

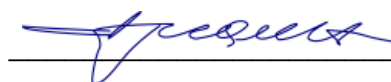
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт Кафедра  
«Технология машиностроения»

Утверждено на заседании кафедры  
«Технология машиностроения»  
« 24 » января 2023г., протокол № 7

Заведующий кафедрой



А.А. Маликов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по выполнению лабораторных работ**  
**по дисциплине**  
**«Метрологическое обеспечение качества технологических процессов и**  
**продукции»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение**  
**машиностроительных производств**

с профилем  
**Металлорежущие станки и инструменты**

Форма обучения: очная


Идентификационный номер образовательной программы: 150305-03-23

Тула 2023 год

## Разработчик методических указаний

Якушенков А.В. доцент, к.т.н.

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	4
Р а б о т а 1. Измерение размеров на универсальном измерительном микроскопе . . . . .	5
Р а б о т а 2. Измерение отклонений от прямолинейности с помощью оптической линейки или автоколлиматора. . . . .	17
Р а б о т а 3. Измерение колебания измерительного межосевого расстояния на модифицированном межосемере. . .	26
Р а б о т а 4. Измерение радиального биения зубчатого венца . .	32
Р а б о т а 5. Оценка точности измерительной системы. . . . .	38
Р а б о т а 6. Выбор средств измерения . . . . .	48
Приложения . . . . .	85
Библиографический список. . . . .	92

## **ВВЕДЕНИЕ\***

Настоящий лабораторный практикум содержит сведения о средствах измерения, их назначении и конструкции; о методике проведения измерений линейных и угловых размеров, формы и расположения поверхностей деталей; поверке средств измерения и их выбору для оценки качества конкретных изделий по чертежу детали или узла.

Лабораторные занятия предназначены для получения знаний о методах измерений, средствах измерения и позволяет сформировать первичные умения по выполнению последовательности действий на измерительных приборах при выполнении измерений.

Представленные в пособии практические работы являются практическими дополнениями к теоретическому материалу лекций дисциплины «Метрологическое обеспечение качества технологических процессов и продукции».

Формирование умений в области обеспечения качества изделий в производстве возможно только на основе самостоятельной работы студента, которая осуществляется при подготовке к занятиям, выполнении работы и написании отчета.

По каждой лабораторной работе оформляется протокол измерений, форма которого приводится в конце описания работы. Каждая работа на основании протокола защищается студентом индивидуально. Все рисунки и схемы, приведенные в протоколе, должны быть выполнены аккуратно с использованием линейки и циркуля. Итоговой аттестацией выполнения цикла лабораторных работ является зачет.

Цикл является логическим продолжением цикла лабораторных работ по курсу «Метрология стандартизация и сертификация».

\* Здесь и далее [4]

# Лабораторная работа № 1

## ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

**Цель работы:** Знания конструкции и назначения универсального измерительного микроскопа, умение выполнять измерения параметров детали на микроскопе.

### Общие сведения

Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21 предназначен для измерения линейных и угловых размеров различных изделий с высокой точностью в пределах измерения  $200 \times 150$  мм.

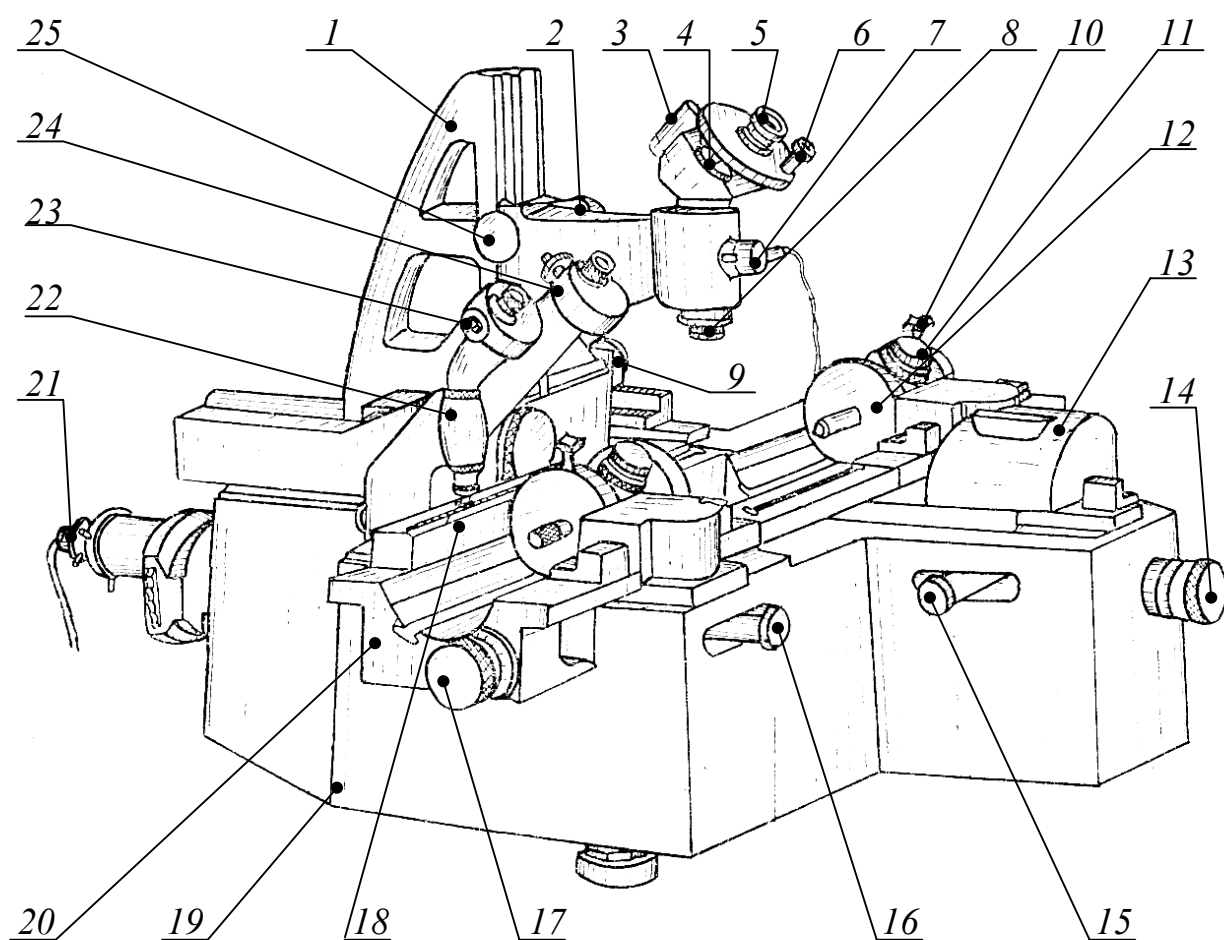


Рис. 1.1. Универсальный измерительный микроскоп

УИМ-21 (рис. 1.1) состоит из массивного основания 19, относительно которого могут независимо перемещаться во взаимно перпендикулярных направлениях стол 20 и каретка 13. На каретке укрепляется колонна 1 с микроскопом 3 и осветителем 21.

Легкость и плавность перемещений стола и каретки достигаются применением направляющих на шариковых подшипниках качения.

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

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.

Величина перемещения стола определяется по шкале 18 длиной 200 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. Принцип работы отсчетных устройств рассмотрен ниже.

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

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

**С целью увеличения точности измерения** к универсальным микроскопам прилагаются измерительные ножи. Рабочая высота ножа рассчитана таким образом, что при установке его на специальном ножедержателе 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.

Измерительный микроскоп снабжается сменными окулярными головками: универсальной штриховой, двойного изображения и профильной, служащей для сравнения профиля детали с набором профилей на окулярной пластинке.

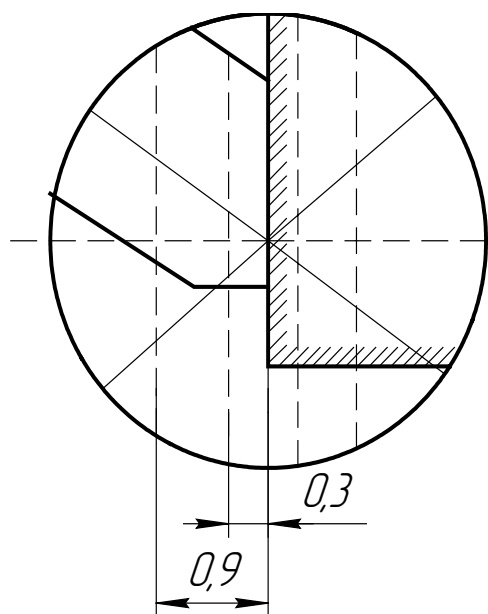


Рис. 1.2. Поле зрения микроскопа

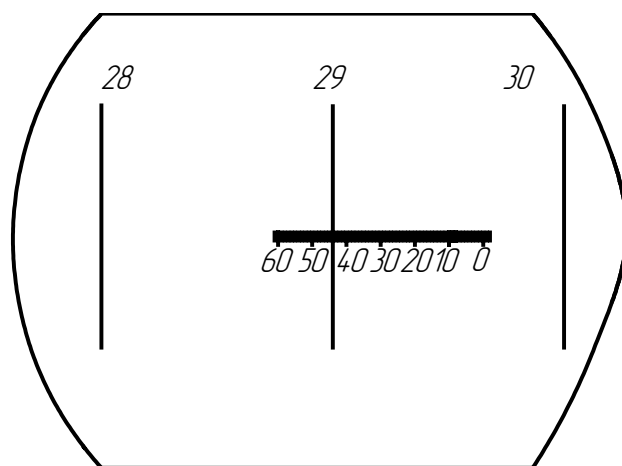


Рис. 1.3. Угломерная шкала

**Универсальная штриховая головка** имеет поворотную стеклянную пластинку с перекрестьем и дополнительными штриховыми линиями (рис. 1.2). 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. 1.1), угол поворота отсчитывается по шкалам угломерного микроскопа 6 (по основной шкале с ценой деления  $1^\circ$  и дополнительной шкале с ценой деления  $1'$ ). Шкалы освещаются зеркальцем от осветителя 7, расположенного под угломерным микроскопом. В примере на рис. 1.3 отсчет равен  $29^0 43'$ .

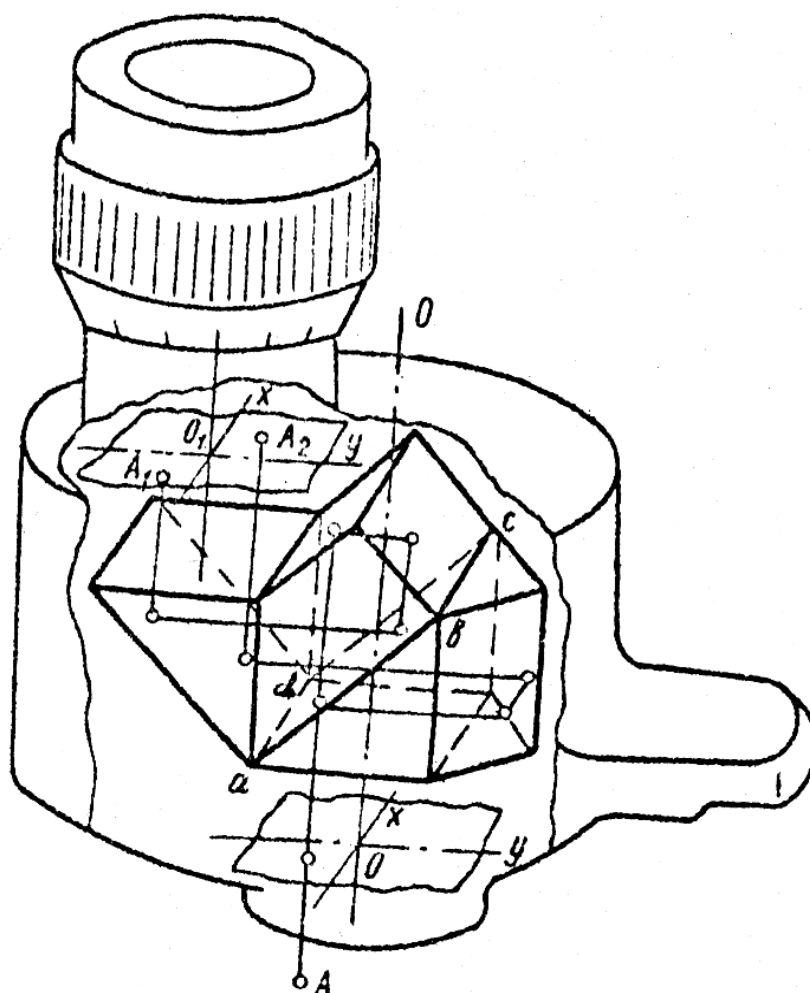


Рис. 1.4. Головка двойного изображения



**Головка двойного изображения** (рис. 1.4) 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  $ОО$  будет располагаться над осью отверстия 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 используются наиболее распространенный объектив  $3^x$ , т. е. общее увеличение микроскопа  $30^x$ .

### **Отсчетные устройства универсальных микроскопов**

Принцип работы спирального микроскопа показан на рис. 1.5. Основная шкала 4, вмонтированная в измерительный шпиндель прибора, имеет деления длиной 1 мм. Объектив спирального микроскопа 5 проектирует эти деления на стеклянные дополнительные шкалы 6 и 8, расположенные в фокальной плоскости окуляра. Все три шкалы одновременно рассматриваются через окуляр 9. Шкалы освещаются лампочкой 1 через светофильтр 2 и конденсор 3. В поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 1.6) видны три или два штриха основной шкалы (на рисунке дан пример со штрихами 48, 49, 50), а также неподвижная шкала с делениями от 0 до 10 (десятые доли миллиметра).

Кроме того, в поле зрения видны десять витков двойной спирали Архимеда и круговая шкала для отсчета угла поворота этой спирали, которые нанесены на вращающейся пластинке 6.

