рис.13). Кроме того, при использовании записывающего прибора для записи в полярных координатах, включение напряжения на перо и отклоняющей системы магнитоэлектрического миллиамперметра при закрытой крышке должно быть выполнено нажатием рукоятки 27 (рис.13) в осевом направлении.

Выключение записи и отклоняющей системы производится автоматически после одного оборота шпинделя.

В крышке имеется застекленное окошко, через которое можно наблюдать запись в ходе измерения или настройки.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для обеспечения большой стабильности при высокоточных измерениях перед началом работы электронную аппаратуру прибора вместе с датчиком необходимо прогреть в течение 20-25 минут. Прогрев шпинделя при холостых оборотах выполняется в течение 3-7 минут включением тумблера 25 (рис.13).

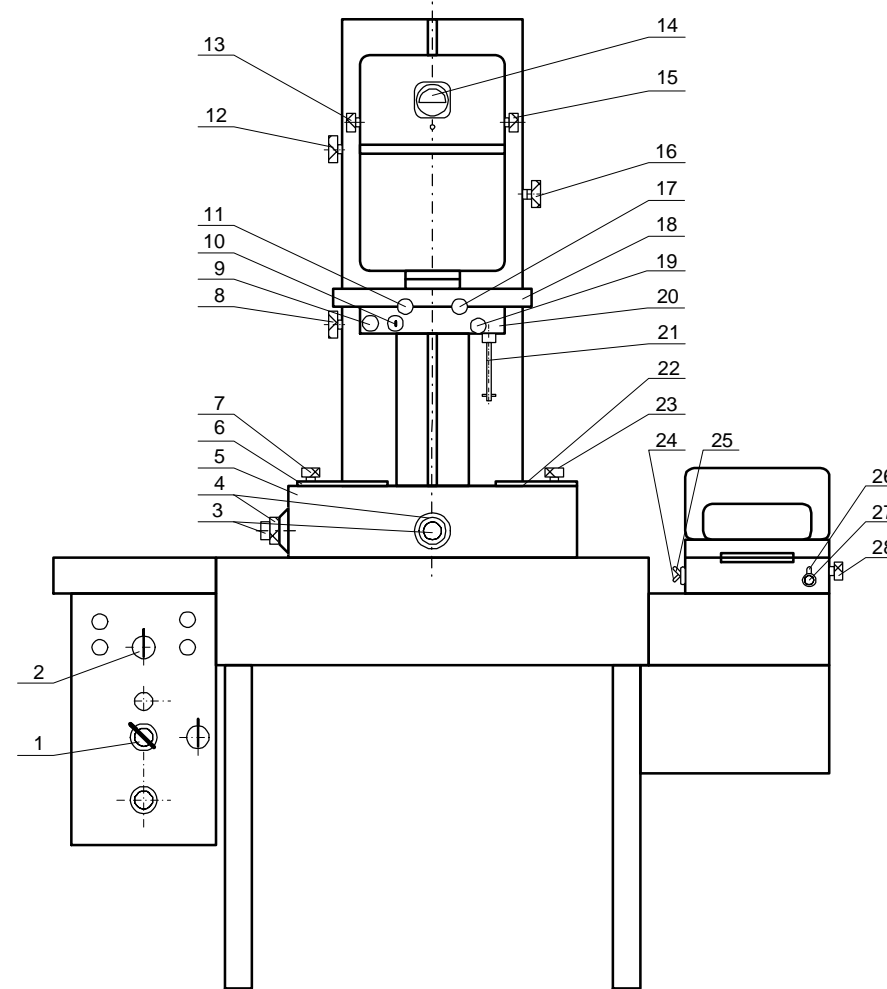


Рис.13. Общий вид кругломера

После прогрева прибора в дальнейшем работа выполняется в следующей последовательности (позиции на рис.13):

1. Включить вилку питания прибора в электрическую сеть.
2. Переключатель фильтров 1 поставить в левое нейтральное положение, а переключатель увеличений 2 в положение «0,5», а ручку установки пера на «0» - примерно в середине положения 4 (рис.12).
3. Механизмы микроперемещения центрирующего столика при помощи рукояток 3 и 4 установить в среднее положение, которое обозначено круговой рисккой на сепараторе механизма.
4. При помощи ручки 11 отвести каретку с датчиком от оси вращения шпинделя.
5. На центрирующем столике 5 установить деталь, ориентировочно в центре.
6. Выбрать щуп 21 соответствующей длины и установить в державку датчика, осторожно придерживая рукой **u**-образную опору.  
При установке щупа относительно проверяемой детали нужно особенно следить за тем, чтобы точка контакта щупа с деталью находилась на радиусной части иглы. Также необходимо обратить особое внимание, чтобы игла щупа была направлена в центр детали, ибо смещение искажает действительную величину увеличения. Особенно это заметно при измерении деталей малых диаметров. Как правило, смещение после неосторожного вставления щупа заметно на глаз. Подправляется осторожным поворачиванием нижней части щупа в призматической державке.
7. Переключателем 19 установить необходимое направление и величину усилия щупа. В положение «0» - для измерения отверстий, в положение «В» - для измерения валов (наружных поверхностей). При использовании длинных щупов переключатель ставится на крайние риски, а при использования коротких – на средние.
8. Освободить рукоятки 8, 12 направляющих измерительной головки и поднять или опустить ее при помощи рукоятки 16 в положение, необходимое для измерения выбранного сечения детали.
9. Указатель 10 положения датчика при помощи ручки 9 червячного механизма вывести в среднюю часть круглого окошка.
10. Подвести наконечник щупа датчика при помощи передвижения каретки по направляющим ручкой 11 на некоторое расстояние (2-5мм) от поверхности детали и, вращая рукояткой 15 шпиндель, произвести грубую центровку детали. Для этого необходимо передвигать центрирующий стол в нужном направлении

по двум координатам при помощи ручек механизмов микроперемещения. Точность центровки оценивается грубо на глаз одинаковостью расстояний между деталью и наконечником иглы щупа, который останавливается против механизма микроперемещения и с противоположной стороны через 180°.

11. Не трогая деталь на столе, освободить прижимной болт 23 призмы 22, передвинуть ее по пазу центрирующего столика до соприкосновения с деталью и опять закрепить.

12. Освободить винт 7 опорного пружинного механизма 6, передвинуть его до плавного прижима детали к призме и закрепить.

13. После выравнивания зазоров плавно подводят каретку с датчиком к детали до тех пор, пока наконечник иглы щупа не коснется проверяемой поверхности, и стрелка индикатора центрирования 14 не выйдет на середину шкалы. Вращая шпиндель, замечают размах колебаний и, при помощи механизмов микроперемещения передвигая стол с деталью по двум направлениям, сводят их до минимума. Если погрешность детали не более нескольких микрон, стрелка практически не должна колебаться

После этого переключателем 2 устанавливается предполагаемое увеличение (см. приложение табл.1), каретка зажимается винтом при помощи ручки 17, ручкой 9 микрометрического механизма подводится датчик, и точность центрирования дополнительно корректируется описанным выше способом. Если колебания стрелки при ручном или механическом вращении шпинделя уложится в пределы малого прямоугольника, центрирование можно считать законченным. Окончательное центрирование рекомендуется выполнять при механическом вращении шпинделя в течение 1-3 его оборота. Рукоятка 13 в таком случае должна находиться во включенном положении (для включения она поворачивается против часовой стрелки).

В тех случаях, когда при выбранном увеличении не удастся добиться такого положения, в котором размах колебаний стрелки уложился бы в пределы верхнего малого прямоугольника, необходимо уменьшить увеличение, так как иначе из-за большой погрешности геометрической формы детали круглограмма ее при данном увеличении не вложится в поле записи диаграммного диска бумаги. Если колебания стрелки достаточно малы, и занимают небольшую часть верхнего малого прямоугольника ручку 2 можно переключить на

более высокое увеличение и дополнительно покорректировать центрирование.

14. Повернуть ручку 26 по часовой стрелке до отказа, через специальную вырезку в крышке с левой стороны записывающего прибора установить диаграммный диск бумаги и обратно приподнять ручку 26 в бывшее положение.

15. Переключатель 7 (рис.12) поставить в положение «З.П.» (записывающий прибор). При выполнении записей только на диаграммных дисках в полярной системе координат переключатель в этом положении может остаться постоянно.

16. Поворотом рукоятки 13 включить механическое вращение шпинделя и, убедившись, что в течение 1-2 его оборотов стрелка индикатора центрирования не выходит из пределов верхнего малого прямоугольника, плавно нажать на ручку 27 в осевом направлении и отпустить для выполнения записи результатов. За один оборот шпинделя и диаграммного диска бумаги отклоняющаяся система и запись выключается, что можно заметить по щелчку рычага микровыключателей и переходу пера в среднее нулевое положение.

**Во время записи рукой к бумаге не дотрагиваться !**

17. Выключить вращение шпинделя.

18. Снять диаграммный диск с записанной круглограммой. Вписать в соответствующие графы наименование проверенной детали, увеличение и фильтр (см. приложение), если он был включен.

19. С помощью специального трафарета (шаблона) определить отклонение от круглости  $\Delta_0$ , которое в соответствии со стандартом определяется наибольшим расстоянием от точек реального профиля до прилегающей окружности I (рис.14) и записать результат в соответствующей графе диаграммного диска.

Прилегающая окружность обычно воспроизводится прозрачным шаблоном с концентрическими окружностями, расстояние между которыми 2 мм: это своеобразная шкала, цена деления которой определяется установленным увеличением прибора. Например, при увеличении  $2000\times$  цена деления шаблона будет равна 1 мкм.

Прозрачный шаблон следует наложить на диаграммный диск и подобрать окружность самого малого (для наружных поверхностей) диаметра, которая касалась бы круглограммы в самых выступающих ее точках А, В и С. Это и будет прилегающая окружность.

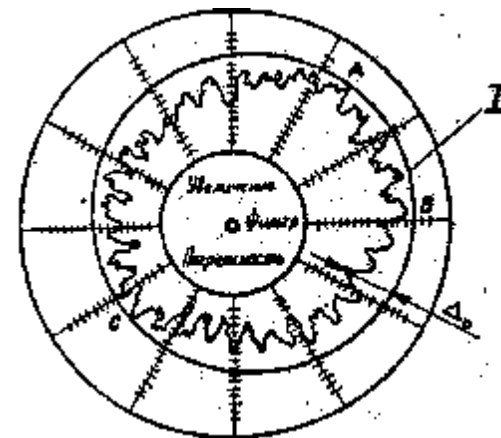


Рис.14. Круглограмма

20. Дать заключение о годности детали по заданной преподавателем степени точности ее изготовления 1-16 для цилиндрических деталей (см. приложение, табл. 2).

Круглограммы прилагаются к отчету.

**Форма отчета**

Лабораторная работа	Определение отклонений от круглости		
	Данные о приборе		Данные о детали
Наименование		Контролируемый диаметр	
Пределы измерения		Степень точности	
Увеличение		Допуск круглости	
Фильтр			
Круглограмма			
Заключение о годности			

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### УВЕЛИЧЕНИЕ ПРИБОРА

В зависимости от степени усиления сигнала датчика в электронном блоке переключателем 2 могут быть установлены разные увеличения включительно до 10000 крат. Одно деление на круглом диаграммном диске или на бумажной ленте принято 2 мм. Таким образом, фактическая цена деления может быть подсчитана делением 2 мм на соответствующее увеличение. Например, при увеличении

5000 цена деления будет равна:  $\frac{2}{5000} = 0,0004$  мм.

Увеличение и цена деления также зависит и от длины щупа. В комплект прибора поставляется три размера щупа, которые обозначаются соответствующим коэффициентом (табл.1).

Таблица 1

#### Увеличение и цена деления кругломера в зависимости от длины щупа

Длина щупа мм (базовая)	Коэффициент	Фактическое увеличение и цены деления	Положение ручки переключателя					
			0,25	0,5	1	2	5	10
21	1	Крат	25	500	1000	2000	5000	10000
		мк	8	4	2	1	0,4	0,2
81	2	Крат	125	250	500	1000	2500	5000
		мк	16	8	4	2	0,8	0,4
201	4	Крат	62,5	129	250	500	1250	2500
		мк	32	16	8	4	106	0,8

Наименьшей базовой длине щупа (21 мм) соответствует коэффициент 1, средней длине (81 мм) – 2 и наибольшей (201 мм) – коэффициент 4. Это означает, что увеличение установленное переключателем на передней панели электронного блока при использовании щупом средней и наибольшей длины будет уменьшено в 2 или 4 раза. Фактическое увеличение может быть подсчитано

делением увеличений, показываемых переключателем электронного блока, на коэффициенты используемых щупов 1, 2 или 4. Фактические увеличения и цены деления представлены в следующей таблице:

Соответствующая таблица разгравирована на трафарете, который используется при оценке результатов измерения по круглограммам.

### ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ

Во время измерения некруглости деталей, которые на своей поверхности имеют многочисленные следы мелких неровностей, круглограмма получается слишком сложная для ее оценки. Это вызывается условием одинакового радиального увеличения для всех видов неровностей при нормальной работе прибора. При большом увеличении круглограмма записи выходит из пределов бумажного диска, а при малом увеличении не выявляется профиль сечения детали.

Исключение этих неприятностей возможно применением волновых фильтров, введенных в общую схему электронного блока. Включаются фильтры ручкой 5 (рис.12), которая имеет три положения: необозначенное крайнее положение (фильтры отключены), положение А (2-50 неровностей на окружности) и положение В (2-15 неровностей на окружности). При включении этих фильтров мелкие неровности, относящиеся к шероховатости поверхности детали, выравниваются, и круглограмма приобретает удобную для оценки некруглости форму.

При включенных фильтрах движение стрелки индикатора центрирования или пера записывающего прибора происходит с некоторым запаздыванием, что очень усложняет операцию центрирования.

Поэтому необходимо сначала сцентрировать деталь при необходимом увеличении и только непосредственно перед записью включить соответствующий фильтр.

Таблица 2

## Допуски круглости (ГОСТ 24643-81), мкм

Интервалы номинальных диаметров, мм	Степень точности									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Св.10 до 18	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
Св.18 до 30	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
Св.30 до 50	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
Св.50 до 120	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
Св.120 до 250	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500

## Литература:

1. Прибор для измерения круглости мод.ВЕ – 20А. Руководство к прибору. Вильнюс, 1967г. – 54с.

## РАБОТА 4 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. 15.

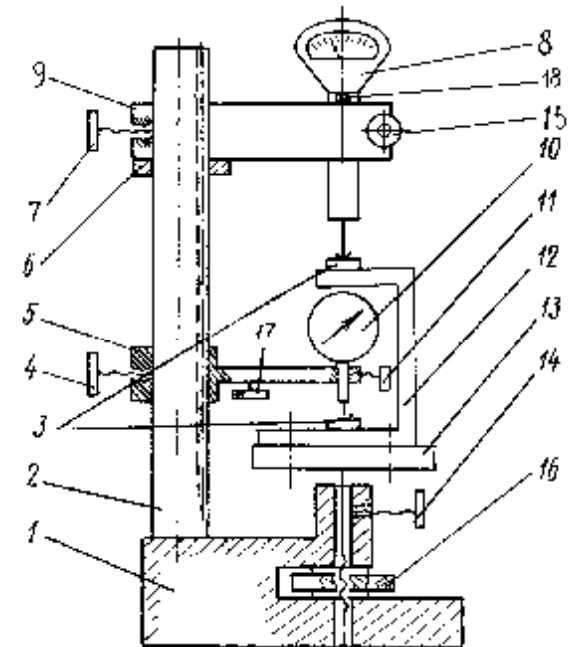


Рис. 15. Схема установки

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 предлагается использовать 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 проверки приборов с различной ценой деления. Микрокатор работает на основе использования упругих свойств плоской скрученной ленты. Толщина бронзовой ленты 0,004 – 0,006 мм, ширина 0,15 – 0,30 мм. Плоская лента 6 (рис. 16), скрученная от середины в разных направлениях (правый и левый винт), прикреплена с одной стороны к неподвижному кронштейну 7, а с другой – к угольнику 4, который может покачиваться вокруг точки А на двух плоских пружинах 2 и 3. В средней части ленты приклеена тонкая стеклянная стрелка 5. Измерительный стержень 8 подвешен в корпусе прибора на двух плоских пружинах 2, 9 и совершает поступательное движение. При перемещении измерительного стержня происходит поворот угольника и растяжение ленты. При растяжении лента раскручивается, что вызывает поворот стрелки вокруг оси ленты. Измерительное усилие создается пружиной 1.

В данной работе используются микрокаторы 0ИГП и 1ИГП, т.е. с ценой деления 0,1 и 1 мкм соответственно и пределами измерения  $\pm 4$  мкм и  $\pm 30$  мкм (допускаемые погрешности 0,1 мкм и 0,4 мкм).

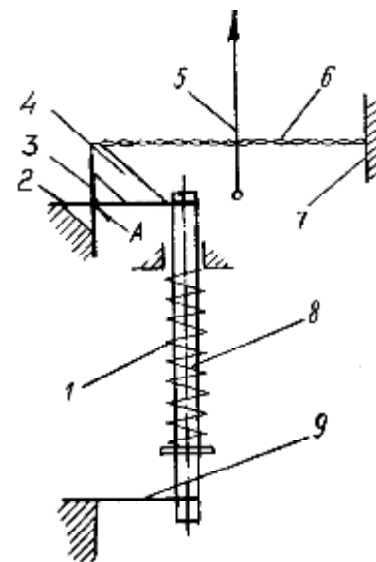


Рис. 16. Конструктивная схема микрокатора

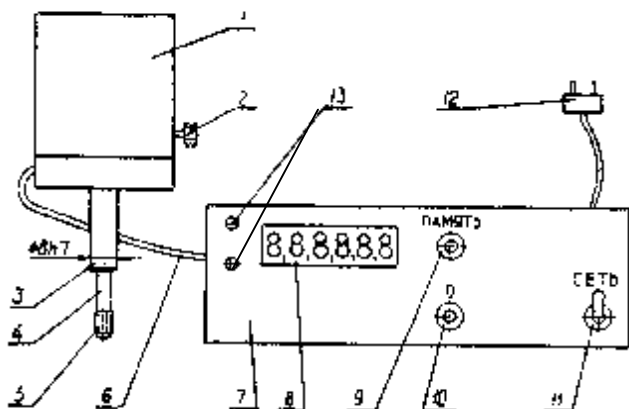
**Система цифровая растровая** для линейных измерений предназначена для измерения размеров и перемещений в цеховых условиях. Диапазон измерения 0 – 10 мм, шаг дискретности 1 мкм, допускаемая погрешность  $\pm 2$  мкм.

Система состоит из двух узлов: растрового фотоэлектрического преобразователя и электронного блока (рис. 17).

Преобразователь 1 выполнен в виде измерительной головки с закрытым корпусом, имеющей арретирующее устройство 2 и кабель, соединяющий ее с электронным блоком 7.

Электронный блок выполнен в корпусе блочного типа, имеющего на передней панели: цифровую отсчетную шкалу 8; кнопку установки "0" 10; кнопку запоминания результата отсчета («память») 9; тумблер включения («сеть») 11, два индикаторных светодиода 13.