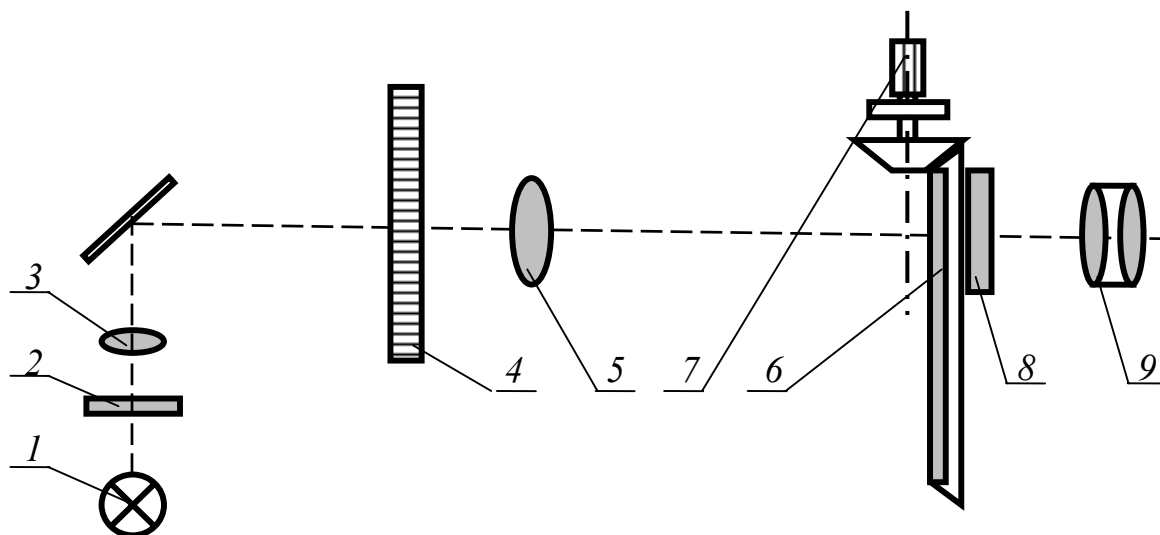


Рис. 1.5. Оптическая схема отсчетного устройства

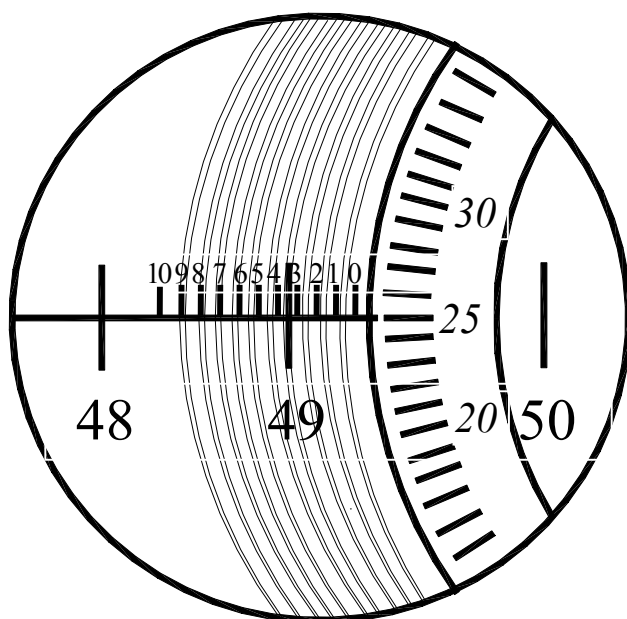


Рис. 1.6. Спиральный микроскоп

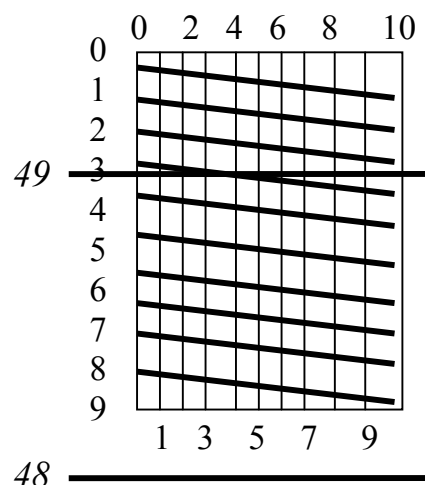


Рис. 1.7. Трансверсальная шкала

Десять делений неподвижной шкалы и десять участков спирали Архимеда точно укладывается в интервал между штрихами основной шкалы (1 мм). Таким образом, цена деления неподвижной шкалы и

шаг архимедовой спирали будут равны 0,1 мм. Как известно, спираль Архимеда описывается равномерно двигающейся точкой по равномерно вращающейся прямой.

В полярных координатах радиус-вектор  $r$  и угол  $\varphi$  спирали связаны уравнением

$$r = \frac{t}{2\pi} \varphi, \text{ где } t - \text{ шаг спирали.}$$

Следовательно, если одному обороту пластинки со спиралью соответствует поступательное движение точки спирали вдоль радиальной прямой на 0,1 мм (шаг), то при повороте на одно деление цена деления круговой шкалы при ста делениях будет

$$\frac{0,1}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{100} = 0,001 \text{ мм}.$$

По спиральному микроскопу показания снимаются следующим образом (рис. 1.6):

а) целое число миллиметров отсчитываются по тому штриху основной шкалы, который находится в пределах неподвижной шкалы десятых долей миллиметра (49 мм);

б) десятые доли миллиметра отсчитываются по неподвижной шкале в зависимости от того, какой последний штрих этой шкалы прошел зафиксированный ранее штрих (49 мм) основной шкалы (штрих 0,3 мм);

в) сотые и тысячные доли миллиметра отсчитываются после поворота пластинки 6 со спиралью Архимеда за рукоятку 7 (рис. 1.6); пластинку поворачивают так, чтобы штрих основной шкалы (49 мм) в области указателя располагался симметрично между рисками витка двойной спирали; отсчет производится по круговой шкале и указателю (25 мкм). Таким образом, полный отсчет в данном примере 49,325 мм.

В других моделях универсальных микроскопов использована трансверсальная отсчетная шкала – поперечный масштаб (рис. 1.7). Штрихи основной шкалы видны на фоне трансверсальной с верти-

кальной (продольной) и горизонтальной (поперечной) шкалами из десяти делений, причем штрихи продольной шкалы идут под углом от начала предыдущего деления до конца последующего.

Целые доли миллиметра отсчитываются по основной шкале, штрих которой пересекает трансверсальную, десятые – по продольной шкале, сотые – по поперечной в том месте, где штрихи основной шкалы пересекают продольные наклонные (тысячные доли миллиметра определяются на глаз).

## **Последовательность выполнения работы**

### ***Измерение расстояний между осями отверстий***

1. Подготовить микроскоп к работе. Для этого, открепив стопорные винты II (рис. 1.1), раздвинуть бабки 12 и установить предметный столик со стеклами 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 стеклянное предметному столику, расположить деталь так, чтобы одно из отверстий находилось в поле зрения микроскопа.

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

2. Измерить расстояние между осями отверстий С (рис. 1.8), используя универсальную штриховую головку.

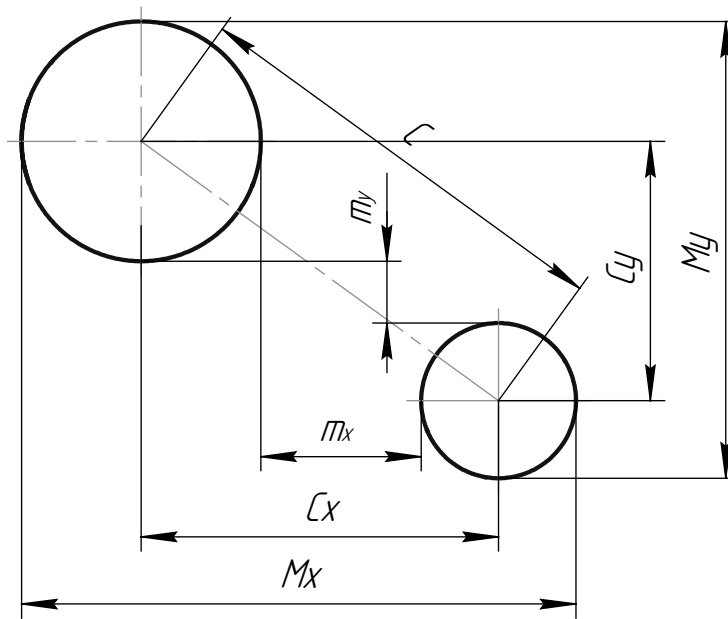


Рис. 1.8. Схема измерения расстояния между центрами отверстия

В этой случае межосевое расстояние отверстий можно определять только косвенным методом, по результатам измерения расстояний между их краями в двух взаимно перпендикулярных направлениях, т. е.  $m_x$ ,  $m_y$ , и  $M_x$ ,  $M_y$ . Тогда:

$$C_X = m_X + \frac{M_X - m_X}{2} = M_X - \frac{M_X - m_X}{2} = \frac{M_X + m_X}{2},$$

$$C_Y = m_Y + \frac{M_Y - m_Y}{2} = M_Y - \frac{M_Y - m_Y}{2} = \frac{M_Y + m_Y}{2},$$

$$C = \sqrt{C_X^2 + C_Y^2}.$$

3. Измерить расстояние между осями при использовании головки двойного изображения. Для этого вывернуть крепящий винт, расположенный справа под универсальной головкой 5 (см. рис. 1.1), осторожно снять ее, установить взамен головку двойного изображения (рис. 1.4) 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

$$C = \sqrt{C_X^2 + C_Y^2} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}.$$

### ***Измерение параметров резьбы***

1. В работе предусматривается измерение трех параметров резьбы: угла наклона боковых сторон профиля, шага и среднего (делительного) диаметра.

Номинальный угол наклона боковой стороны профиля определяют по внешнему виду нарезки, так как он должен быть равен для метрических резьб  $30^\circ$ , для трапецеидальных резьб  $15^\circ$ , для червяков  $20^\circ$ . Номинальный шаг находят по результатам его приблизительного измерения и округления до ближайшего стандартного значения, либо самого шага резьбы, либо модуля червяка, когда шаг в дальнейшем уточняется по формуле  $P = \pi m$ , где  $P$  – шаг;  $m$  – стандартный модуль.

Номинальный средний диаметр резьбы  $d_2$  вычисляют после примерного измерения и округления до ближайшего стандартного значения наружного диаметра  $d$  по следующим формулам: для метрической резьбы  $d_2 = d - 0,6495P$ ; для трапецеидальной резьбы  $d_2 = d - 0,5P$ .

Номинальный делительный диаметр червяка определяется после приблизительного измерения его наружного диаметра  $d$ , после определения и округления до ближайшего целого числа модулей в диаметре делительной окружности червяка  $q = d / m - 2$  по формуле  $d_2 = mq$ .

2. Подготовить микроскоп к работе. Для этого снять предметный столик со стеклом и установить деталь в центры, при необходимости можно перемещать и бабки 12 (см. рис.1) при открепленном стопоре 11 и сами центры при открепленном стопоре 10. Во избежание порчи осветительной линзы микроскопа деталь обязательно устанавливать в крайних положениях стола и каретки. Снова установить на микроскопе универсальную штриховую головку. Убедиться в том, что колонна 1 занимает вертикальное положение, которое соответствует нулевому показанию шкалы винта 9. Сфокусировать микроскоп по краю изображения детали.

3. Измерить угол наклона боковой стороны профиля резьбы. Для этого, вращая маховичок 4 и наблюдая в окуляр угломерного микроскопа 6, установить нулевое показание по его шкалам. Перемещениями стола 20 и поперечной каретки 13 совместить перекрестие штрихов примерно с серединой боковой стороны профиля резьбы. Поворотом окулярной пластинки маховичком 4 совместить вертикальный штрих с изображением боковой стороны профиля. Произвести отсчет по шкалам угломерного микроскопа (первое показание равно  $0^\circ$  или  $360^\circ$ ) и найти их разность.

4. Измерить шаг резьбы. Для этого, поочередно совмещая центральный штрих с изображением одноименных соседних боковых сторон профиля, снять показания по шкалам продольного спирального микроскопа 22 и найти их разность.

5. Измерить средний диаметр резьбы без ножей. Изображение осевого сечения будет частично искажено, так как оно заслоняется витками резьбы вследствие их наклона. Это искажение не вызывает значительной погрешности шага и угла профиля, поэтому их можно измерять в осевом сечении. Однако это искажение приводит к увеличению среднего диаметра, поэтому измерять его надо при наклоне колонны микроскопа на угол подъема резьбы, с тем, чтобы получить изображения профиля в сечении, перпендикулярном виткам резьбы. Угол подъема резьбы можно определить по формуле

$\varphi = \arctg \frac{P}{\pi d_2}$ . Поочередно совмещая центральный штрих с изображением диаметрально противоположных боковых сторон профиля, снять показания по шкалам поперечно спирального микроскопа 24 и найти их разность.

6. Измерить средний диаметр резьбы с помощью измерительных ножей. Измерительные ножи обеспечивают измерение среднего диаметра в его основном сечении. Установить два специальных ножедержателя в два паза стола 20 и закрепить их стопорными винтами в таком положении, чтобы было удобно прижать лезвия ножей к диаметрально противоположным боковым сторонам профиля резьбы. Лезвие ножа должно так прилегать к боковой стороне профиля, чтобы между ними не было видно просвета. Тщательно сфокусировать микроскоп поворотом кольца 8 на риску ножа, которая при необходимости может быть освещена дополнительной специальной подсветкой.

Перемещениями стола и каретки поочередно совмещать соответствующие дополнительные (0,3 или 0,9 мм.) штрихи головки с рисками обеих ножей, снять показания по шкалам поперечного спирального микроскопа 24 и найти их разность.

7. Занести данные измерений в протокол. Сравнить результаты измерения с номинальными размерами и сделать соответственные выводы.

В процессе выполнения лабораторной работы обратить внимание на функциональное назначение и размеры отдельных конструктивных элементов универсального микроскопа.

8. Оформить отчет по работе.



## Лабораторная работа № 2

# ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙКИ ИЛИ АВТОКОЛЛИМАТОРА

**Цель работы:** знание методик определения отклонения от прямолинейности, умение выполнять измерения с помощью оптической линейки и автоколлимаора.

### Общие сведения

Отклонения от прямолинейности реальных профилей определяют от номинальной (исходной) прямой, которая у таких оптико-механических приборов, как автоколлиматор или оптическая линейка, воспроизводится лучом света.

**В оптической линейке ИС-36** (рис. 5.1) лучи света от лампочки 6, пройдя через призму 5, линзу 4, призму 17 и левую половину оптического кубика 12, освещает визирную марку 2 и через объективы 1 и 13 создают изображение визирной марки 2 на диафрагме 3. Микрообъектив 11 переносит увеличенное изображение визирной марки 2 в плоскость биссекторной сетки 7.

Проекционный окуляр 9 проектирует биссектор и штрих визирной марки 2 в плоскость экрана 8.

Измерительная каретка, содержащая осветительную и измерительную часть прибора, перемещается по контролируемой поверхности на роликах 16 и 19 вдоль оси автоколлимационной системы, образуемой объективами 1 и 13, расположенными в корпусе 14.

Сдвиг наконечника 18 измерительной каретки из-за неровностей поверхности вызывает смещение изображения визирного штриха марки 2 относительно изображения биссектора. Это смещение измеряют по барабану винтового окулярного микрометра 10 с ценой деле-

ния 0,001мм. Наконечники *18* сменные: сферический корундовый для контроля шлифовальных или доведенных поверхностей и плоский самоустанавливающийся для контроля шаброванных поверхностей.