На задней панели электронного блока располагаются: ввод питания 14, кабель питания 12, предохранитель 15, разъем преобразователя («вход») 18, разъем вывода информации на ЭВМ в двоичном параллельном коде («выход») 16, клемма заземления 17.



Вид на электронный блок (раз 7); с задней стороны

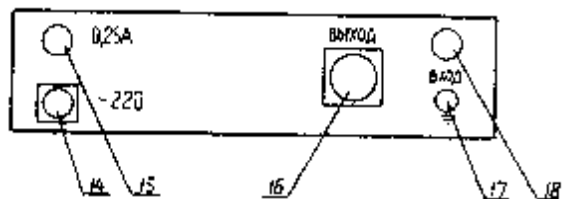


Рис. 17. Система цифровая растровая

Принцип действия преобразователя основан на модуляции светового потока растровым звеном (рис. 18).

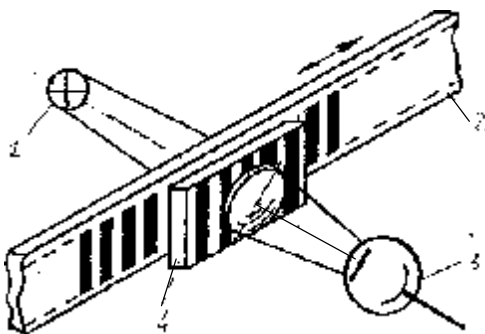


Рис. 18. Растровый фотоэлектрический преобразователь

Преобразователь с помощью растровых линеек (2, 4), светодиодов (1), и фототранзисторов (3) преобразует механическое перемещение измерительного наконечника в дискретный электрический сигнал, поступающий в электронный блок и отражающий текущее значение измеряемого параметра на цифровом табло.

В качестве поверяемых приборов предлагаются: портативный прибор приемочного контроля ПППК-А35, индикатор контакта мод. БВ-4271, рычажно-зубчатая головка ИИГ (1МИГ) и индикатор часового типа ИЧ-10.

**Портативный прибор приемочного контроля ПППК-А35** предназначен для контроля размеров изделий в условиях машиностроительных предприятий, разбраковки и сортировки контролируемых изделий. Прибор состоит из 2-х основных узлов: электронного функционального блока (рис. 19) и скобы или пробки измерительных, первичным измерительным преобразователем которых является индуктивный датчик.

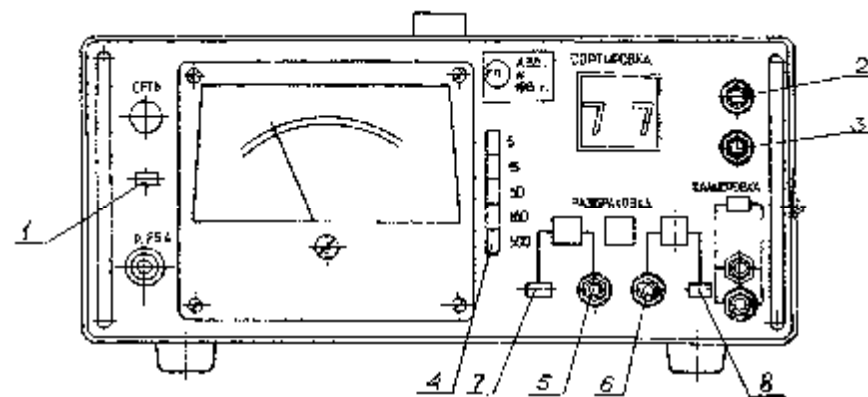


Рис. 19. Портативный прибор приемочного контроля ПППК-А35

Электронный блок прибора состоит из следующих функциональных узлов:

- стабилизатора напряжения питания;
- генератора напряжения питания преобразователя;
- измерительного канала, содержащего усилитель переменного тока, синхронный детектор, фильтр нижних частот и усилитель постоянного тока;

- блока разбраковки, содержащей два компаратора, индикаторы брака и задатчика уровня разбраковки;
- блока сортировки.

Сигнал преобразователя перемещений поступает на усилитель переменного тока и синхронный детектор, опорное напряжение для которого формируется из сигнала генератора. Наличие фильтра нижних частот и усилителя постоянного тока позволяет получить постоянное напряжение, пропорциональное измеряемому перемещению. Это напряжение подается на линейный вход, индикатор, блок разбраковки и блок сортировки. При нажатии кнопок 7 и 8 на индикатор выводится напряжение, соответствующее уровням разбраковки, что облегчает наладку прибора.

На входе блока сортировки имеется усилитель постоянного тока с регулируемым коэффициентом передачи, что позволяет изменять число групп, приходящихся на поле допуска. Это число может изменяться от 2 до 99. Далее установлен преобразователь напряжения – код, осуществляющих сортировку изделий. При нажатии кнопки "Калибровка" на индикатор сортировки выводится число групп, соответствующее всему интервалу годности изделий.

Принцип действия первичного индуктивного преобразователя перемещений (рис. 20) основан на функциональной зависимости сопротивления катушки индуктивности от перемещения отдельных деталей магнитопровода. Основными деталями преобразователя являются: корпус 1, индуктивные катушки 2, измерительный стержень 4, якорь 3.

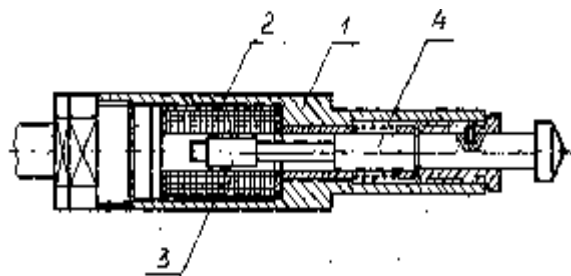


Рис. 20. Индуктивный преобразователь

Корпус преобразователя, помимо своего основного назначения, служит защитным экраном для индуктивных катушек от внешних электрических и магнитных полей. Измерительный стержень

подвешивается к корпусу на пружинах мембранного типа. Присоединительный диаметр преобразователя – 8 мм, линейный участок характеристики – 0,5 мм, максимальное измерительное усилие – 40 сН, максимальная чувствительность 0,35 мВ/мкм.

Предел допускаемой основной погрешности прибора (определяется с каждым преобразователем измерительных устройств отдельно) по шкале с ценой деления 0,2 мкм:  $\pm (0,05x + 0,1x_k)$ , на остальных шкалах прибора:  $\pm (0,02x + 0,02x_k)$ , где  $x$  – текущие показания по шкале, мкм;  $x_k$  – диапазон показаний по шкале, мкм.

**Индикатор контакта мод. БВ-4271** используется на токарных станках с ЧПУ, в том числе в условиях автоматизированного производства и предназначен для выдачи информации в систему ЧПУ о контакте наконечника его щуповой головки с поверхностью детали или инструмента, используемого в станках с ЧПУ, для определения размеров деталей, положения или состояния инструмента. Направление ощупывания для щуповых головок индикаторов контакта  $\pm X$ ;  $\pm Y$ ;  $\pm Z$ . Основные составные части изделия указаны на рис. 21.

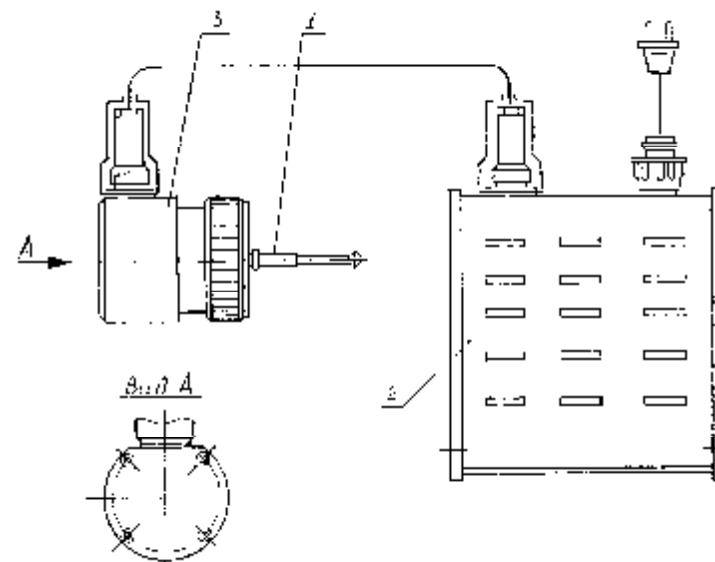


Рис. 21. Индикатор контакта мод. БВ-4271:  
1 – наконечник; 2 – блок электронный; 3 – головка щуповая.

Головка щуповая (рис. 22) имеет герметичный корпус 8, к которому с помощью накидной гайки 7 крепится механизм головки.