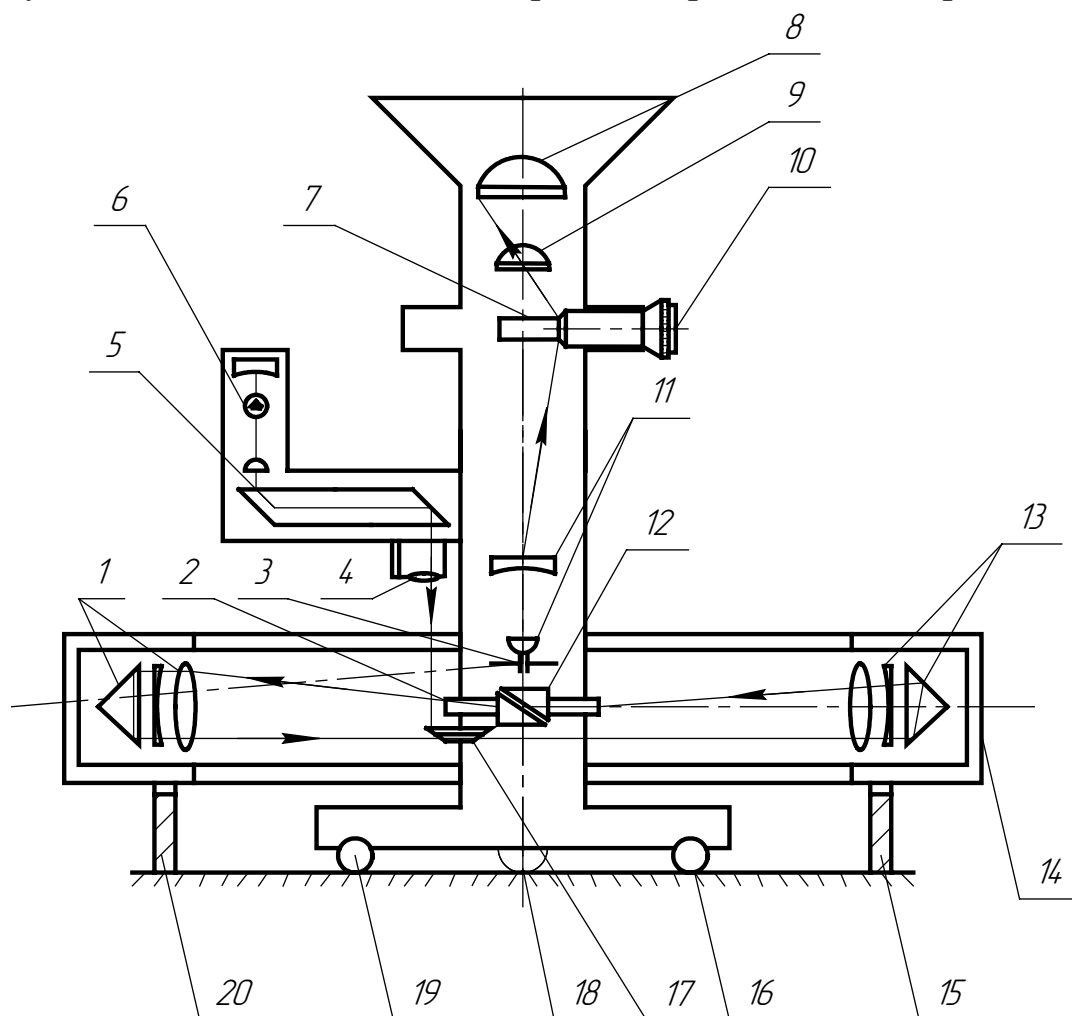


Рис. 5.1. Оптическая линейка

Для установки и выверки положения линейки относительно проверяемой поверхности служат опоры *15* и *20*, которые обеспечивают установку линейки на три точки и возможность установки заданного угла наклона линейки регулировкой по высоте одной из опор. Оптическая линейка снабжена регистрирующим устройством (на рис. 5.1 не показано).

Кривую реального профиля проверяемой поверхности регистрируют в виде периодических наколов на миллиметровой бумаге мар-

кирующим острием, связанным с микрометром десятиреечной передачей. Цена деления шкалы микровинта  $0,001\text{ мм}$ , пределы измерения отклонений от прямолинейности  $\pm 0,05\text{ мм}$ , масштаб регистрации  $1000^X$ , длины проверяемой поверхности  $400\text{--}1600$ .

**Автоколлиматор АК-1000** (рис. 5.2) – это прибор, в котором объединены одновременно и зрительная труба, и проектор (коллиматор), посылающий параллельный пучок лучей света с изображением шкалы 4, который, отразившись от специального зеркала 2, возвращается с изображением шкалы в плоскость самой шкалы.

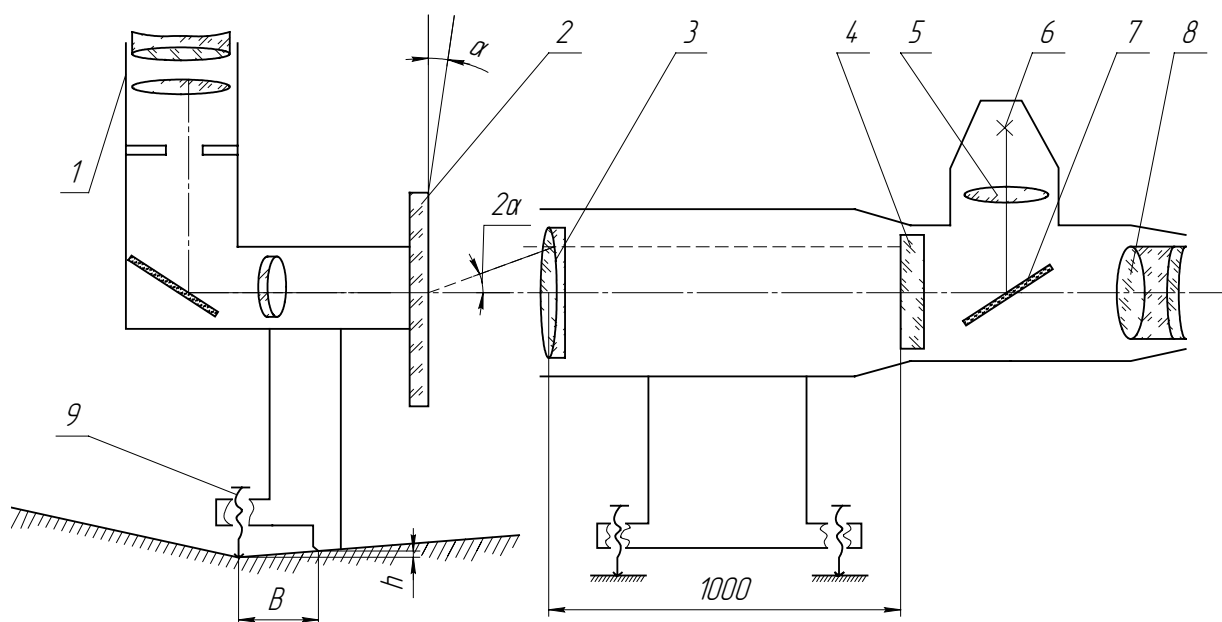


Рис. 5.2. Оптическая схема автоколлиматора

Пучок лучей от лампочки 6, пройдя конденсор 5, попадает на полупрозрачное зеркало 7. Часть лучей освещает пластинку 4 с делениями и перекрестием шкалы, находящуюся в фокальной плоскости и объектива 3, и окуляра 8. Поэтому лучи при выходе из объектива остаются параллельными, а значит, размеры проектируемой шкалы не зависят от ее расстояния от зеркала 2.

Плоское зеркало 2, стоящее на пути лучей, отразит их, и они снова соберутся в фокальной плоскости автоколлиматора и дадут на

пластинке 4 отраженное изображение шкалы, которое вместе с самой шкалой рассматривают через окуляр 8. Если зеркало будет строго перпендикулярно оптической оси, то изображение шкалы и шкала совпадут. В том случае, если зеркало наклонится на углах, отраженное лучи повернутся на угол  $2\alpha$  (угол падения равен углу отражения) и изображение шкалы не совпадет с самой шкалой. Шкала проградуирована в угловых единицах, поэтому по углу наклона зеркала при известном расстоянии между его опорами  $B$  определяют высоту неровностей  $h$  проверяемой поверхности по формуле  $h = Btg\alpha$ .

Автоколлиматор АК-1000 снабжен несколькими сменными окулярами. В машиностроении часто применяется окуляр Гаусса (рис. 5.3) с крестообразной шкалой с ценой деления  $10''$ . Несовпадение шкал может отсчитываться по вертикали, так и по горизонтали.

Измерив угол наклона зеркала в угловых секундах и зная расстояние между его точками опоры (2,5 дюйма), можно сосчитать перепад высот точек профиля в микрометрах.

Для облегчения установки зеркала примерно перпендикулярно оси автоколлиматора в нем имеются отверстие и Г-образная зрительная труба 1, в поле зрения окуляра которой одновременно видны и отверстие в зеркале, и круговой штрих марки этой трубы. Совместив концентрично с помощью винта 9 круговой штрих с контуром отверстия, добиваются необходимого положения зеркала. После этой настройки в процессе измерения отклонений от прямолинейности детали винт 9 больше не вращают.

## **Последовательность выполнения работы**

### ***Работа с оптической линейкой***

1. Установить оптическую линейку без измерительной каретки своими опорами 15 и 20 (рис. 5.1) на проверяемую поверхность дета-

ли. При контроле деталей длиной менее 800 мм устанавливать линейку на деталь не рекомендуется. В этом случае необходимо применять домкраты или другие дополнительные опоры, позволяющие совмещать верхние плоскости опор и проверяемую поверхность с точностью  $\pm 0,05$  мм.

2. В пазу линейки разместить измерительную каретку и включить ее лампочку в сеть. При этом на равномерно освещенном поле экрана должны быть видны визирный штрих и биссектор.

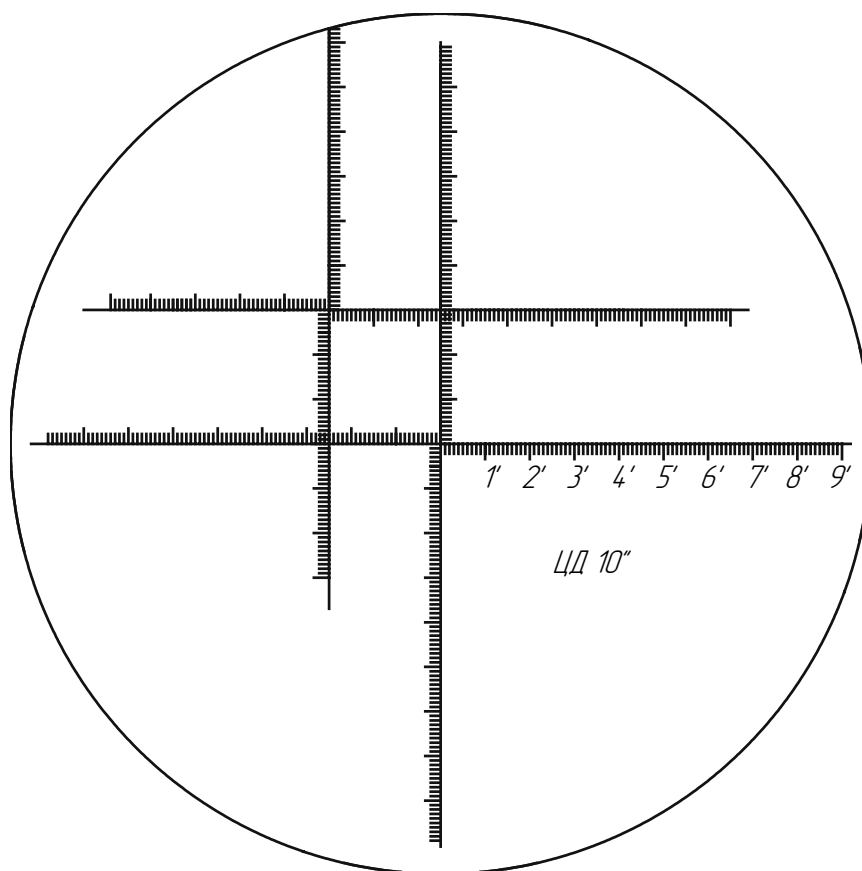


Рис. 5.3. Окуляр Гаусса

3. Вращением винтов регулируемых опор добиться одинаковых отсчетов в левом и правом крайних положениях на детали измерительной каретки. Разность отсчетов не должна превышать 0,5 мкм.

4. Перемещая измерительную каретку вдоль паза, устанавливать в ее проверяемых точках, совмещая визирный штрих с биссектором

на экране, произвести отсчеты по барабану микрометрического винта и сделать наколы на регистрирующем устройстве.

5. Результаты измерений и вычислений отклонений по высоте занести для каждой проверяемой точки в протокол измерения и построить профилограмму проверяемой поверхности.

### *Работа с автоколлиматором*

1. Установить на плите рядом с проверяемой деталью стойку 5 (рис. 5.4) с автоколлиматором 1, так, чтобы ось зрительной трубы располагалась вдоль проверяемой поверхности, и включить автоколлиматор в сеть.

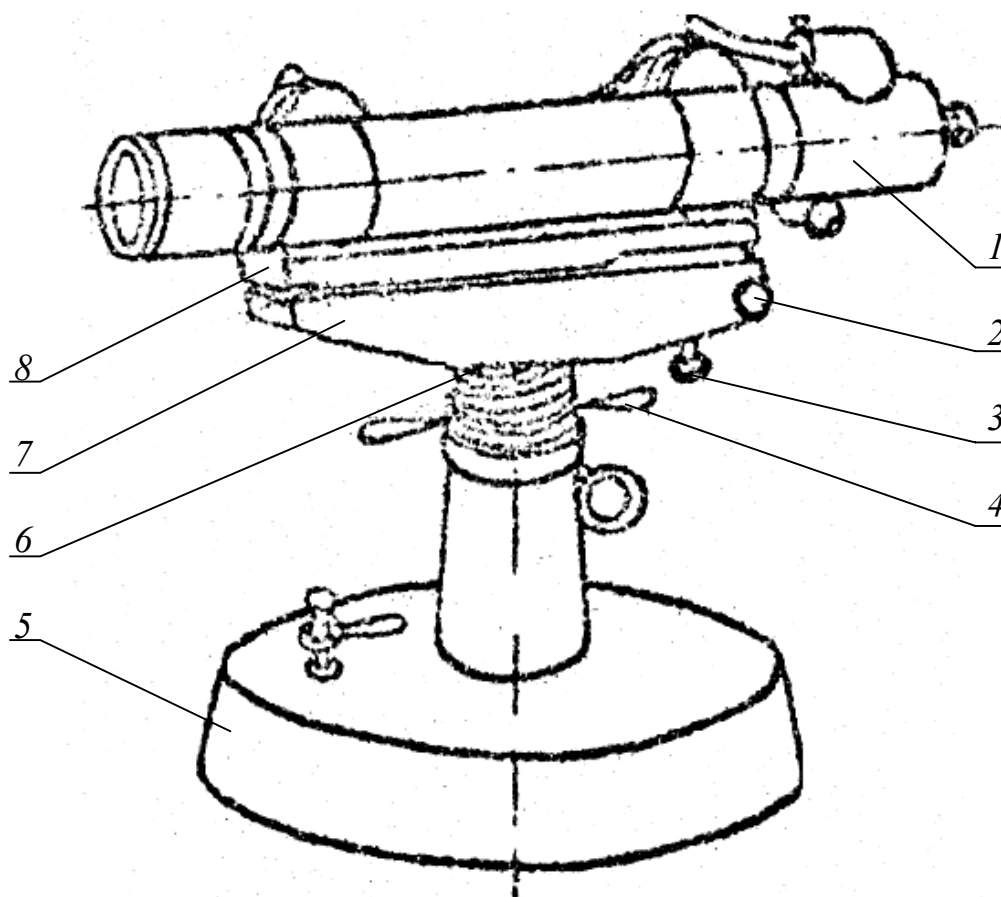


Рис. 5.4. Автоколлиматор

2. Установить зеркало на ближней проверяемый край поверхности и, наблюдая в зрительную трубу зеркала, при помощи винта 9 (см. рис. 5.2) зеркала добиться совмещения кольцевой риски на окулярной пластинке с изображением отверстия зеркала. При этом изображение отражаемой шкалы должно быть в поле зрения автоколлиматора. Для этой же цели необходимо ложемент 8 (рис. 5.4) автоколлиматора 1 покачивать в горизонтальной плоскости винтом 2, в вертикальной – винтом 3 и перемещать вдоль направляющей 6 основание 7 ложемента гайкой 4.

3. Не вращая более винта зеркала, переместить его на противоположный край проверяемой поверхности и выяснить, находится ли изображение отраженной шкалы в поле зрения автоколлиматора. При необходимости следует повторить регулировку.

4. Перемещая зеркало вдоль проверяемой поверхности через промежутки, равные расстоянию между опорами зеркала, снять отсчеты показаний по автоколлиматору и занести их в протокол измерений.

5. Провести необходимые расчеты и построить профилограмму проверенной поверхности.

6. Определить отклонения от прямолинейности проверенной поверхности. В соответствии с ГОСТ24642-81 отклонение от прямолинейности, как и другие погрешности формы профилей, количественно оцениваются наибольшим расстоянием от точек реального до прилегающего профиля по нормали к нему.

Прилегающая прямая – это прямая, которая соприкасается с реальным профилем и располагается вне материала детали так, чтобы отклонения от нее наиболее удаленных точек реального профиля в пределах нормируемого участка имели минимальное значение.

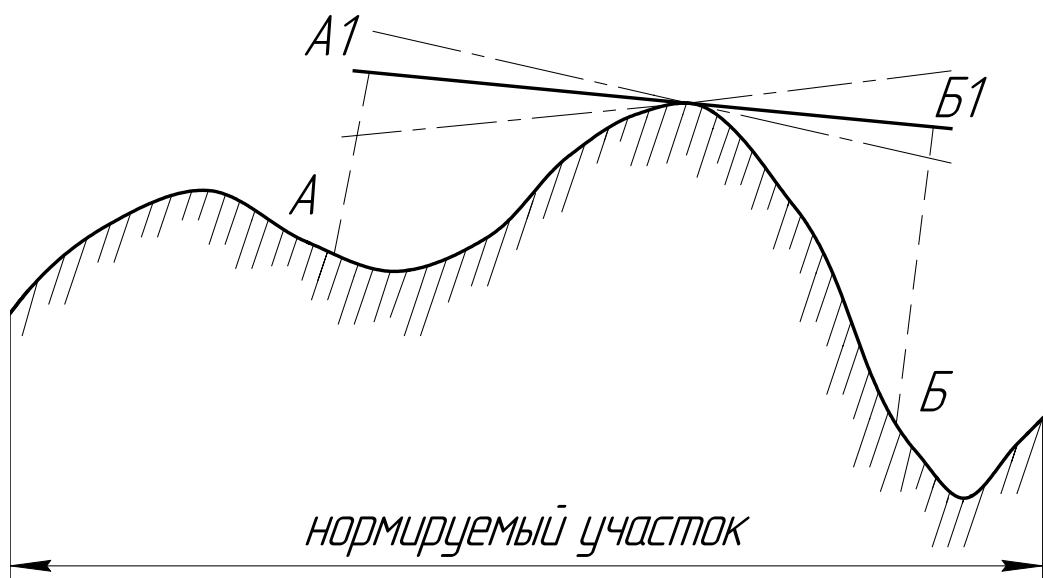


Рис. 5.5. Проведение прилегающей прямой

Из рис. 5.5 видно, что для рассматриваемого примера прилегающей прямой является из множества касательных такая  $A_1 B_1$ , расстояние от которой до реального профиля равно  $AA_1 = BB_1$ , то есть одно временно оба минимально возможные.

При выполнении работы обратить внимание на функциональное назначение и устройство конструктивных элементов измерительных приборов, которые применялись для измерения прямолинейности.

7. Оформить отчет по работе. К отчету приложить профилограмму измеряемой поверхности.



## Форма протокола измерения

Группа		Ф. И. О.				
Работа 5		Измерение отклонения от прямолинейности с помощью оптической линейки или автоколлиматора				
Данные о приборе						
Наименование и модель						
Цена деления					(Схема отчета показаний)	
Пределы измерения						
Показания прибора и определения отклонения от прямолинейности						
Номер проверяемой точки	Расстояние по длине детали, мм (от края)	Показания автоколлиматора $\alpha_i$ , угл.с	Отклонения от начального положения по автоколлиматору, угл.с	Отклонения по высоте $h_i$ , мкм	Суммарные отклонения от прямолинейности, мкм (алгебраические)	Отклонения от прямолинейности по профилограмме, мкм
1		$(\alpha_1)$	-	$(h_1)$	-	
2		$(\alpha_2)$	$(\alpha_2 - \alpha_1)$	$(h_2)$	$(h_1 + h_2)$	
3		$(\alpha_3)$	$(\alpha_3 - \alpha_2)$	$(h_3)$	$(h_1 + h_2 + h_3)$	
4		$(\alpha_4)$	$(\alpha_4 - \alpha_3)$	$(h_4)$	$(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$	
...		.....	.....	.....	.....	.....
n						

**Лабораторная работа № 3**  
**ИЗМЕРЕНИЕ КОЛЕБАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО**  
**МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ НА**  
**МОДИФИЦИРОВАННОМ**  
**МЕЖОСЕМЕРЕ**

**Цель работы:** знание методики определения колебания измери-  
модифицированном межосемере.

**Общие сведения**

Номинальным измерительным межосевым расстоянием называют расчетное межосевое расстояние при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса, имеющего наименьшее дополнительное смещение исходного контура, с проверяемым зубчатым колесом. При зацеплении измерительного и проверяемого зубчатых колес, нарезанных без смещения, номинальное измерительное межосевое расстояние определяется по формуле:

$$a'' = m \cdot (z + z_{\text{изм}}) / 2 - |E_{Hs}|,$$

где  $m$  – модуль в мм,  $z$  – число зубьев проверяемого зубчатого колеса,  $z_{\text{изм}}$  – число зубьев измерительного зубчатого колеса,  $E_{Hs}$  – наименьшее дополнительное смещение исходного контура в мм.

Обычно при двухпрофильном контроле используются специальные измерительные зубчатые колеса, которые отличаются от обычных увеличенной толщиной зуба для компенсации бокового зазора при однопрофильном зацеплении. В этом случае номинальное измерительное межосевое расстояние определяют без учета наименьшего дополнительного смещения исходного контура:  $a'' = m \cdot (z + z_{\text{изм}}) / 2$ .

Приборы для двухпрофильного контроля называют межосемерами и выпускают различных конструкций: МЦ-160, МЦ-320М, МЦ-400Б, МЦ-400Э, БВ-5029, БВ-5077 и др. В данной лабораторной ра-

боте используется модифицированный межосемер на основе модели МЦ-400Б. Он предназначен для измерения колебания измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса  $F''_{ir''}$  и на одном зубе  $f''_{ir''}$ . У цилиндрических зубчатых колес и червячных пар от 5 до 12 степеней точности. Схема межосемера приведена на рис. 7.1.

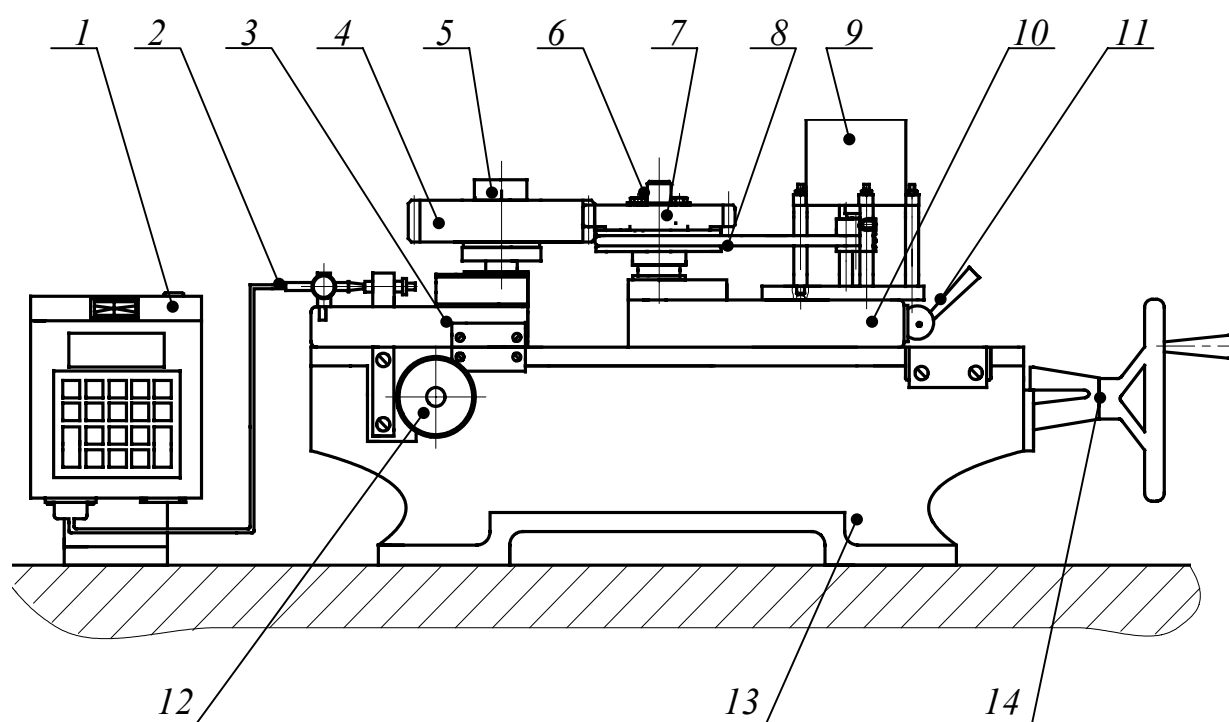


Рис. 7.1. Схема межосемера

Прибор состоит из станины 13, на которой расположены каретки 3 и 10 с оправками 5 и 6, несущими измерительное 4 и проверяемое 7 зубчатые колеса. Измерительная каретка 3 свободно перемещается вдоль станины на шариковых направляющих; цилиндрическая пружина растяжения обеспечивает плотное беззазорное двухпрофильное зацепление зубчатых колес. Каретка 10 связана со станиной посредством винта, и ее можно перемещать вдоль направляющих вращением маховика 14.

В установленном положении каретку 10 закрепляют стопорным устройством 11.

В момент установки зубчатых колес на оправки каретки разводят арретиром 12.

Перед определением отклонений измерительного межосевого расстояния арретир поворачивают в другую сторону, освобождая каретку 10, и изменение положения измерительной каретки 3 при вращении зубчатых колес измеряют индуктивным преобразователем 2, установленным в гнезде измерительной каретки.

Для вращения зубчатых колес используется электродвигатель 9, который связан с оправкой 6 ременной передачей 8.

Измерения производятся с помощью индуктивной измерительной системы М-200 с электронным блоком БИН-2И (1 на рис. 7.1). Электронный блок подключен к компьютеру.

Модифицированный межосемер МЦ-400Б предназначен для контроля измерительных межосевых расстояний от 40 до 400 мм у зубчатых колес с модулем от 1 до 10 мм. Цена деления отсчетного устройства межосемера определяется ценой деления установленного на приборе преобразователя или измерительной головки.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Определить модуль проверяемого зубчатого колеса. Для этого измерить диаметр вершин зубьев  $d_a$ , и сосчитав число зубьев  $z$ , определить модуль по формуле  $m = d_a / (z + 2)$ , округлить полученный результат до стандартного ближайшего значения (табл. П6 Приложения).

2. Подсчитать номинальное измерительное межосевое расстояние по формуле  $a'' = m \cdot (z + z_{\text{изм}}) / 2$  и записать в отчет.

3. Повернуть арретир 12 так, чтобы измерительная каретка 3 отошла от каретки 10. В этом положении установить на оправки 5 и 6

измерительное и проверяемое зубчатые колеса. Повернуть арретир 12 в противоположном направлении. Вращая маховик 14 добиться обеспечения беззазорного двухпрофильного зацепление зубчатых колес. Маховик вращать пока колеса не будут устойчиво находиться в зацеплении.

4. Установить датчик 2 измерительной индуктивной измерительной системы 1 в гнездо каретки 3 и, получив показания прибора 0,5-1 мм, закрепить его стопорным винтом. Нажав кнопку сбросить показания индуктивной системы на ноль. Выключить измерительную систему.

5. Подключить индуктивную измерительную систему к компьютеру с помощью USB разъема. После этого включить компьютер и индуктивную измерительную систему.

6. Включить электродвигатель. Убедиться, что двигатель плавно вращает зубчатую передачу.

7. На компьютере открыть программу работы с индуктивной измерительной системой. Включить динамический режим работы. При этом компьютер будет записывать измеренное значение каждые 0,1 с. Продолжать запись пока измеряемое колесо не сделает гарантированно полный оборот. Показания прибора с компьютера переписать на электронный носитель.

8. Занести результаты измерений в протокол. По показаниям прибора построить график колебания измерительного межосевого расстояния. Пример построения графика колебания измерительного межосевого расстояния приведен на рис. 7.2.

При построении графика рекомендуется пользоваться редактором Excel. Можно построить график на миллиметровой бумаге и приложить к отчету.

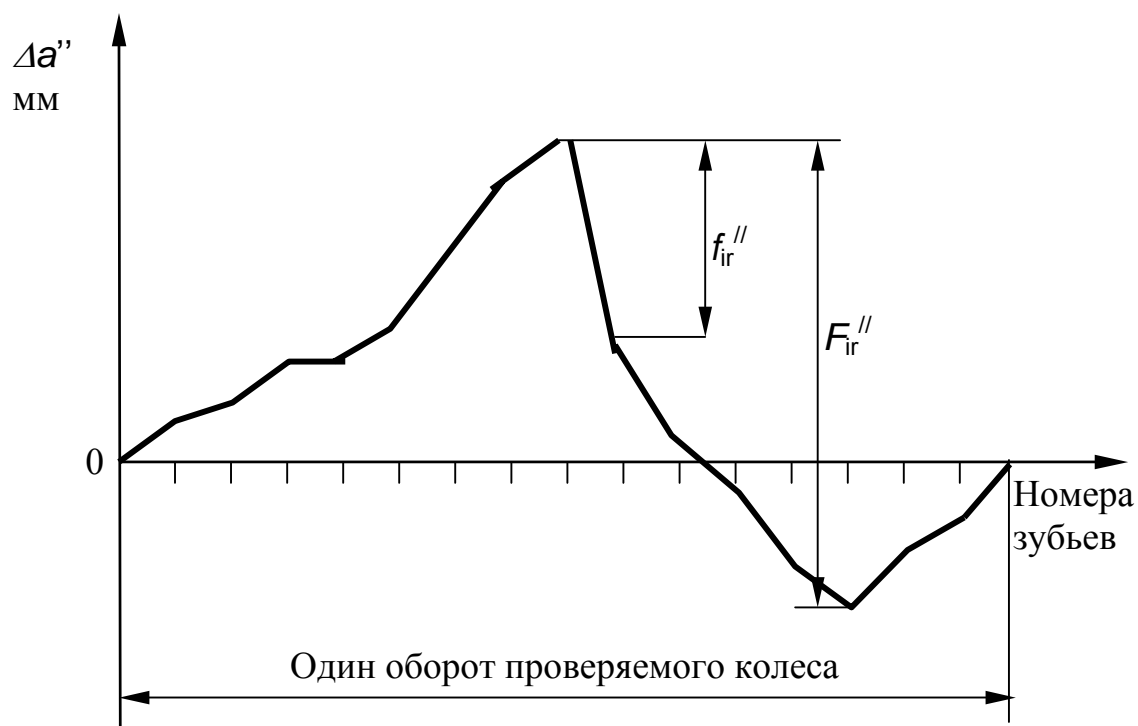


Рис. 7.2. График колебания межосевого измерительного расстояния

9. По графику определить колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса  $F''_{ir}$  и наибольшее значение колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f''_{ir}$  и сравнить с соответствующими допусками  $F''_i$  и  $f''_i$  (табл. П4 и П7 Приложения). Дать заключение о годности зубчатого колеса, если оно выполнено по степени точности 9-С, 8-Н, 10-В и т. п. по ГОСТ 1643-81.