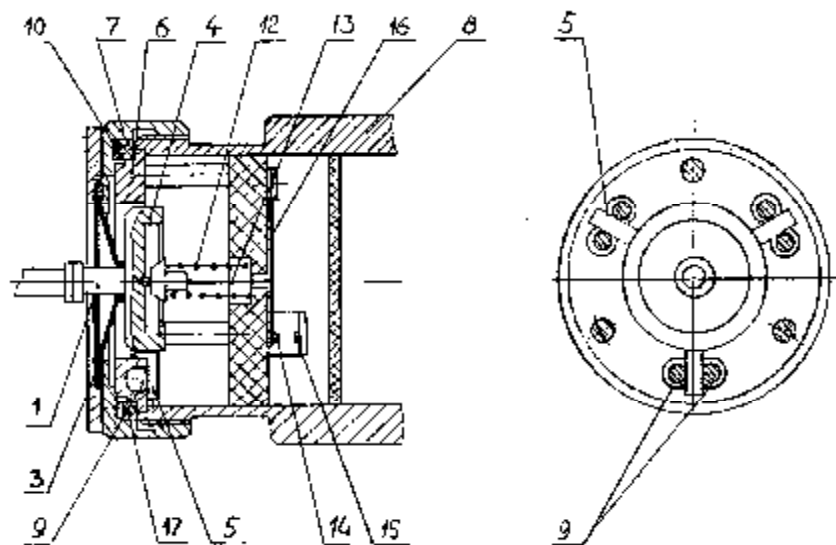


Рис. 22. Головка щуповая

На базовом фланце 6 механизма через  $120^\circ$  закреплены три пары шариков 9, образующих базовые призмы. В этих призмах базируется грибовый рычаг 4, на одном конце которого закреплены три разнесенных через  $120^\circ$  электрически изолированные друг от друга цилиндрических штифта 5, а на другом – щуповой наконечник 1. Пружина 12 создает силовое замыкание.

Все шарики электрически изолированы от корпуса и соединены последовательно друг с другом при нейтральном положении грибка через штифты грибка. При приложении любого усилия в плоскости, перпендикулярной оси наконечника, или вдоль оси в направлении отрыва штифтов последовательная электрическая цепь разрывается хотя бы в одной из шести точек контакта, что и служит первичным электрическим сигналом. С центром грибка связана нить 13, второй конец которой закреплен на плоской пружине 16. Эта пружина предварительно заневолена и на свободном конце ее закреплен электрический контакт 14. При перемещении центра грибка выше рабочей нормы происходит замыкание подвижного контакта плоской

пружины с установленным на фланце неподвижным контактом 15 и выдается второй электрический сигнал, соответствующий аварийной ситуации и используемый для остановки столика.

**Блок электронный** (рис. 21, поз. 2) состоит из сборного корпуса, выполненного в настольном исполнении.

На переднюю панель блока (рис. 23) вынесены органы управления индикатором контакта: тумблер включения внутреннего источника питания "∞" и его индикация; держатель предохранителя головок и три светодиода – индикация выбранной головки. Выбор головок кнопками возможен при включении тумблера режима работы в ручной режим "I".

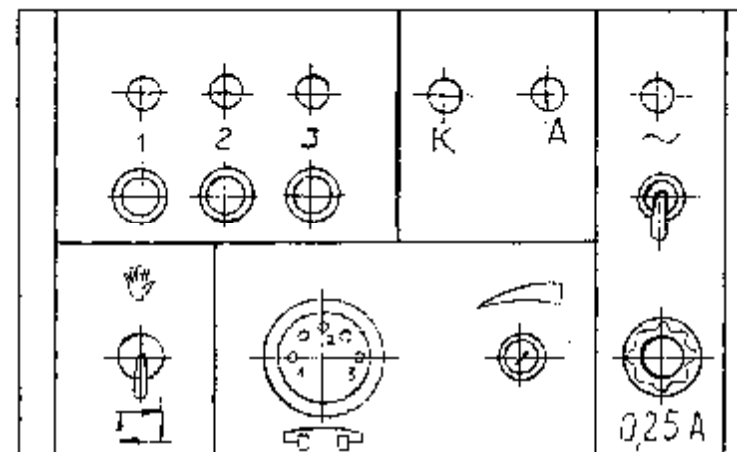


Рис. 23. Блок электронный

Светодиоды "К" и "А" сигнализируют о положении наконечника щуповой головки. Светодиод "К" сигнализирует о контакте наконечника с деталью или инструментом. Светодиод "А" сигнализирует о превышении предельно-допустимого отклонения наконечника или о том, что выбрана неприсоединенная головка, т.е. об аварийной ситуации.

**Измерительные головки типа ИГ** 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.

Основные данные головок следующие:

Предел основной допускаемой погрешности, (мкм)	1ИГ	2ИГ
на границе шкалы $0 \pm 30$ делений	$\pm 0,40$	$\pm 0,80$
свыше $\pm 30$ делений	$\pm 0,70$	$\pm 1,20$
размах показаний деления шкалы	0,20	0,40

Основные части головки (рис. 24): 1 – указатели поля допуска; 2 – присоединительная гильза; 3 – измерительный стержень; 4 – наконечник; 5 – арретир; 6 – шкала со стрелкой; 7 – корпус.

Механизм головки состоит из трех рычагов  $l_1, l_2, l_3$  и двух зубчатых колес  $z_1$  и  $z_2$  с модулем  $m = 0,15$  мм. Механизм головки состоит из трех рычагов  $l_1, l_2, l_3$  и двух зубчатых колес  $z_1$  и  $z_2$  с модулем  $m = 0,15$  мм. Плечо  $l_3$  во время работы меняет свою длину в пределах допускаемой погрешности. При регулировке механизма вначале регулируют плечо  $l_1$  так, чтобы погрешности в крайних положениях стрелки были симметричны относительно нуля. Затем регулируют плечо  $l_2$  до получения погрешностей, не выходящих за пределы допускаемых.

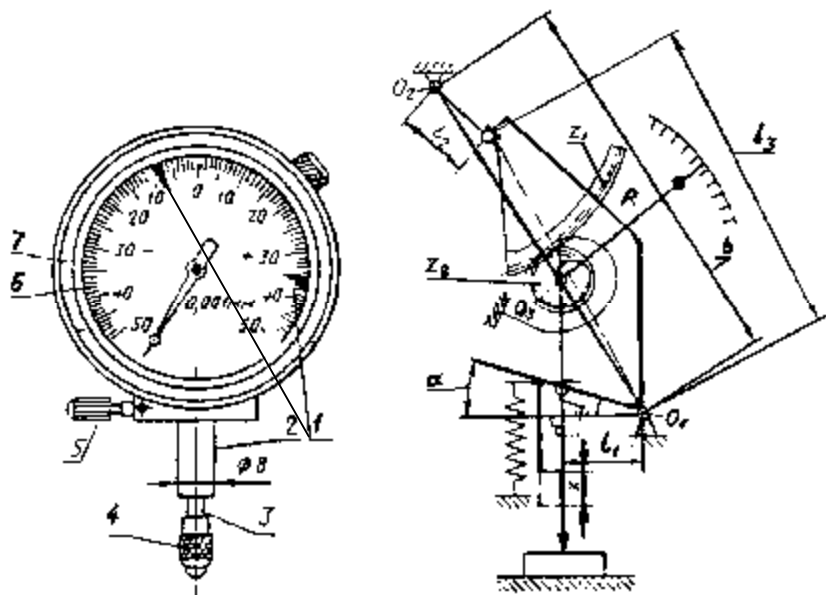


Рис. 24. Измерительная головка ИГ

**Индикаторы типа МИГ** относятся к группе многооборотных измерительных головок. Кинематическая цепь состоит из двух рычажных и двух зубчатых пар (рис. 25). Кинематическое замыкание механизма осуществляет пружина-волосок через зубчатое колесо  $z_5$ .

Установку прибора на нуль в пределах 20 делений шкалы осуществляют путем поворота всего механизма вокруг оси с помощью винта 2. Измерительный стержень можно перемещать с помощью рычага 1. Присоединительный диаметр индикатора – 8 мм. Измерительное усилие не более 20 сН.

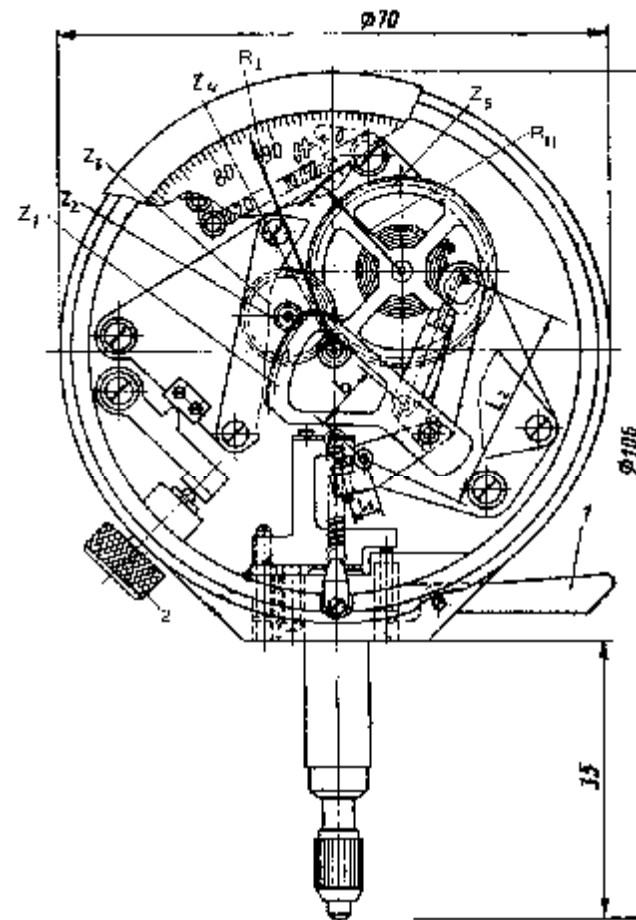


Рис. 25. Многооборотная измерительная головка

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

Для обоих типов головок сохраняются одинаковыми все детали головки:  $z_1=228$ ;  $z_2=20$ ;  $z_3=80$ ;  $z_4=16$ ;  $z_5=130$ ;  $b=8,6\text{мм}$ ;  $m=0,15\text{мм}$ ;  $R_1=30\text{мм}$ ;  $R_{II}=10\text{мм}$ . Изменение цены деления достигается регулированием плеч  $l_1$  и  $l_2$  рычагов. Предел регулирования каждого плеча около 0,05мм. Для типа 1МИГ  $l_1=4,3\text{мм}$ ;  $l_2=20,895\text{мм}$ ; для типа 2МИГ  $l_1=2,7\text{мм}$ ;  $l_2=25,5\text{мм}$ .

**Индикаторы часового типа** с ценой деления 0,01мм принадлежат к числу зубчатых приборов, широко применяемых при линейных измерениях. Прибор (рис. 26) состоит из следующих деталей: корпуса, стопора 1; циферблата 2; ободка 3; стрелки 4; указателя числа оборотов 5; гильзы 6; мерительного стержня 7; наконечника 8.

Схема индикатора с зубчатой рейкой изображена на рис. 21. Зубчатая рейка с шагом  $t$  находится в зацеплении с колесом  $z_1$ , закрепленным на одной оси с колесом  $z_2$ , которое в свою очередь находится в зацеплении с колесом  $z_3$ , на оси которого насажена стрелка  $R_1$ , служащая для отсчета по шкале с ценой деления 0,01мм. Зубчатое колесо  $z_4$ , с помощью спирального волоска обеспечивает работу всех зубчатых соединений по одной стороне профиля зубьев, устраняя этим мертвый ход. На оси зубчатого колеса  $z_4$  закреплена стрелка  $R_{II}$  для отсчета, по малой шкале с ценой деления 1 мм, числа оборотов стрелки  $R_1$ .

Измерительное усилие обеспечивается пружиной, прижимающей измерительный стержень к изделию.

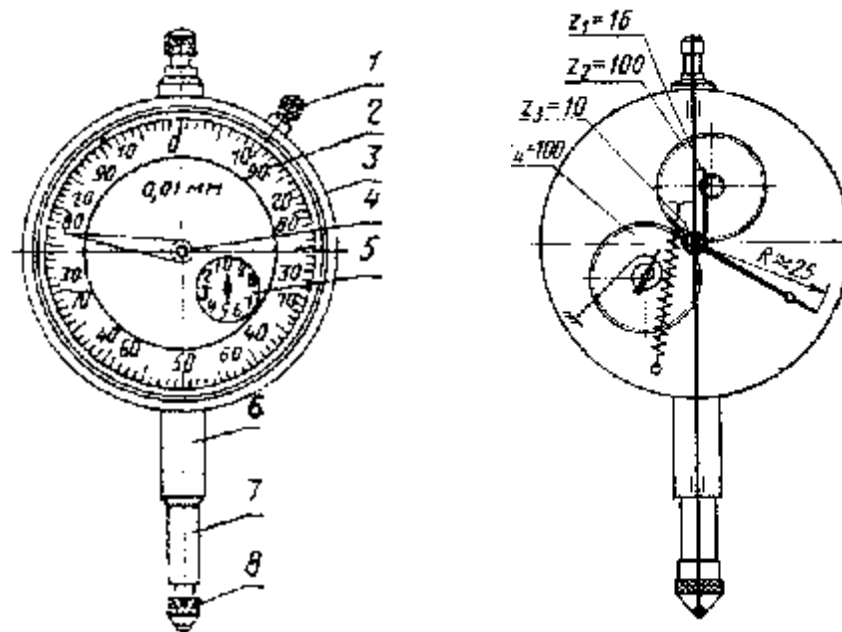


Рис. 26. Индикатор часового типа

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. 3.

Таблица 3

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  $\Delta_c$ ; среднее квадратическое отклонение случайной составляющей  $\sigma$ , определяющее наибольший размах  $6\sigma$ ; 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.15) 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  $\Delta_{mi}$  и находят среднее значение

$$\bar{\Delta}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{mi} . \quad (7)$$

Затем  $n$  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  $n$  показаний образцового прибора  $\Delta_{\sigma i}$  и находят среднее значение

$$\bar{\Delta}_\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{\sigma i} . \quad (8)$$

Систематическая составляющая погрешности поверяемого прибора определяется полусуммой найденных средних значений;

$$\Delta_c = \frac{1}{2} (\bar{\Delta}_m + \bar{\Delta}_\sigma) . \quad (9)$$

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_{mi} - \bar{\Delta}_m)^2 + \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_{\sigma i} - \bar{\Delta}_\sigma)^2} = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_\sigma^2} . \quad (10)$$

Смещение показания (сигнала) определяется абсолютной величиной разности

$$C = |\bar{\Delta}_m - \bar{\Delta}_\sigma| . \quad (11)$$

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

$$\Delta = \Delta_c \pm \left( \frac{C}{2} + 3\sigma \right) . \quad (12)$$

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  $\chi^2$ , либо ориентировочно визуально простым сравнением совмещенных графиков эмпирического и теоретического распределений.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Опустить столик 13 (рис. 15) вращением против часовой стрелки гайки 16 при опущенном стопоре 14.
2. Установить в кронштейн 9 и закрепить винтом 15 один из образцовых измерительных приборов, например, микрокатор 01ИГП.
3. Отпустить винт 7 и, поворачивая и перемещая кронштейн 9 с помощью гайки 6, установить его так, чтобы измерительный стержень микрокатора располагался над серединой верхней пятки 3 скобы 12 на расстоянии примерно 0,5 мм от мерительной поверхности; закрепить кронштейн винтом 7 в этом положении.

4. Вращением гайки 16 по часовой стрелки поднять столик 13 до соприкосновения измерительного наконечника микрокатора с верхней пяткой скобы 12 и установить по шкале нулевое показание (уровень настройки).

5. Установить в кронштейн 5 и закрепить винтом 11 первичный индуктивный преобразователь прибора ПППК-А35.

6. Отпустить винт 4 и, поворачивая и перемещая кронштейн 5, установить его так, чтобы измерительный стержень располагался над серединой нижней пятки скобы на расстоянии примерно 0,5 мм от мерительной плоскости; закрепить кронштейн в этом положении винтом 4.

7. Подключить функциональный блок прибора ПППК-А35 к сети и нажать кнопку 1 (рис. 19). При этом должна загореться сигнальная лампа "сеть". Установить ручку потенциометров смещения нуля 2, 3 в среднее положение. Выбрать проверяемый диапазон показаний по шкале прибора (по указанию преподавателя) и нажать соответствующую кнопку 4. Установить показание прибора по шкале на нуль, вначале потенциометром 2 "грубо", затем потенциометром 3 "точно".

8. Установить границы интервала разбраковки (уровни "брак +" и "брак -" на индикаторе прибора путем вращения потенциометров 5, 6 при нажатии соответствующих кнопок 7, 8 (по указанию преподавателя).

9. Медленно опустить подвижную часть кронштейна 5 (рис. 15) путем вращения микрометрического винта 17 против часовой стрелки до момента загорания красного индикатора на табло "разбраковка".

10. Убедиться, что не изменилось установленное показание образцового прибора, в случае необходимости ввести поправку, для чего у микрокатора предусмотрен специальный винт 18.

11. Определить погрешность установленной границы на разбраковку при подходе к ней со стороны меньших размеров. Для этого опустить столик 13 на 5 – 10 мкм и вновь медленно поднять его до получения светового сигнала. Произвести отсчет по шкале образцового прибора и записать в таблицу (см. форму отчета, табл. 6). Повторить эту операцию 50 раз, получив 50 значений  $\Delta_{mi}$ .

12. Определить погрешность установленной границы при подходе к ней со стороны больших размеров. Для этого поднять столик 13 на 5 – 10 мкм и вновь медленно опустить его до получения

сигнала. Произвести отсчет по шкале образцового прибора и записать в таблицу (см. форму отчета, табл. 6).

Повторить эту операцию 50 раз, получив 50 значений.

13. Отжать кнопку 4 диапазона измерений (рис. 19) и выключить функциональный блок прибора ПППК-А35, нажав кнопку 1.

14. Опустить столик 13 (рис. 15), отжать винт 4, повернуть кронштейн 5 по часовой стрелке на 30-40° и опустить его в крайнее нижнее положение.

15. Осуществить поверку индикатора контакта БВ-4271 (рис.21), установленного в кронштейне 5 (рис. 15) с помощью системы цифровой растровой для линейных измерений. Для этого сферическую поверхность щупа индикатора контакта расположить над нижней пяткой 3 скобы 12 (рис. 15) на расстоянии примерно 0,5мм. Заменить микрокатор на растровый фотоэлектрический преобразователь, расположив его измерительный стержень над верхней пяткой скобы 12 на расстоянии примерно 0,5 мм от мерительной плоскости. Включить электронные блоки обоих датчиков тумблерами "сеть". На блоке индикатора контакта нажать кнопку, соответствующую датчику I. Медленно поднимать столик 13 (рис. 15) до соприкосновения щупа индикатора контакта с мерительной плоскостью нижней пяты скобы 12 и появления звукового сигнала и индикации на блоке БВ-4271 индикации "К". В этом положении нажать кнопку "0" на функциональном блоке растрового преобразователя. Определить погрешность срабатывания индикатора контакта, повторив п.11 и 12.

16. По вышеизложенной методике осуществить поверку индикатора часового типа ИЧ-10 и рычажно-зубчатой головки ИИГ или 1МИГ (по указанию преподавателя).

17. Обработать результаты наблюдений. Подсчитать систематические  $\Delta_c$ , средние квадратические отклонения  $\sigma$  и смещения показаний (сигналов)  $S$ , определив в результате интервал  $\Delta$  этих погрешностей по формулам (9) – (12).

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

## 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 середин 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 середин интервалов  $\Delta_i$ .

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. 27).