10. Оформить отчет по работе. К отчету приложить график колебания межосевого измерительного расстояния.

### Форма протокола измерения

Группа	Ф. И. О.		
Работа 7	Измерение колебания измерительного межосевого расстояния цилиндрических зубчатых колес		
Данные о приборе		Данные о зубчатом колесе	
Наименование и модель		Диаметр вершин зубьев	$d_a =$
Цена деления		Число зубьев	$z =$
Отсчет по нониусу		Модуль	$m =$
Пределы измерения, мм		Номинальное измерительное межосевое расстояние	$a'' =$
Число зубьев измерительного колеса	$z_{\text{изм}} =$	Степень точности	
Схема измерения (рис. 7.1)		Показание прибора, мм	
		1	...
		2	...
		3	...
		...	...
		...	...
		...	$z$
$F_{\text{ir}}'' =$		$f_{\text{ir}}'' =$	
График колебаний измерительного межосевого расстояния			
Заключение о годности			

## Лабораторная работа № 4

### ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЛЬНОГО БИЕНИЯ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА

**Цель работы:** знание методов измерения радиального биения зубчатого венца, умение выполнять измерения радиального биения зубчатого венца на биениемере полуавтомате.

#### Общие сведения

Видеальным пределом точности зубчатого венца является равномерное распределение зубчатого колеса, отсчитываемых от его рабочей оси. Эта погрешность возникает из-за непостоянства радиального расстояния между зубчатым колесом и формирующим его инструментом.

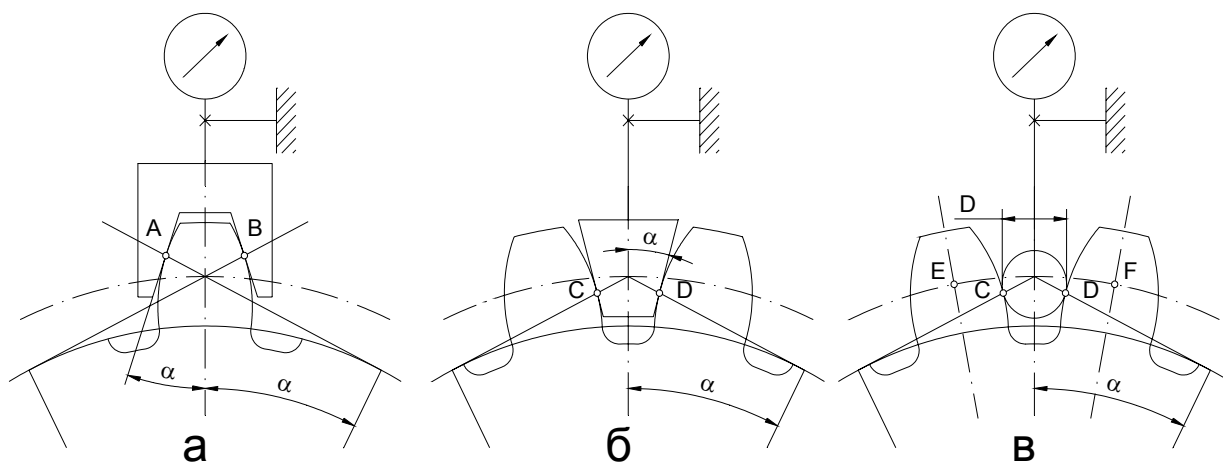


Рис. 8.1. Схемы измерения радиального биения зубчатого венца

Для измерения радиального биения зубчатого венца применяют измерительные приборы (биенимеры), измерительные наконечники которых представляют собой призму (рис. 8.1, а) или усеченный конус (рис. 8.1, б) с углами, равными удвоенному углу зацепления



$2\alpha = 40^\circ$ . В подавляющем большинстве случаев отечественные биенимеры снабжаются набором наконечников, изготовленных в виде усеченного конуса. В этом случае контакт измерительного наконечника с профилями зубьев происходит в точках, соответствующих концам постоянных хорд ( $A$  и  $B$  для призматических наконечников,  $C$  и  $D$  для конических наконечников), что позволяет исключить из результатов измерений радиального биения погрешности, отсчитываемые в тангенциальном направлении. Наряду с призматическими и коническими измерительными наконечниками возможно использование сферических измерительных наконечников диаметром, равным половине проекции шага  $EF = \pi m$  на линию зацепления

$$D = 0,5\pi m \cos \alpha = 0,5\pi m \cos 20^\circ = 1,475m.$$

где  $m$  – модуль зуба,

$z$  – число зубьев,

$\alpha$  – угол зацепления.

Для повышения производительности процесса измерения радиального биения зубчатого венца на кафедре «Технология машиностроения» была предложена схема полуавтоматического прибора.

**Биенимер-полуавтомат** для измерения радиального биения зубчатого венца (рис. 8.2) состоит из корпуса  $15$  с подвижной кареткой  $17$ , устанавливаемой на ней измерительного устройства с преобразователем  $1$  измерительной системы  $10$ . Колесо при проверке устанавливается на конической оправке  $7$  в центрах  $6$  и  $18$ . Поворот колеса  $8$  осуществляется планшайбой измерительного устройства. От двигателя  $12$  планшайба  $4$  получает вращательное движение.

Сферические наконечники  $5$ , вращаясь вместе с планшайбой, осуществляют поворот колеса на один угловой шаг, входя в зацепление с контролируемым колесом. Палец  $13$ , жестко связанный с кареткой  $3$ , укрепленной на пружинных направляющих, контактирует со сферическими измерительными наконечниками, под действием усилия, создаваемого пружиной  $2$ . Двигатель с планшайбой имеет возможность поступательно перемещаться в радиальном направлении

зубчатого колеса, так как он жестко связан с кареткой 16, установленной на плоских пружинных направляющих. Пружина 11 обеспечивает постоянный беззазорный контакт сферического измерительного наконечника 5 с профилем зубьев колеса при его повороте. Перемещение измерительного наконечника передается каретке 3 посредством жестко связанного с ней пальца 13 и через преобразователь 1 электронного блока 10 регистрируется на самописце 14 в виде пилообразной диаграммы (рис. 8.2), у которой наибольшее расстояние между вершинами *A* и *B* при установленной цене деления определяет величину радиального биения зубчатого венца. В работе используется индуктивная измерительная система 76503 с ценой деления 1 мкм.

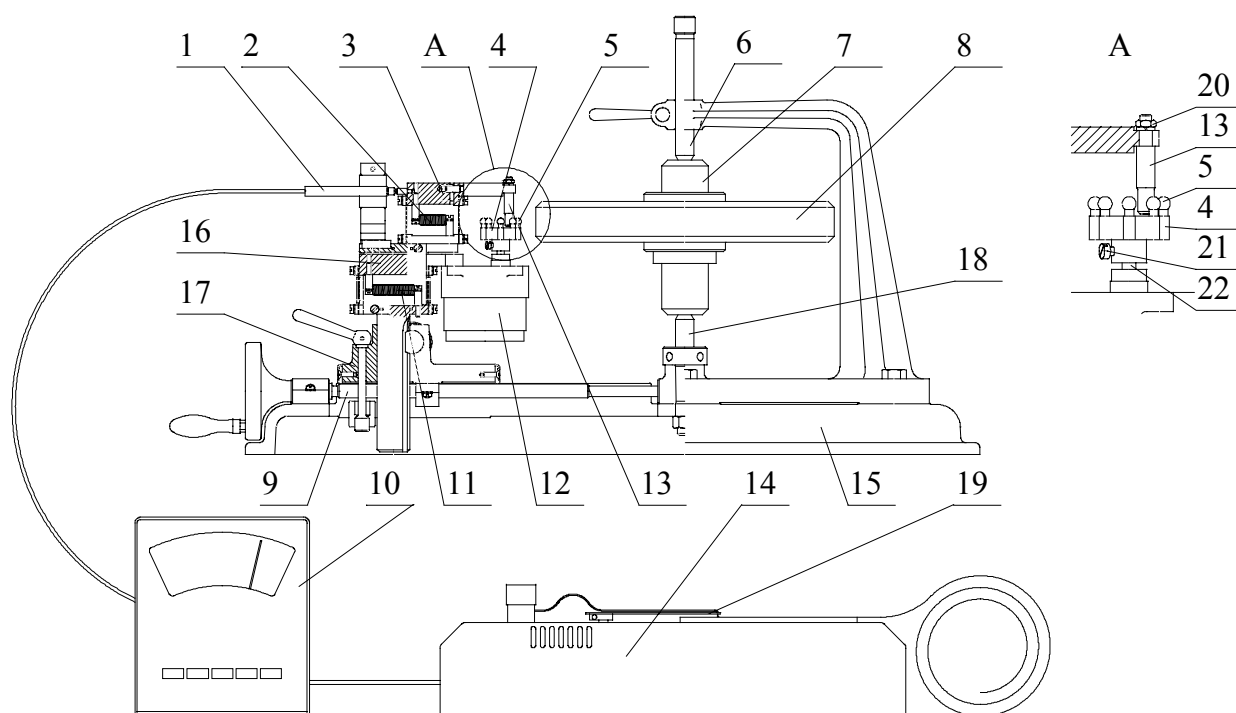


Рис. 8.2. Биениемер-полуавтомат

## Последовательность выполнения работы

1. Определить модуль зуба проверяемого колеса 8. Для этого штангенциркулем измерить диаметр вершин зубьев колеса  $d_a$ , сосчитать число зубьев  $z$  и определить модуль зуба по формуле:

$$m = \frac{d_a}{z + 2},$$

округлив его до ближайшего стандартного значения.

2. Определить диаметр сферического измерительного наконечника по формуле:

$$D = 0,5\pi m \cos 20^\circ \cong 1,475m,$$

и установить планшайбу 4 со сферическими измерительными наконечниками нужного диаметра на вал 22 двигателя 12. Для этого следует сначала ослабить гайку 20, фиксирующую палец 13 и снять его, после чего установить соответствующую планшайбу 4 на вал двигателя и зафиксировать ее винтом 21, установить палец 13, зафиксировав его гайкой 20.

3. Настроить прибор. Для этого установить проверяемое зубчатое колесо 8 на оправку 7 и вместе с ней в центрах 6 и 18. Подвести планшайбу в радиальном направлении к контролируемому колесу вращением винта 9 таким образом, чтобы рабочая поверхность пальца касалась поверхностей сферических измерительных наконечников при нахождении их во впадинах всех зубьев измеряемого зубчатого колеса. При этом измерительное усилие должно создаваться только винтовыми пружинами 2 и 11 (плоские пружинные направляющие не деформированы). Это положение достигается перемещением каретки 17 в направлении измеряемого зубчатого колеса примерно на 0,5 мм (1/4 оборота винта 9) после касания сферическим измерительным наконечником поверхностей впадины зубьев.

Включить блок питания двигателя, электронный блок 10 и самописец 14, установив необходимое увеличение и скорость протяги-

вание ленты. Индуктивный преобразователь следует устанавливать так, чтобы перо самописца 19, при измерении находилось в пределах проградуированного диапазона измерений. Изменение положения индуктивного преобразователя осуществляется вручную.

4. Осуществить измерение радиального биения зубчатого венца на настроенном приборе. Для этого получить диаграмму радиального биения на полном обороте колеса. Используя тонкий пишущий элемент, провести две линии *a* и *b*, параллельные продольной оси диаграммы, проходящие через две наиболее удаленные друг от друга в поперечном направлении вершины диаграммы А и В, как показано на рис. 8.3.

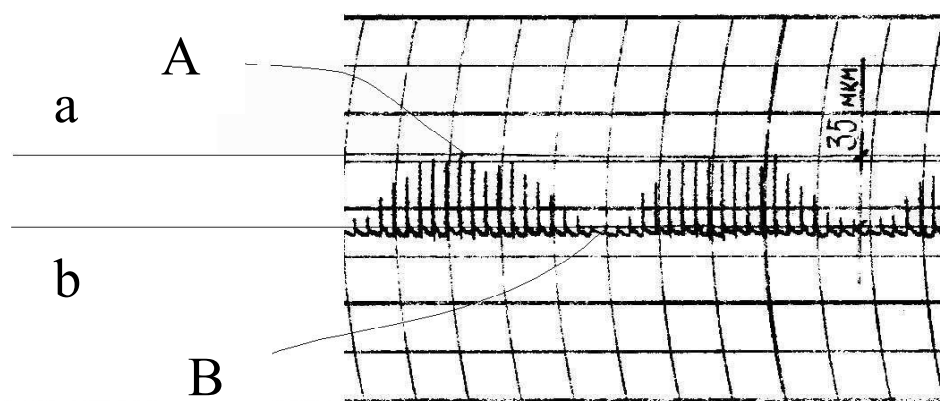


Рис. 8.3. Диаграмма измерения радиального биения зубчатого венца колеса

5. Измерить расстояние между проведенными линиями и определить значение радиального биения зубчатого венца измеряемого колеса с учетом масштаба. Дать заключение о годности зубчатого колеса, сравнив полученный результат с допуском на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$  (см. табл. П4 приложения).

6. Оформить отчет по работе. К отчету приложить диаграмму измерения радиального биения зубчатого венца колеса.

### Форма протокола измерения

Группа	Ф. И. О.		
Работа № 8	Измерение радиального биения зубчатого венца		
Данные о приборе		Данные о детали	
Наименование		Диаметр вершин зубьев	$d_a =$
Цена деления		Диаметр вершин зубьев	$z =$
Масштаб на диаграмме		Модуль	$m =$
		Степень точности	
Схема биениемера-полуавтомата		Диаграмма измерения радиального биения зубчатого венца	
Заключение о годности			

## **Лабораторная работа № 5**

### **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**Цель работы:** знание метода оценки точности измерительной системы применяемой для контроля технологических процессов, умение выполнять оценку точности измерительной системы при контроле партии деталей.