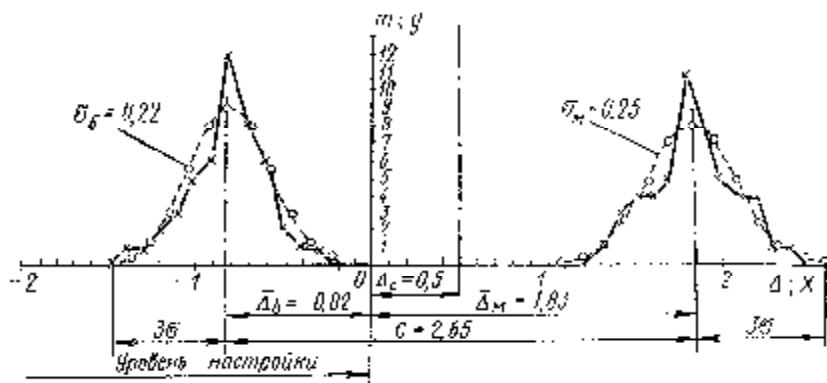


Рис.27. Полигоны эмпирических распределений и теоретические кривые нормального распределения

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

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum \Delta_i m_i}{n}, \quad (13)$$

где  $\Delta_i$  – 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

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2 m_i}{n}}. \quad (14)$$

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  $\sigma$ , 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  $\sigma = 1$  (табл. 4), где  $x = \Delta_i - \bar{\Delta}$  – абсцисса, отсчитываемая от центра группирования;  $y$  – ордината кривой.

Таблица 4

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

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

Таблица 6

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

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

$$m_i = y \frac{n\Delta x}{\sigma}, \quad (15)$$

где  $m_i$  – ордината кривой нормального распределения (в том же масштабе, что и  $y$  опытной кривой распределения);  $y$  – табличное значение ординаты для  $\sigma = 1$ ;  $\Delta x$  – величина интервала (по оси абсцисс), принятая при построении опытной кривой распределения и выраженная в тех же единицах, что и  $\sigma$ ;  $\Delta x = \Delta_2 - \Delta_1 = \Delta_3 - \Delta_2$  и т.д. Точки, полученные на графике при построении теоретической кривой нормального распределения, обводятся плавной линией (рис. 27).

### Форма отчета

Таблица 5

Определение погрешностей измерительных приборов			
Часть I		Данные о приборах	
Образцовый измерительный прибор 1 (2)	измерительный	Поверяемый прибор 1 (2, 3, 4)	
Наименование		Наименование	
Цена деления		Цена деления	
Пределы измерения		Пределы измерения	
Схема измерения образцового прибора		Схема поверяемого прибора	

Часть II	Показания образцового прибора							
	Система цифровая растровая				Микрокатор			
Образцовые приборы	ИЧ-10		БВ 4271		1ИГ (1МИГ)		ПППК-А35	
Поверяемые приборы	$\Delta_m$	$\Delta_b$	$\Delta_m$	–	$\Delta_m$	$\Delta_b$	$\Delta_m$	$\Delta_b$
№ п/п								
1								
2								
3								
...								
...								
...								
49								
50								

Таблица 7

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

Таблица 8

Часть IV	Таблица координат кривых нормального распределения		
$x_M$	$m_{Mi} = y \frac{n\Delta x}{\sigma_M}$	$x_\delta$	$m_{\delta i} = y \frac{n\Delta x}{\sigma_\delta}$
0		0	
$\pm 0,5\sigma_M$		$\pm 0,5\sigma_\delta$	
$\pm 1\sigma_M$		$\pm 1\sigma_\delta$	
$\pm 1,5\sigma_M$		$\pm 1,5\sigma_\delta$	
$\pm 2\sigma_M$		$\pm 2\sigma_\delta$	
$\pm 2,5\sigma_M$		$\pm 2,5\sigma_\delta$	
$\pm 3\sigma_M$		$\pm 3\sigma_\delta$	

К отчету приложить необходимые графики, выполненные на миллиметровой бумаге.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Амосов И.С., Иванов О.А., Марков А.Л. Смирнов А.А. Технические измерения. Учебное пособие к лабораторным работам. – Ленинград, 1975. – 160 с.
- Система цифровая растровая для линейных измерений. Паспорт, 1984.
- Портативный прибор приемочного контроля. НПО «Прибор» ГСКТБ. Паспорт, 1980.

## РАБОТА 5 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.28), определяемая как совокупность преобразовательных элементов средства измерений, обеспечивающая осуществление всех преобразований сигнала измерительной информации.

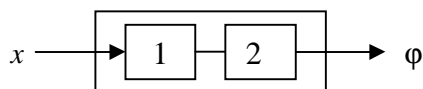


Рис.28. Структурная схема измерительной цепи

Измерительный преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, называется первичным измерительным преобразователем 1 (рис.28).

Масштабный преобразователь 2 (рис.28) – 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**  $\varphi$  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  $\varphi$  математическое описание может быть составлено по экспериментальным данным с применением математического аппарата теории случайных функций;

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

3. **требуемые точные показания**  $j_0$ , реализуемые средствами поверки СИ; требуемая точная характеристика  $\varphi_0$  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  $\varphi_{cx}$ .

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

$$\varphi_{cx} = f(x; r_i). \quad (16)$$

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  $\varphi_0$ :

$$\Delta\varphi_{cx} = \varphi_{cx} - \varphi_0, \quad (17)$$

где  $\varphi_{cx}$  – характеристика средства измерения по его схеме без учета первичных погрешностей;  $\varphi_0$  – требуемая точная характеристика СИ.

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

Совпадение характеристик  $\varphi_{cx}$  и  $\varphi_0$  означает отсутствие погрешностей показаний, обусловленных схемой СИ, т.е.  $\varphi_{cx} = 0$ .

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.30) или тангенсного (рис.31) 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  $\varphi_{cx}$  и погрешности показаний  $\Delta\varphi_{cx}$ , обусловленной схемой СИ) рассмотрим на нескольких примерах.

### ПРИМЕР 1. Индикатор часового типа ИЧ

В измерительной цепи индикатора часового типа (рис.29) первичным преобразователем служит зубчатая передача от рейки к колесу.

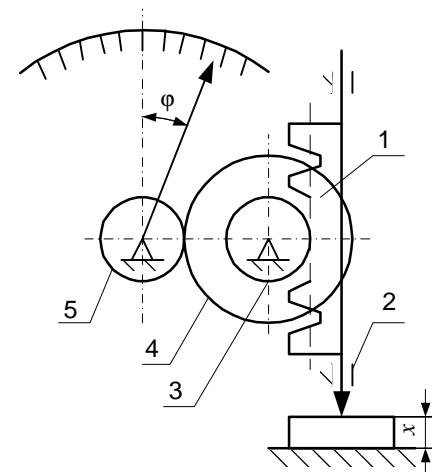


Рис. 29. Кинематическая схема индикатора часового типа:  
1 – зубчатая рейка; 2 – корпус; 3 – 5 – зубчатые колеса

Здесь линейная величина преобразуется в угловую:

$$\alpha = \frac{x}{r_3}. \quad (18)$$

Масштабным преобразователем служит пара колес 4 и 5:

$$i_M = \frac{z_4}{z_5}. \quad (19)$$

Тогда функция схемы  $\varphi_{cx}$  будет иметь вид:

$$\varphi_{cx} = \alpha \cdot i_M = \frac{x \cdot z_4}{r_3 \cdot z_5} \text{ [рад]}. \quad (20)$$

Функция схемы  $\varphi_{cx}$  может быть выражена в делениях шкалы:

$$\varphi_{cx} = \alpha \cdot i_M = \frac{x \cdot z_4}{r_3 \cdot z_5} \cdot \frac{z_{ш}}{\theta} \text{ [дел. шка.]}, \quad (21)$$

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

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

$$\varphi_{cx} = \alpha \cdot i_M = \frac{x \cdot z_4}{r_3 \cdot z_5} \cdot \frac{z_{ш}}{\theta} \cdot c \text{ [ед. измеряемой величины]}. \quad (22)$$

Вывод: функция  $\varphi_{cx}$  – линейна, шкала равномерная, следовательно,  $\varphi_{cx}$  совпадает с  $\varphi_0$  и  $\Delta\varphi_{cx} = 0$ .

### ПРИМЕР 2. СИНУСНАЯ РЫЧАЖНАЯ ПЕРЕДАЧА

Дана схема измерительной цепи (рис.30).

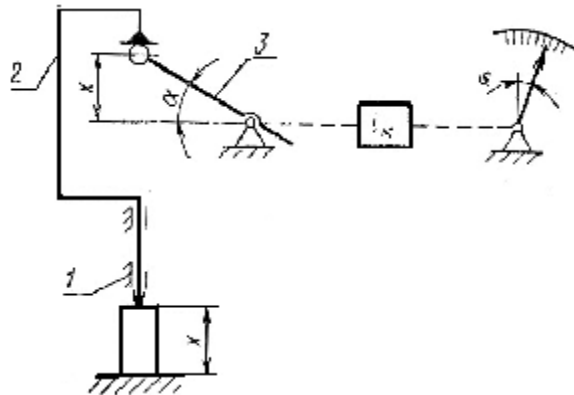


Рис.30. Схема измерительной цепи с синусной рычажной передачей:  
1 – корпус; 2 – измерительный стержень; 3 – ведущее плечо рычага

Из схемы следует, что

$$\sin \alpha = \frac{x}{r_3}, \quad (23)$$

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

$$\alpha = \arcsin \frac{x}{r_3} \text{ [рад]}. \quad (24)$$

Тогда показания  $\varphi_{cx}$  при синусном первичном преобразователе:

$$\varphi_{cx} = \left( \arcsin \frac{x}{r_3} \right) \cdot i_M \cdot \frac{z_{ш}}{\theta} \text{ [дел. шка.]}, \quad (25)$$

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

Формула (25) представляет нелинейную функцию. При равномерной шкале возникает погрешность показаний, т.е.  $\Delta\varphi_{cx} \neq 0$ .

### ПРИМЕР 3. ТАНГЕНСНАЯ ПЕРЕДАЧА

Дана схема измерительной цепи с тангенсной передачей (рис.31).

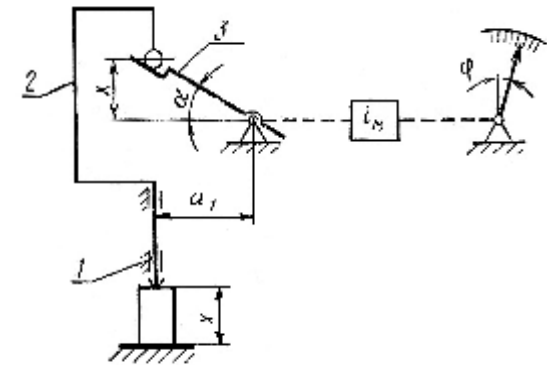


Рис.31. Схема измерительной цепи с тангенсной рычажной передачей:  
1 – корпус; 2 – измерительный стержень; 3 – ведущее плечо рычага

Из схемы измерительной цепи с тангенсной рычажной передачей (рис.31) следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{a_1}, \quad (26)$$

где  $a_1$  – длина звена до оси вращения рычага.

Отсюда:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{x}{a_1} \text{ [рад]}. \quad (27)$$

Тогда показания СИ при тангенсном первичном преобразователе:

$$\varphi_{\text{сх}} = \left( \operatorname{arctg} \frac{x}{a_1} \right) \cdot i_m \cdot \frac{z_{\text{ш}}}{\theta} \text{ [дел. шк.]}. \quad (28)$$

Формула (28) представляет также нелинейную функцию, следовательно, при равномерной шкале  $\Delta\varphi_{\text{сх}} \neq 0$ .

#### ПРИМЕР 4. СИНУСНО-КУЛИСНАЯ ПЕРЕДАЧА

Дана схема измерительной цепи с синусно-кулисной передачей (рис.32).

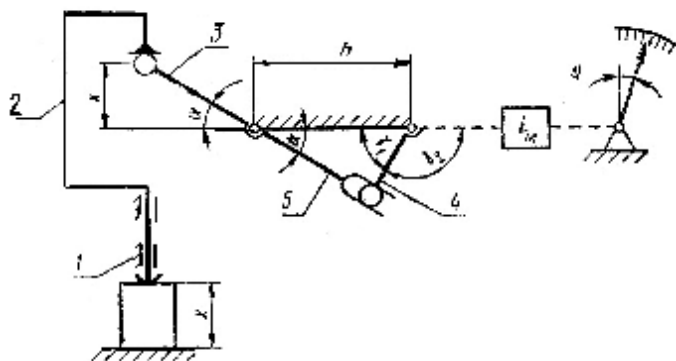


Рис. 32. Схема измерительной цепи синусно-кулисной передачи средства измерения:

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

По схеме измерительной цепи синусно-кулисной передачи (рис.32) определим угол  $\gamma_1$ , исходя из равенства отношений сторон треугольника и синусов противолежащих углов:

$$\frac{b}{r_4} = \frac{\sin[\pi - (\alpha + \gamma_1)]}{\sin \alpha}; \quad (29)$$

Учитывая, что

$$\alpha = \operatorname{arcsin} \frac{x}{r_3}, \quad \text{и} \quad \sin[\pi - (\alpha + \gamma_1)] = \sin(\alpha + \gamma_1);$$

$$\text{Получим:} \quad \frac{bx}{r_4 r_3} = \sin(\alpha + \gamma_1);$$

$$\alpha + \gamma_1 = \operatorname{arcsin} \left( \frac{bx}{r_4 r_3} \right);$$

$$\gamma_1 = \operatorname{arcsin} \left( \frac{bx}{r_4 r_3} \right) - \operatorname{arcsin} \frac{x}{r_3}. \quad (30)$$

Показание СИ, обусловленное его схемой (при учете внутреннего угла  $\gamma_1$ )

$$\varphi_{\text{сх}} = \left[ \operatorname{arcsin} \left( \frac{bx}{r_4 r_3} \right) - \operatorname{arcsin} \frac{x}{r_3} \right] \cdot i_m \cdot \frac{z_{\text{ш}}}{\theta} \text{ [дел. шкалы]}, \quad (31)$$

где  $i_m$ ,  $z_{\text{ш}}$ ,  $\theta$  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 (31) 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.33) 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;
- $z_{\text{ш}} = 80$  – число делений шкалы;
- $\theta = 2\pi$  – угол шкалы.

Требуется вычислить погрешность показаний, обусловленных схемой.

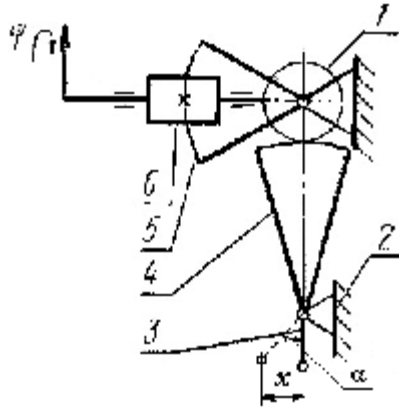


Рис. 33. Схема измерительной цепи рычажно-зубчатого индикатора типа ИРБ:

1, 4 – 6 – зубчатая передача; 2 – корпус; 3 – рычаг

Из схемы (рис.33) следует, что

$$\sin \alpha = \frac{x}{r_3}, \quad (32)$$

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

$$\alpha = \arcsin \frac{x}{r_3} \text{ рад.} \quad (33)$$

Показания индикатора  $\varphi_{cx}$ :

$$\varphi_{cx} = \left( \arcsin \frac{x}{r_3} \right) \cdot i_m \cdot \frac{z_{ш}}{\theta} \text{ [дел. шк.],} \quad (34)$$

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 (34) выражение  $i_m$ , получим зависимость между входом и выходом:

$$\varphi_{cx} = \left( \arcsin \frac{x}{r_3} \right) \cdot \frac{z_4 \cdot z_5}{z_1 \cdot z_6} \cdot \frac{z_{ш}}{\theta} \text{ [дел. шк.].} \quad (35)$$

Формула (35) представляет нелинейную функцию.

При равномерной шкале возникает погрешность схемы  $\varphi_{cx}$ . Расчет погрешности схемы по формуле (17) представим в табличной форме:

№ п/п	$x$ (мм)	$\varphi_{cx}$ (дел)	$\varphi_{cx}$ (мм)	$\varphi_0$ (дел)	$\varphi_0$ (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.34 показана зависимость погрешности схемы от величины входного сигнала  $x$ .

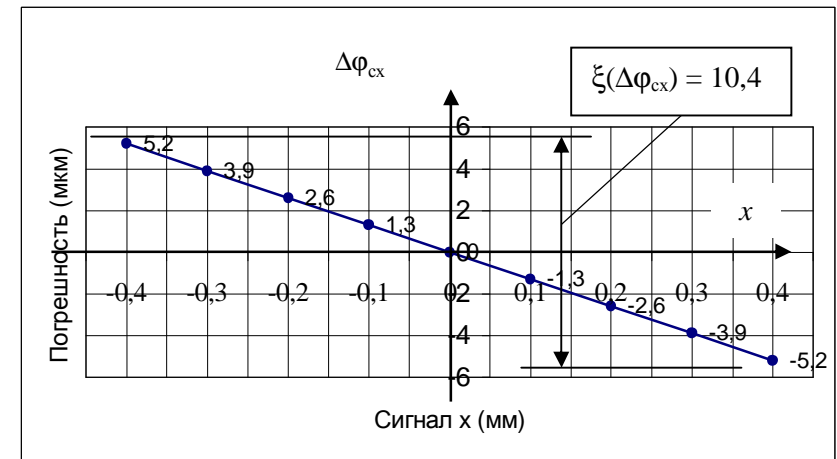


Рис.34. График функции  $\Delta\varphi_{cx}(x)$

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;
  - $\theta$  – угол шкалы.
3. Вывести формулу для определения показаний измерительной головки, обусловленных ее схемой
 
$$\varphi_{сх} = \varphi_{сх}(x; r_i).$$
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)	$\varphi_{сх}$ (дел)	$\varphi_{сх}$ (мм)	$\varphi_0$ (дел)	$\varphi_0$ (мм)	$\Delta\varphi_{сх}$ (мкм)
1						
2						
3						
...						

5. Построить график зависимости погрешности схемы от величины  $x$ :
 
$$\Delta\varphi_{сх} = \Delta\varphi_{сх}(x).$$
6. Рассчитать ширину зоны погрешности схемы.  
Ширина зоны погрешностей  $\xi(\Delta\varphi)$  равна абсолютному значению разности между  $\Delta\varphi_{сх \max}$  и  $\Delta\varphi_{сх \min}$ :

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

7. Вывод.

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

### 1. Измерительная головка 1ИГ (2ИГ)

Измерительные головки типа ИГ (рис. 35) 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 -  $\pm 0,0012$ .