#### **Общие сведения**

Точность обработки, или технологическая точность оценивается степенью соответствия поля рассеивания отклонения реальных размеров от номинальных значений. Под размерами понимают линейные и угловые величины, отклонения формы и взаимного расположения поверхностей.

В зависимости от поставленной задачи различают: технологическую точность процесса изготовления, операционную точность, технологическую точность станков и т. п.

Для конкретного технологического процесса должны определяться характеристики, которые должны измеряться, следовательно, должен быть проведен анализ измерительной системы для этих измерений, чтобы обеспечить эффективность анализа полученных данных. Контроль является частью технологического процесса.

Неточность изготовления зависит от следующих факторов, свойственных процессам изготовления и контроля:

- производственные агрегаты (станки, прессы, литейные машины и т. п.);

- принадлежности и технологические приспособления (патроны, упоры, центра и т. п.);
- обрабатывающий инструмент (резцы, штампы и т. п.);
- заготовки (размеры, твердость, химический состав и т. д.);
- квалификация обслуживающего персонала;
- средства контроля и измерения.

Измеренная величина состоит из истинного значения плюс погрешность измерения, или измеренное значение = истинное значение  $\pm$  погрешность.

**Погрешность измерения** это термин, означающий суммарный эффект всех источников изменчивости измерения, которые заставляют измеренное значение отклоняться от истинного. К сожалению, это соотношение означает, что мы вынуждены принимать решения о качестве изделия, используя информацию (то есть числовые данные), которые содержат дополнительную изменчивость. Полная изменчивость набора данных, соответственно складывается из двух составных частей: полная изменчивость = изменчивость изделий + изменчивость измерений.

При выборе измерительной системы обычно предполагают, что допускаемая погрешность измерительного оборудования (инструментальная погрешность) не превышает одной десятой величины поля допуска измеряемого параметра. Но в полную погрешность измерений входит не только инструментальная погрешность средств измерения, но и другие составляющие погрешности.

Важно чтобы изменчивость измерений мало влияла на оценку изменчивости технологического процесса.

При выполнении лабораторной работы используется метод позволяющий разделить изменчивость измерительной системы на две отдельные компоненты сходимость и воспроизводимость.

Это метод средних и размахов ( $\bar{X}$  и  $R$  иногда называемый «длинным методом») – это математический метод определения сходимости и воспроизводимости измерительной системы. Этот метод позволяет разделить изменчивость измерительной системы на две отдельные компоненты: сходимость и воспроизводимость. Метод средних и размахов не единственный применяемый метод анализа измерительных систем.

**Сходимость** определяется свойствами оборудования, которое используется в процессе измерения.

**Воспроизводимость** характеризует то, как оператор использует измерительное оборудование и как он считывает результаты измерения.

Если сходимость велика по сравнению с воспроизводимостью, то причинами могут быть:

- измерительный прибор требует ремонта;
- прибор должен иметь другое установочное устройство для обеспечения большей неподвижности при закреплении, то есть необходимо улучшить расположение прибора;
- имеется чрезмерная внутренняя изменчивость элементов прибора.

Если воспроизводимость велика по сравнению со сходимостью, тогда возможны следующие причины:

- оператору нужно лучше научиться работать с измерительным оборудованием;
- градуировка шкалы прибора не четкая;
- нужно дополнительное устройство чтобы помочь оператору использовать прибор более одинаково.

Метод средних и размахов предполагает, что другие ключевые атрибуты измерительной системы: точность, линейность и стабильность оценены и считаются приемлемыми, то есть прибор прошел поверку.



## Последовательность выполнения работы

Число операторов, попыток и деталей (заготовок) может быть разным. В табл. 9.1 приведен пример для десяти деталей, трех операторов и трех попыток измерения каждым оператором.

Для анализа измерительной системы необходимо предпринять следующие действия:

1. Подготовьте протокол анализа измерительной системы (табл. 9.1). Обратите внимание, что в приведенном примере используются 10 измеряемых деталей и три оператора. В конкретной лабораторной работе их количество может быть другим.

Десять деталей должны быть случайно выбраны из продолжительного периода технологического процесса. Важно, чтобы детали по возможности полно представляли изменчивость технологического процесса.

2. Обозначьте операторов, проводящих измерения  $A$ ,  $B$  и  $C$  и пронумеруйте измеряемые детали от 1 до 10 так, чтобы номера не были видны операторам.

3. Настройте измерительный прибор. Прибор должен быть установлен на ноль.

3. Пусть оператор  $A$  измерит 10 деталей в случайном порядке и другой наблюдатель внесет результаты в строку 1 табл. 9.1. Пусть операторы  $B$  и  $C$  измеряют те же 10 частей, не видя показаний друг друга. Затем внесите результаты в строки 6 и 11 табл. 9.1 соответственно.

4. Повторите измерения, используя другой случайный порядок измерений. Внесите данные в строки 2, 7 и 12 табл. 5. Запишите данные в соответствующих столбцах. Например, если первой измеренной частью была часть 7, то запишите результат в столбец 7. Если используется три попытки, повторите цикл еще раз и внесите данные в строки 3, 8 и 13 табл. 9.1.

Т а б л и ц а 9.1

Таблица анализа сходимости и воспроизводимости процесса

№	Операторы и попытки	Контрольные единицы										Средние
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	A 1											
2	2											
3	3											
4	Среднее $\bar{X}$											$\bar{X}_A =$
5	Размах R											$\bar{R}_A =$
6	B 1											
7	2											
8	3											
9	Среднее $\bar{X}$											$\bar{X}_B =$
10	Размах R											$\bar{R}_B =$
11	C 1											
12	2											
13	3											
14	Среднее $\bar{X}$											$\bar{X}_C =$
15	Размах R											$\bar{R}_C =$
16	Среднее единиц $\bar{X}_p$											$R_p =$
17	$\bar{R} = [\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C] / N_{on} =$											=
18	$R_{опер} = \text{Max } \bar{X} - \text{Min } \bar{X} =$											=

### Обработка результатов измерений

Вычислите сходимость и воспроизводимость измерительного прибора, для этого выполните следующие расчеты:

1. Вычислите размахи конкретных измерений, то есть вычтите наименьшее показание из наибольшего в строках 1, 2 и 3 табл. 9.1 для каждого столбца и внесите результат в строку 5.

2. Сделайте то же для строк 6, 7, 8 и 11, 12, 13 и внесите результаты в строки 10 и 15 соответственно.

3. Просуммируйте все значения в строке 5 и поделите сумму на число частей, отобранных для получения среднего размаха  $\bar{R}_A$  для попыток оператора А. Сделайте то же для строк 10 и 15, чтобы получить  $\bar{R}_B$  и  $\bar{R}_C$ , для операторов В и С соответственно.

4. Перенесите средние строк 5, 10 и 15 ( $\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$ ) в строку 17. И найдите общий средний размах  $\bar{R}$  по формуле:

$$\bar{R} = [\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C] / N_{\text{оп}},$$

где  $N_{\text{оп}}$  – число операторов.

В случае четырех операторов формула примет вид:

$$\bar{R} = [\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C + \bar{R}_D] / N_{\text{оп}}$$

5. Просуммируйте средние в строках 4, 9 и 14 и поделите сумму на число измеряемых единиц, введите значение в крайне правый столбец «Средние» табл. 9.1.

6. Найдите размах операторов по формуле:

$$R_{\text{ОПЕР}} = \text{Max } \bar{X} - \text{Min } \bar{X},$$

где  $\text{Max } \bar{X}$  – максимальное значение из  $\bar{X}_A, \bar{X}_B$  и  $\bar{X}_C$ ;  $\text{Min } \bar{X}$  – минимальное значение из этих же величин.

7. Просуммируйте измеренные значения для каждой детали строки: 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13 и поделите сумму на число измерений для каждой детали (число попыток, умноженное на число операторов). Внесите результаты в строку 16.

8. Найдите размах для деталей в выборке  $R_p$ , для этого, вычтите наименьшее среднее для детали из наибольшего среднего для детали и на и введите результат на место  $R_p$  в строке 16.

## *Анализ результатов измерений*

Сходимость или вариация оборудования  $V_{\text{ОБОР}}$  определяется умножением общего среднего размаха  $\bar{R}$  на константу  $K_1$ , зависящую от числа попыток, используемых при изучении прибора. При двух попытках  $K_1 = 4,56$ , при трех попытках  $K_1 = 3,05$ .

$$V_{\text{ОБОР}} = K_1 \times \bar{R}.$$

Воспроизводимость или вариация операторов  $V_{\text{ОПЕР}}$  определяется умножением размахов операторов  $R_{\text{ОПЕР}}$  на константу  $K_2$ , которая зависит от числа операторов, участвовавших в изучении прибора. При двух операторах  $K_2 = 3,65$ , при трех операторах  $K_2 = 2,70$ , при четырех операторах  $K_2 = 2,30$ .

Поскольку на вариацию операторов влияет вариация оборудования, она должна быть исправлена вычитанием доли вариации оборудования из общей вариации. Следовательно, вариация оператора вычисляется по формуле:

$$V_{\text{ОПЕР}} = \sqrt{(R_{\text{ОПЕР}} \times K_2)^2 - \frac{(V_{\text{ОБОР}})^2}{n \cdot i}},$$

где  $n$  – число измеряемых деталей и  $i$  – число попыток.

Если под квадратным корнем получается отрицательное значение, то принимаем  $V_{\text{ОПЕР}} = 0$ .

Общая вариация измерительной системы для сходимости и воспроизводимости  $V$  вычисляется суммированием квадратов вариации оборудования и вариации операторов под квадратным корнем:

$$V = \sqrt{(V_{\text{ОПЕР}})^2 + (V_{\text{ОБОР}})^2}.$$

Вариация деталей в измеряемой партии определяется умножением размаха средних  $R_p$ , для измеряемых деталей на константу  $K_3$

зависящую от числа деталей, использованных при изучении прибора. Значение константы  $K_3$  приведены в табл. 9.2.

Т а б л и ц а 9.2

Значение константы  $K_3$

Число деталей в выборке	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_3$	3,65	2,7	2,3	2,08	1,93	1,82	1,74	1,67	1,62

$$PV = R_p \times K_3.$$

Полная вариация измеренных значений  $V_{\text{ПОЛ}}$  определяется суммированием квадратов полной вариации измерительной системы  $V$  и вариации деталей в партии  $PV$ :

$$V_{\text{ПОЛ}} = \sqrt{V^2 + (PV)^2}.$$

Если вариация изготавливаемых изделий известна и основана на  $6\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение деталей в партии, то она может использоваться вместо полной вариации  $V_{\text{ПОЛ}}$ , вычисленной по данным изучения прибора.

Процент вариации оборудования  $\delta_{\text{ОБОР}}$  в % от полной вариации:

$$\delta_{\text{ОБОР}} = 100 \cdot \left[ \frac{V_{\text{ОБОР}}}{V_{\text{ПОЛ}}} \right] \%.$$

Проценты, которые составляют другие факторы:

$$\delta_{\text{ОПЕР}} = 100 \cdot \left[ \frac{V_{\text{ОПЕР}}}{V_{\text{ПОЛ}}} \right],$$

$$\delta_V = 100 \cdot \left[ \frac{V}{V_{\text{ПОЛ}}} \right]$$

где  $\delta_{\text{ОПЕР}}$  – процент вариации операторов;  $\delta_V$  – процент вариации измерительной системы.

Сумма процентов внесенных всеми факторами не будет равна 100%.

Результаты вычисления этих процентов должны показать, приемлема ли измерительная система для данного применения.

Если вместо процентов к вариации процесса применить анализ, основанный на процентах к допуску, то форма отчета о повторяемости, сходимости и воспроизводимости должна быть изменена, так чтобы правая часть представляла % от допуска, вместо % от вариации процесса. В этом случае  $\delta_{\text{ОБОР}}$ ,  $\delta_{\text{ОПЕР}}$  и  $\delta_v$  вычисляются подстановкой значения допуска в знаменатель выражений вместо полной вариации  $V_{\text{ПОЛ}}$ . Эти формулы можно использовать, в случае если величина допуска близка к величине  $6\sigma$ .

Критерием приемлемости измерительной системы является показатель  $\delta_v$ :

если  $\delta_v$  менее 10% – измерительная система полностью приемлема;

если  $\delta_v$  от 10 до 30% – измерительная система может быть приемлема зависимости от важности применения, стоимости системы измерений, стоимости ремонта и т. д.;

если  $\delta_v$  свыше 30% – измерительная система считается неприемлемой при данных условиях, ее необходимо заменить более точной.

## 9. Выполните отчет по работе.

### Форма протокола измерения

Группа	Ф. И. О.		
Работа №	Оценка точности измерительной системы		
Данные о приборе		Данные о детали	
Наименование		Наименование	
Цена деления		Номинальный размер	
Допускаемая погрешность		Допуск	

Табл. 9.1 с результатами измерений и расчетов.

Данные расчетов.

Выводы о годности измерительной системы.

## **Лабораторная работа № 6**

### **ВЫБОР УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ДО 500 мм**

**Цель работы:** знание допускаемых погрешностей и погрешностей измерения различных измерительных средств, умение выбирать конкретные средства измерения по чертежу изделия.

#### **Общие сведения**

Выбор измерительных средств является комплексной задачей, в которой должны участвовать конструкторская, технологическая и метрологические службы в процессе выполнения ими служебных обязанностей.

Средства измерений должны обеспечивать измерения диаметров и длин с погрешностями, не превышающими значений, допускаемых ГОСТ 8.051 – 81.

ГОСТ 8.051 – 81 устанавливает:

- а) значения допускаемых погрешностей,
- б) приемочные границы с учётом допускаемых погрешностей измерений.

Допускаемые погрешности измерений, установленные стандартом, охватывают не только погрешности измерительных средств, но и составляющие от других источников погрешности, оказывающих влияние на погрешности измерения (базирование, температурные деформации и т. д.).

Допускаемые погрешности измерений относятся к случайным и неучтённым систематическим погрешностям измерений, поэтому в стандарте отдельно указано, что случайная часть погрешности не должна превышать 0,6 от нормируемой допускаемой погрешности измерения. Допускаемые значения случайной погрешности



измерения, установленные в стандарте, приняты равными  $\pm 2\sigma$ , и нормируются вне зависимости от способа измерения размеров диаметров и длин при приёмочном контроле.

Приёмочные границы, то есть значения размеров, по которым производится приёмка изделий, следует устанавливать с учётом влияния допускаемой погрешности измерений. В связи с этим при нахождении допуска на изготовление необходимо учитывать не только эксплуатационные условия работы и возможности технологического процесса, но и возможные погрешности измерений. Другими словами, допуск на размер следует рассматривать, как допуск на сумму погрешностей технологического процесса, которые не дают возможности получить абсолютно точное значение размера, в том числе и из-за погрешности измерений.

Конструкторская служба участвует в выборе измерительных средств только правильным назначением допускаемых отклонений на размер детали с учётом погрешности измерений.

Технолог, получив техническую документацию, проводит анализ точности размеров и совместно с конструктором дополнительно корректирует назначенные допуски и принимают пределы допускаемых погрешностей измерения исходя из наиболее экономичных технологических процессов.