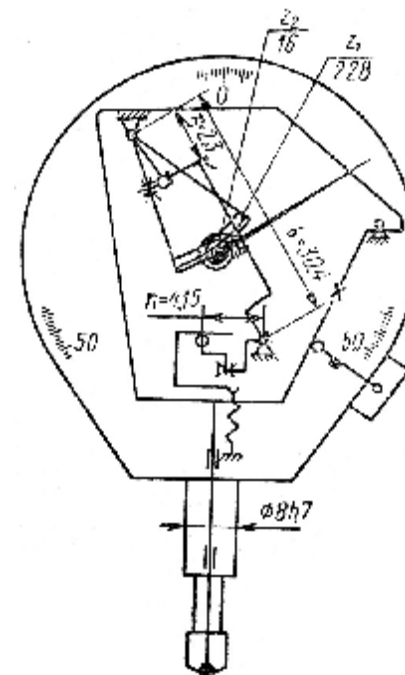


Рис. 35. Измерительная головка 1ИГ

## 2. Многооборотный индикатор 1МИГ (2МИГ)

Индикаторы типа МИГ относятся к группе многооборотных измерительных головок. Кинематическая цепь состоит из двух рычажных и двух зубчатых пар (рис. 36). Кинематическое замыкание механизма осуществляет пружина-волосок через зубчатое колесо  $z_5$ .

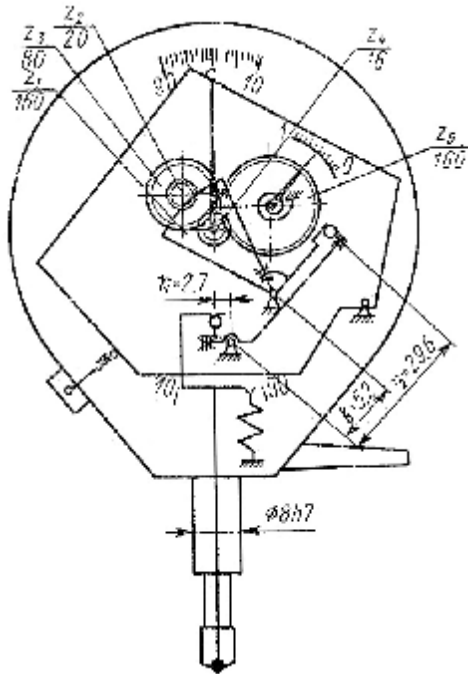


Рис. 36. Многооборотная измерительная головка 1МИГ

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
Допускаемая погрешность в пределах одного оборота, мм	0,002	0,003

Для обоих типов головок сохраняются одинаковыми следующие параметры:  $b=5,2\text{мм}$ ;  $z_1=228$ ;  $z_2=20$ ;  $z_3=80$ ;  $z_4=16$ ;  $z_5=130$ ;  $z_{ш}=200$ ;  $\theta=2\pi$ .

Изменение цены деления достигается регулированием плеч  $r_1$  и  $r_2$  рычагов. Для типа 1МИГ  $r_1=2,7\text{мм}$ ;  $r_2=20,895\text{мм}$ ; для типа 2МИГ  $r_1=5,4\text{мм}$ ;  $r_2=25,5\text{мм}$ .

## 3. Рычажно-зубчатая измерительная головка типа 1МКМ

Механизм головки состоит из двух рычажных и одной зубчатой пары (рис. 37). 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  $\pm 0,05\text{мм}$ . Остальные параметры головки:  $r_1=4,15\text{мм}$ ;  $r_2=28,1\text{мм}$ ;  $r_3=2,3\text{мм}$ ;  $z_1=228$ ;  $z_2=16$ ;  $z_{ш}=100$ ;  $\theta = (4/3)\pi$ . Допускаемая погрешность на всем диапазоне  $\pm 0,0008\text{ мм}$ .

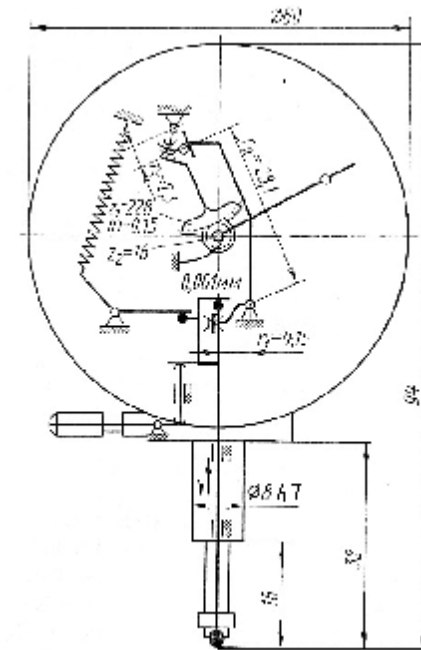


Рис. 37. Измерительная головка 1МКМ

#### 4. Многооборотная измерительная головка мод. 05205

Многооборотная рычажно-зубчатая измерительная головка модели 05205 (рис.38) 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:  $r_1=9,8\text{мм}$ ;  $b=6\text{мм}$ ;  $z_1=330$ ;  $z_2=44$ ;  $z_3=160$ ;  $z_4=16$ ;  $z_{ш}=500$ ;  $\theta = 2\pi$ .

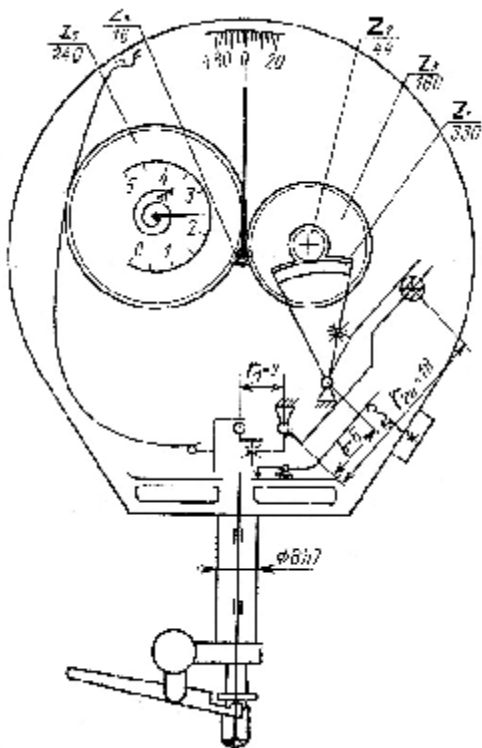


Рис. 38. Многооборотная измерительная головка модели 05205

#### 5. Многооборотный индикатор 1ИГМ

Многооборотный рычажно-зубчатый индикатор типа 1ИГМ (рис.39) имеет цену деления 0,001мм и диапазон измерений 1мм. Механизм этого индикатора содержит две рычажные и две зубчатые пары. Кроме того, добавлено еще одно зубчатое колесо  $z = 130$ , на оси которого насажены стрелка указателя перемещения измерительного стержня и пружинный спиральный волосок, обеспечивающий натяг в измерительной цепи.

Основные параметры индикатора 1ИГМ:  $r_1=4,3\text{мм}$ ;  $r_3=7\text{мм}$ ;  $b=13,895\text{мм}$ ;  $z_1=228$ ;  $z_2=25$ ;  $z_3=80$ ;  $z_4=16$ ;  $z_{ш}=200$ ;  $\theta = 2\pi$ .

Допускаемая погрешность измерения в пределах одного оборота составляет 0,003мм.

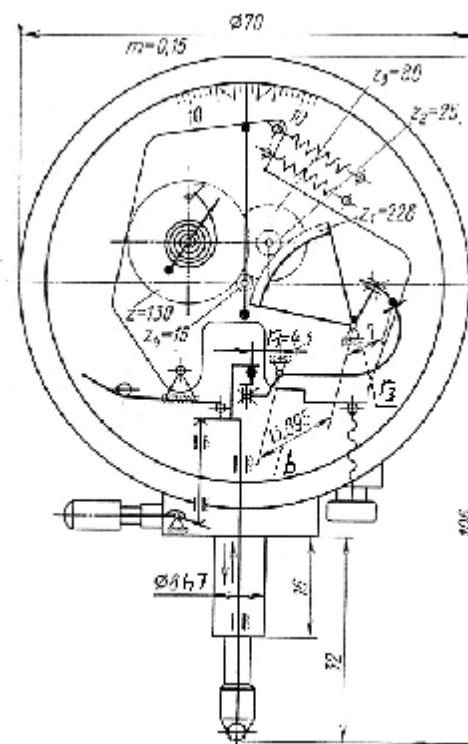


Рис. 39. Многооборотный индикатор 1ИГМ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий Ю.Г. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. – М.: Машиностроение, 1971. – 376с.
2. Дашков Л.В. Методические указания к выполнению расчетной работы «Определение погрешности показаний, обусловленных схемой измерительного устройства» по курсу «Проектирование технологической оснастки». – Псков, 1994. – 8с.
3. Иванцов А.И. Основы теории точности измерительных устройств. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 212с.
4. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология. – М. ИПК. Изд-во стандартов, 2001. – 272с.
5. РМГ 29-99. Метрология. Основные термины и определения.
6. Средства для линейных измерений /Б.М. Сорочкин, Ю.З. Тененбаум, А.П. Курочкин, Ю.Д. Виноградов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 264с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Работа 1. Измерение деталей на универсальном измерительном микроскопе.....	4
Работа 2. Измерение деталей на проекторе.....	14
Работа 3. Определение отклонений от круглости.....	20
Работа 4. Определение погрешностей измерительных приборов.....	34
Работа 5. Определение погрешности показаний, обусловленных схемой измерительного устройства .....	57

**Ершова Ирина Глебовна**  
**Магда Виктор Иванович**

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ПРОИЗВОДСТВА**

Методические указания  
для студентов специальности «Технология машиностроения» всех  
форм обучения

Редактор И.Г. Ершова  
Компьютерная верстка И.Г. Ершова

---

Формат 60×90/16. Гарнитура Times New Roman. Усл. п.л.  
Тираж 50 экз. Заказ №.

Адрес издательства:  
Россия, 180680, Псков, ул. Л.Толстого 4.  
Издательско-полиграфический центр ППИ