Метролог выбирает конкретное измерительное средство с учётом условий измерения, оценивает степень их влияния и определяет возможные предельные погрешности при существующих условиях, а также их допустимость с точки зрения выполнения требований ГОСТ 8.051 – 81.

### **Выбор универсальных средств измерения**

В настоящей работе предусматривается выбор конкретных средств измерений линейных размеров (диаметров и длин) и от-

клонений взаимного расположения (торцевого и радиального биения) по чертежу детали, который выдаётся преподавателем. Для облегчения этой работы в пособии приводятся таблицы составленные на основе РД 50 – 98 – 86. В табл. 11.1 приведены допускаемые погрешности измерений станковыми измерительными приборами и номера средств измерений, выбираемых по табл. 11.6 в зависимости от интервала размеров и, необходимо заметить, что станковые средства измерения применяются в лабораторных условиях и на них рекомендуется измерять только очень точные изделия. В табл. 11.2 приведены допускаемые погрешности измерений и номера средств измерений, выбираемых по табл. 11.6 при использовании накладных средств измерений. В табл. 11.3 приведены допускаемые погрешности измерений и номера средств измерения по табл. 11.7 при измерении внутренних размеров. В табл. 11.4 приведены допускаемые погрешности измерений и номера средств измерения выбираемых по табл. 11.6 при измерении глубин и уступов универсальными средствами измерения. В табл. 11.5 приведены допускаемые погрешности и номера средств измерения выбираемых по табл. 11.6 при измерении радиального и торцевого биения поверхностей. В табл. 11.6 приведены средства измерения и случаи их применения, а также варианты их использования, номера этих средств и приведены во всех предыдущих таблицах в зависимости от допустимой погрешности измерения. В табл. 11.7 приведены средства измерения и случаи их применения, а также варианты их использования при измерении внутренних размеров, номера этих средств приведены в табл. 11.3.

Т а б л и ц а 11.1

**Измерение наружных размеров станковыми  
средствами измерений**

Диапазоны Номинальных размеров, мм	Квалитеты						
	5	6	7	8	9	10	11
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм						
До 3	1, 4/4	1, 8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60
	9б, 10б 15б, 16а 21а, 22а 25а, 30а 33а, 34а 36б	9б, 10б 15а, 20б 21а, 25а 30а, 33а 34а, 36б	9а, 10а 11в, 12а 15а, 20а 32а, 36а	9а, 10а 11в, 12а 14б, 15а 20а, 32а 36а	7д, и, 9а 11а, 12а 13а, 14а 31,	7г, 11а 13а, 32б 35б	7б, е, 13а, 35б
Св. 3 до 6	1, 6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75
	9б, 10б 15а, 20б 21а, 25а 30а, 33а 34а, 36б	9б, 10а 12б, 15а 20б, 21а 30б, 33а 34а, 36б	9а, 10а 11в, 12а 14б, 15а 20а, 32а 36а	7к, 9а 10а, 11в 12а, 13б 14б, 20а 31, 32а 32в, 36а	7г, а, 11 13а, 14а 31, 32б 35б	7в, 11а 13а, 14а 32б, 35б	7а, е, 35а
Св. 6 до 10	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90
	9б, 10б 15а, 20б 21а, 30а 33а, 34а 36б	9б, 10а 15а, 20б 21а, 30а 33а, 34а 36б	7к, 9а 10а, 11в 12а, 13б 14б, 20а 31, 32а 36а	7д, 9а 11а, 12а 13б, 14а 20а, 31 32а, 36а	7г, 11а 13а, 14а 32б	7б, 13а 35б	7а, 35а
Св. 10 до 18	2, 8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/ 110
	9б, 10а 15а, 20б 21а, 34а 36б	9б, 10а 12а, 14б 15а, 20а 21а, 34в 34а, 36а	7д, 9а 11б, 12а 13б, 14а 20а, 31 32а, 36а	7д, 9а 11а, 13а 14а, 31 32а, 35в	7д, 11а 13а, 14а 32б, 35б	7б, 13а 35б	7а, 35а
Св. 18 до 30	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/ 130
	9б, 10а 12а, 14б 15а, 20б 21а, 32в 34а, 36а	7к, 9а 10а, 11в 12а, 14б 20а, 32а 34а, 36а	7д, 9а 11а, 12а 13б, 14а 20а, 31 32а, в	7г, 11а 13а, 14а 31, 32а 35в	7в, 11а 13а, 32б 35б	7а, 35а	--

Таблица 11.1. Продолжение

Диапазоны Номинальных размеров, мм	Квалитеты						
	5	6	7	8	9	10	11
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм						
Св. 30 до 50	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/ 160
	7к, 9а 10а, 11б 12а, 14б 15а, 20а 32а, 34а	7д, 9а 11б, 12а 13б, 14б 20а, 31 32а, 36а	7д, и, 9а 11а, 13а 14а, 31 32а, б, 35б	7в, 11а 13а, 14а 31, 32б 35б	7а, 35а	7а, 35а	
	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/ 190
	9а, 10а 11в, 12а 14б, 15а 20а, 21а 32в, 34а 36а	7к, 9а 11б, 12а 13б, 14б 20а, 32б 34а, 36а	7г, 11а 13а, 14а 31, 32а 35в	7в, ж, 11а, 13а 14а, 31 32б, 35б	7а, 35а	7а, 35б	
	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/ 220
Св. 80 до 120	7к, 9а 10а, 11в 12а, 14б 15а, 20а 32в, 34а 36а	7д, 9а 11б, 12а 13б, 14б 20а, 32в 34а, 36а	7г, а, 11а, 13а 14а, 31 32а, б, в, 35б	7в, ж 11а, 13а 14а, 31 32а, б 35б	7а, 11а 13а, 35а	7а, 35а	--
	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/ 250
	7д, 9а 11в, 12а 13б, 14в 20а, 33а 36а	7д, и, 9а 11б, 13б 14б, 20а	7в, ж 11а, 13а 14а, 31 32а	7в, е 11а, 13а 14а, 31 32а	7а	7а	--
	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/ 290
	7д, 9а 12а, 20а 33а, 36а	7д, и, 9а 11б, 12а 20а	7г, а, 9а 11а, 32а	7в, е 11а, 32а	7а	7а	--
Св. 250 до 315	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/ 320
	7к, 20а 21а, 33а 36а	7г, 20а	7г, а 20а	7в, е 32а	7в, е 32а	7а	--
	9/25	10/26	16/57	24/89	40/140	50/230	80/ 360
Св. 315 до 400	7д, 20а 21а, 33а	7д, и 20а, 33а	7г, а 20а	7в, е 32а	7а, 32а	7а	--

Т а б л и ц а 11.2

**Измерение наружных размеров накладными средствами измерения**

Диапазон номинальных размеров, мм	Квалитеты				
	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм				
До 3	1, 4/4	1, 8/6	3/10	3/14	6/25
	6г	6г	6в	6в	4в, 5в, 6а
Св. 3 до 6	1, 6/5	2/8	3/12	4/18	8/30
	6г	6в	6в	6а	4а, 5в, 6а
Св. 6 до 10	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36
	6в	6в	6а	4а, 5г, 6а	4а, 5в
Св. 10 до 18	2, 8/8	3/11	5/18	7/27	10/43
	6в	6в	4а, 5г, 6а	4а, 5в, 6а	4а, 5б
Св. 18 до 30	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52
	6в	6а, в	4а, 5г, 6а	4а, 5в, 6а	4а, 5б, 6а
Св. 30 до 50	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62
	6в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6а	4а, 5б, 6а	4а, 5а
Св. 50 до 80	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74
	6в	4б, 5г, 6в	4б, 5в, 6б	4а, 5б, 6а	4а, 5а, 6а
Св. 80 до 120	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87
	4б, 6б, в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б	4а, 5а, 6а
Св. 120 до 180	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100
	5г, 6а	5в, 6б	4б, 5б, 6б	4б, 5б, 6а	4а, 5а, 6а
Св. 180 до 250	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115
	5г, 6б	5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5б, 6а
Св. 250 до 315	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130
	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4в, 5в, 6б	4а, 5б, 6б
Св. 315 до 400	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140
	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5б, 6а

Таблица 11.2. Продолжение

Диапазон Номинальных размеров, мм	Квалитеты				
	10	11	12	13	14
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм				
До 3	8/40	12/60	30/100	30/140	50/250
	4а, 5в, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а
Св. 3 до 6	10/48	16/75	30/180	40/180	60/300
	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а
Св. 6 до 10	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360
	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а
Св. 10 до 18	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430
	4а, 5а	4а	4а	4а	4а
Св. 18 до 30	18/84	30/130	50/220	80/330	120/520
	4а, 5а	4а	4а	4а	3
Св. 30 до 50	20/100	40/160	50/250	80/390	140/620
	4а, 5а	4а	4а	4а	3
Св. 50 до 80	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740
	4а, 5а	4а	4а	3	3
Св. 80 до 120	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870
	4а, 5а	4а	4а	3	3
Св. 120 до 180	40/140	50/250	80/400	140/630	200/1000
	4а, 5а	4а	4а	3, 4а	2, 4а
Св. 180 до 250	40/185	60/290	100/460	160/720	240/1150
	4а, 5а, 6а	4а, 5а	3, 4а	3, 4а	3, 4а
Св. 250 до 315	50/210	70/320	120/520	180/810	260/1300
	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	2, 4а
Св. 315 до 400	50/230	80/360	120/570	180/890	280/1400
	4а, 5а, 6а	4а, 5а, 6а	4а	4а	2, 4а

Т а б л и ц а 11.3

## Измерение внутренних размеров

Диапазон номинальных размеров, мм	Квалитеты				
	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм				
До 3	1, 4/4	1, 8/6	3/10	3/14	6/25
	14	14	14	14	12
Св. 3 до 6	1, 6/5	2/8	3/12	4/18	8/30
	7В, 9Д	7В, 9Г	6Б, 7а, 9а	7а, 9а	9а, 11, 12
Св. 6 до 10	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36
	7В, 9Д	7В, 9Г	6Б, 7а, 9а	5В, 6а, 12	5В, 6а, 12
Св. 10 до 18	2, 8/8	3/11	5/18	7/27	10/43
	7Б, 8а, 9В	6Б, 7Б, 9Б	5В, 6а, 12	5В, 6а, 12	5Б, 9а, 12
Св. 18 до 30	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52
	7Б, 8а, 9В	6Б, 7Б, 9Б	5В, 6а, 12	5В, 6а, 12	5Б, 11
Св. 30 до 50	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62
	6Б, 7Б, 9Б	5В, 6Б, 7а	5В, 6а, 12	5Б, 9а, 12	5Б, 11
Св. 50 до 80	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74
	8а, 9Б	6Б, 8а, 9а	6а, 9а, 12	4Б, 5В, 12	4а, 5Б, 11
Св. 80 до 120	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87
	6Б, 8а, 9а	6Б, 9а	4Б, 6а, 12	4Б, 6а, 12	4а, 5Б, 11
Св. 120 до 180	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100
	8а	6а, 8а, 12	6а, 11, 12	4Б, 5Б, 12	4а, 5а, 12
Св. 180 до 250	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115
	6а, 8а, 12	6а, 8а, 12	6а, 12	4Б, 5Б, 12	4а, 5а, 12
Св. 250 до 315	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130
	--	6Б, 8а	6а, 8а	4В, 5Б	4а, 5а
Св. 315 до 400	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140
	8а	6Б, 8а	6а, 8а	4Б, 5Б	4а, 5а

Таблица 11.2. Продолжение

Диапазон Номинальных размеров, мм	Квалитеты				
	10	11	12	13	14
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм				
До 3	8/40	12/60	30/100	30/140	50/250
	11,12	11	11	11	11
Св. 3 до 6	10/48	16/75	30/180	40/180	60/300
	9a, 11, 12	11	11	11	11
Св. 6 до 10	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360
	5б, 11	5a, 11	5a, 11	5a, 11	5a, 11
Св. 10 до 18	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430
	5б, 11	5a, 11	5a, 11	5a, 11	5a, 11
Св. 18 до 30	18/84	30/130	50/220	80/330	120/520
	5б, 11	5a, 11	5a, 11	5a, 11	3
Св. 30 до 50	20/100	40/160	50/250	80/390	140/620
	5a, 11	5a, 11	5a, 11	5a, 11	2
Св. 50 до 80	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740
	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11
Св. 80 до 120	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870
	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11	4a, 5a, 11
Св. 120 до 180	40/140	50/250	80/400	140/630	200/1000
	4a, 5a, 12	4a, 5a, 12	4a, 5a, 12	4a, 5a, 12	3
Св. 180 до 250	40/185	60/290	100/460	160/720	240/1150
	4a, 5a, 12	4a, 5a, 12	4a, 5a, 12	4a, 5a, 12	3
Св. 250 до 315	50/210	70/320	120/520	180/810	260/1300
	4a, 5a	4a, 5a	4a, 5a	4a, 5a	3
Св. 315 до 400	50/230	80/360	120/570	180/890	280/1400
	4a, 5a	4a, 5a	4a, 5a	4a, 5a	3



Т а б л и ц а 11.4

**Измерение глубин и уступов универсальными средствами**

Диапазон номинальных размеров, мм	Квалитеты				
	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм				
До 3	1, 4/4	1, 8/6	3/10	3/14	6/25
	40б	40а	40а	40а	38б, 39б
Св. 3 до 6	1, 6/5	2/8	3/12	4/18	8/30
	40а	40а	39в	39в	38б, 39в
Св. 6 до 10	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36
	40а	40а	39в	39в	38б, 39б
Св. 10 до 18	2, 8/8	3/11	5/18	7/27	10/43
	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б
Св. 18 до 30	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52
	40а	40а	38б, 39в	38б, 39в	38б, 39б
Св. 30 до 50	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62
	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39а
Св. 50 до 80	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74
	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39а
Св. 80 до 120	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87
	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38а, 39а
Св. 120 до 180	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100
	40а	40а	38б, 39б	38б, 39б	38а, 39а
Св. 180 до 250	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115
	--	--	--	--	--
Св. 250 до 315	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130
	--	--	--	--	--
Св. 315 до 400	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140
	--	--	--	--	--

Таблица 11.4 Продолжение

Диапазон Номиналь- ных разме- ров, мм	Квалитеты				
	10	11	12	13	14
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуск, мкм				
До 3	$\frac{8/40}{38\text{б}, 39\text{б}}$	$\frac{12/60}{38\text{б}, 39\text{б}}$	$\frac{30/100}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{30/140}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{50/250}{38\text{а}, 39\text{а}}$
Св. 3 до 6	$\frac{10/48}{38\text{б}, 39\text{б}}$	$\frac{16/75}{38\text{б}, 39\text{а}}$	$\frac{30/180}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{40/180}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{60/300}{38\text{а}, 39\text{а}}$
Св. 6 до 10	$\frac{12/58}{38\text{б}, 39\text{б}}$	$\frac{18/90}{38\text{б}, 39\text{а}}$	$\frac{30/150}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{50/220}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{80/360}{38\text{а}, 39\text{а}}$
Св. 10 до 18	$\frac{14/70}{38\text{б}, 39\text{б}}$	$\frac{30/110}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{40/180}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{60/270}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{90/430}{38\text{а}, 39\text{а}}$
Св. 18 до 30	$\frac{18/84}{38\text{б}, 39\text{а}}$	$\frac{30/130}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{50/220}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{80/330}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{120/520}{37}$
Св. 30 до 50	$\frac{20/100}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{40/160}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{50/250}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{80/390}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{140/620}{37}$
Св. 50 до 80	$\frac{30/120}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{40/190}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{60/300}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{100/460}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{160/740}{37}$
Св. 80 до 120	$\frac{30/140}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{50/220}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{70/350}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{120/540}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{180/870}{37}$
Св. 120 до 180	$\frac{40/140}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{50/250}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{80/400}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{140/630}{38\text{а}, 39\text{а}}$	$\frac{200/1000}{37}$
Св. 180 до 250	$\frac{40/185}{--}$	$\frac{60/290}{--}$	$\frac{100/460}{--}$	$\frac{160/720}{37}$	$\frac{240/1150}{37}$
Св. 250 до 315	$\frac{50/210}{--}$	$\frac{70/320}{--}$	$\frac{120/520}{--}$	$\frac{180/810}{37}$	$\frac{260/1300}{37}$
Св. 315 до 400	$\frac{50/230}{--}$	$\frac{80/360}{--}$	$\frac{120/570}{--}$	$\frac{180/890}{37}$	$\frac{280/1400}{37}$

Т а б л и ц а 11.5

## Измерение радиального и торцового биения поверхностей

Допуск Мкм	Допускаемая погрешность измерения мкм	Диапазон диаметров измеряемых поверхностей, мм			
		До 50	50 – 80	80 – 160	160 – 250
		Средства измерения по табл. 12			
1	0,35	17Г, 18В, 22Д 24Г, 26Г, 27В 36У	17Г, 18В, 22Д 24Г, 26Г, 27В 36У	--	--
1,2	0,40	17В, 18В, 22Г 23В, 24В, 25Г 26В, 27В, 36У	17В, 18В, 23В 24В, 25Г, 26В 27В, 36У	17В, 18В, 22Д 23В, 24Г, 25Г 26В, 27В, 36У	--
1,6	0,60	16Г, 17В, 21Д 22В, 23Б, 24В 25Г, 29Г, 36Т	16В, 17В, 21Д 22В, 23Б, 25Г 26В, 29Г, 36Т	16В, 17В, 21Д 22В, 23Б, 25Г 26В, 29Г, 36Т	--
2	0,70	16Г, 17В, 21Д 22В, 23Б, 24В 25Г, 29Г, 36Т	16В, 17В, 21Д 22В, 23Б, 25Г 26В, 29Г, 36Т	16В, 17В, 21Д 22В, 23Б, 25Г 26В, 29Г, 36Т	22Г, 23Б, 24В 36Т
2,5	0,90	10В, 16В, 21Г 22В, 23Б, 25В 29Г, 36Т	10В, 16В, 21Г 22В, 23Б, 25В 29Г, 36Т	16В, 21Д, 22В 23Б, 24В, 25В 29Г, 36Т	21Д, Ж, 22В 23Б, 24В, 36Т
3	1	10В, 15Г, 16В 21Г, 22В, 23Б 29В, 36Т	10В, 15Г, 16В 21Г, 22В, 23Б 29В, 36Т	15Г, 16В, 21Г 22В, 23Б, 24В 29В, 36Т	21Д, Ж, 22В 23Б, 24В, 36Т
4	1,4	9В, 10В, 15Г 16В, 21В, 29В 36С	9В, 10В, 15Г 16В, 21В, 29В 36С	10В, 15Г, 16В 21В, 22В, 23Б 29В, 36С	10В, 21В, Е 22В, 23Б, 36С
5	1,8	9В, 10В, 15В 20Г, 21В, Е 29В, 36С	9В, 10В, 15В 20Г, 21В, Е 29В, 36С	9В, 10В, 15В 20Г, 21В, Е 29В, 36С	9В, 10В, 20Г 21В, Е, 36С
6	2	9В, 10В, 11Е 12Г, 15В, 20В 21В, 29Б, 36С	9В, 10В, 11Е 12Г, 15В, 20В 21В, 29Б, 36С	9В, 10В, 11Е 12Г, 15В, 20В 21В, 29Б, 36С	9В, 10В, 20Г 21В, Е, 36С
8	3	9В, 10В, 11Е 14Г, 15В, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 11Е 14Г, 15В, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 11Е 14Г, 15В, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 12В 20В, 36Р
10	3,5	9В, 10В, 11Е 12В, 14Г, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 11Е 12В, 14Г, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 11Е 12В, 14Г, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 12В 20В, 36Р
12	4	9В, 10В, 12В 13Г, 14В, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 12В 13Г, 14В, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 12В 13Г, 14В, 20В 29А, 36Р	9В, 10В, 12В 36Р

Таблица 11.5 Продолжение

Допуск мкм	Допускаемая погрешность измерения мкм	Диапазон диаметров измеряемых поверхностей, мм			
		До 50	50 – 80	80 – 160	160 - 250
		Средства измерения по табл. 12			
16	6	7р, х, 9в, 10в 11г, 12в, 13в 14в, 29а	7р, х, 9в, 10в 11г, 12в, 13в 14в, 29а	7р, х, 9в, 10в 11г, 12в, 13в 14в, 29а	7р, х, 9в, 10в 11г, 12в
20	7	7р, х, 9в, 10в 11г, 13в, 14в	7р, х, 9в, 10в 11г, 13в, 14в	7р, х, 9в, 10в 11г, 13в, 14в	7р, х, 9в, 10в 11г
25	9	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г
30	9	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г
40	12	7п, 8б, 11г 13в	7п, 8б, 11г 13в	7п, 8б, 11г 13в	7п, 8б, 11г
50	15	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
60	18	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
80	20	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
100	25	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
120	30	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
160	40	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
200	50	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
250	50	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
300	60	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
400	80	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
500	100	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
600	120	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
800	160	7с	7с	7с	7с
1000	200	7н	7н	7н	7н

## Средства измерения наружных линейных размеров и биений

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования		
1	Линейка измерительная металлическая с ценой деления 1 мм	Для диапазона размеров до 500 мм		
2	Штангенциркули (ШЦ – I, ШЦТ – I, ШЦ – II, ШЦ – III) с отсчётом по нониусу 0,1 мм	Для диапазона размеров до 500 мм		
3	Штангенциркули (ШЦ – II, ШЦ – III) с отсчётом по нониусу 0,05 мм	Для диапазона размеров до 250 мм		
4	Микрометры гладкие (МК) с ценой деления 0,01 при настройке на нуль по установочной мере	а) Микрометры находятся в руках б) Микрометры находятся в стойке		
5	Скобы индикаторные (СИ) с ценой деления 0,01 мм		Вид контакта	Класс используемых концевых мер
		а)	любой	5
		б)	любой	4
		в)	плоскостный	4
		г)	плоскостный и линейчатый	3
6	Микрометры рычажные (МР и МРИ) с ценой деления 0,002 мм и 0,01 мм при установке на нуль по установочной мере и скобы рычажные (СР) с ценой деления 0,002 мм при настройке на нуль по концевым мерам длины при использовании на всём пределе измерения, класс применяемых концевых мер 3	а) При работе меры находятся в руках  б) При работе приборы находятся в стойке или обеспечивается надёжная теплоизоляция от рук оператора		
	То же при настройке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчёта на $\pm 10$ делениях шкалы	в) Вид контакта плоскостный и линейчатый		
	То же при настройке на нуль по концевым мерам длины, использовании отсчёта на $\pm (1 - 2)$ делениях шкалы и четырёхкратном измерении, класс мер 1	г) Вид контакта плоскостный и линейчатый		

Таблица 11.6 Продолжение

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования	
7	Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1		Используемое перемещение измерительного стержня, мм
		а)	10
		б)	5
		в)	2
		г)	1
		д)	0,1
	То же класс точности 0	е)	10
		ж)	5
		з)	2
		и)	1
		к)	0,1
7	Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1, при измерении биений	л)	10
		м)	5
		н)	2
		о)	1
		п)	0,1
		р)	0,02
	То же класс точности 0	с)	10
		т)	5
8	Индикаторы рычажно-зубчатые (ИРБ и ИРТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0,8 мм при измерении биения	у)	2
		ф)	1
		х)	0,1
		а)	Предел измерения 0,8 мм
		б)	Предел измерения 0,1 мм
		в)	Предел измерения 0,01 мм
	Головки рычажно-зубчатые (2ИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,1$ мм, с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	а) Установка в штативы	
		б) Установка в стойке	
9	То же нулевое деление		

Таблица 11.6 продолжение

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования	
9	Головки рычажно-зубчатые (2ИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,1$ мм, при измерении биений	а) Установка в штативы	
10	Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм, с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	а) Установка в штативы	
	То же с настройкой на нулевое деление	б) Установка в стойки, используемое перемещение $\pm 0,05$ мм	
	Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм, при измерении биений	в) Установка в штативы, используемое перемещение 0,02 мм	
11	Индикаторы многооборотные (2МИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм		Используемое перемещение, мм
		а)	2
		б)	1
		в)	0,4
	То же при измерении биений	г)	2
		д)	1
		е)	0,05
12	Индикаторы многооборотные (1МИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм	а)	1
		б)	0,2
	То же при измерении биений	в) г)	1 0,05
13	Головки измерительные пружинные (10ИГП, 10ИГПГ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения $\pm 0,3$ мм	а)	$\pm 0,3$
		б)	0,3
	То же при измерении биений	в) г)	$\pm 0,3$ 0,3
14	Головки измерительные пружинные (5ИГП, 5ИГПГ) с ценой деления 0,005 мм и пределом измерения $\pm 0,15$	а)	$\pm 0,15$
		б)	0,15

Таблица 11.6 продолжение

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования	
		В) Г)	
14	То же при измерении биений	В) Г)	$\pm 0,15$ 0,15
15	Головки измерительные пружинные (2ИГП, 2ИГПГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,06$ мм	а) б)	$\pm 0,06$ 0,06
	То же при измерении биений	В) Г)	$\pm 0,06$ 0,06
16	Головки измерительные пружинные (1ИГП, 1ИГПГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,03$ мм	а) б)	$\pm 0,03$ 0,03
	То же при измерении биений	В) Г)	$\pm 0,03$ 0,03
17	Головки измерительные пружинные (05ИГП) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения $\pm 0,015$ мм	а) б)	$\pm 0,015$ 0,015
	То же при измерении биений	В) Г)	$\pm 0,015$ 0,015
18	Головки измерительные пружинные (02ИГП) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения $\pm 0,006$ мм	а) б)	$\pm 0,006$ 0,006
	То же при измерении биений	В) Г)	$\pm 0,006$ 0,006
19	Головки измерительные пружинные (01ИГП) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения $\pm 0,004$ мм	а) б)	$\pm 0,004$ 0,003
	То же при измерении биений	В) Г)	$\pm 0,004$ 0,003
20	Головки измерительные пружинные малогабаритные (2ИПМ) с ценой деления 0,002 мм и пределами измерения $\pm 0,1$ мм	а) б)	$\pm 0,1$ 0,06
	То же при измерении биений	В) Г)	$\pm 0,1$ 0,06



Таблица 11.6 продолжение

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования	
			Используемое перемещение, мм
21	Головки измерительные пружинные малогабаритные (1ИПМ) с ценой деления 0,001 мм и пределами измерения $\pm 0,05$ мм	а) б)	$\pm 0,05$ 0,03
	То же при измерении биений	в) г) д)	$\pm 0,05$ 0,03 Установка в стойки
	То же при измерении биений с уменьшенным измерительным усилием 1ИПМУ	е) ж)	$\pm 0,05$ 0,03
22	Головки измерительные пружинные малогабаритные с нормальным измерительным усилием (05ИПМ) с ценой деления 0,0005 мм и пределами измерения $\pm 0,025$ мм	а) б)	$\pm 0,025$ 0,015
	То же при измерении биений	в) г) д)	$\pm 0,025$ 0,015 Установка в стойки
23	Головки измерительные пружинные малогабаритные с уменьшенным измерительным усилием (05ИПМУ) с ценой деления 0,0005 мм и пределами измерения $\pm 0,025$ мм	а)	$\pm 0,025$
	То же при измерении биений	б) в)	$\pm 0,025$ 0,015
24	Головки измерительные пружинные малогабаритные (02ИПМ и 02ИПМУ) с ценой деления 0,0002 и пределами измерения 0,01 мм	а) б)	$\pm 0,01$ 0,006
	То же при измерении биений	в) г) д)	$\pm 0,01$ 0,006 Установка в стойки
25	Головки измерительные пружинно-оптические (1П) с ценой деления 0,001 мм и пределами измерения 0,025 мм	а) б)	$\pm 0,1$ 0,1

Таблица 11.6 продолжение

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования		
25	То же при измерении биений	в) г)	Используемое перемещение, мм	
			$\pm 0,1$ 0,1	
26	Головки измерительные пружинно-оптические (05П) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения 0,1 мм	а) б)	$\pm 0,05$ 0,05	
	То же при измерении биений	в) г)	$\pm 0,05$ 0,05	
27	Головки измерительные пружинно-оптические (02П) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения 0,02 мм	а) б)	$\pm 0,02$ 0,02	
	То же при измерении биений	в) г)	$\pm 0,02$ 0,02	
28	Головки измерительные пружинно-оптические (01П) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения 0,024 мм	а) б)	$\pm 0,01$ 0,01	
	То же при измерении биений	в) г)	$\pm 0,01$ 0,01	
29	Головки измерительные рычажно-пружинные с ценой деления 0,001 (0,002) мм и пределом измерения 0,04 (0,08) мм при измерении биений. Положение головки горизонтальное, шкалой вверх	а) б) в) г)	Цена деления	Предел измерения
			2 мкм	0,08 мм
			2 мкм	0,04 мм
			1 мкм	0,04 мм
			1 мкм	0,02 мм
30	Оптиметр вертикальный, оптиметр горизонтальный, машина измерительная (ИЗМ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения по шкале 0,1 мм, при измерении методом сравнения с мерой	а) б)	Используемое перемещение, мм	
			$\pm 0,1$ $\pm 0,06$	
31	Микроскопы инструментальные (большая и малая модели)	Пределы измерения малой модели: 75×25 мм, большой модели 150×50 мм		

Таблица 11.6 продолжение

№	Наименование и случаи Применения	Варианты использования			
32	Микроскопы измерительные уни- версальные	а) б) в)	Форма детали	Метод измерения	
			Плоская	Проекционный	
			Цилиндриче- ская	Проекционный Осевого сечения	
33	Машина измерительная (ИЗМ) при абсолютных измерениях	а)			
	То же при относительных измере- ниях	б)			
34	Длинномеры: горизонтальный и вертикальный при абсолютных измерениях	а)			
	При относительных измерениях	б)			
35	Проекторы измерительные	а) Увеличение 10 крат б) Увеличение 20 крат в) Увеличение 50, 100, 200 крат			
36	Приборы показывающие с индук- тивным преобразователем с пере- менной ценой деления: 0,1; 0,2; 0,5; 1 и 2 мкм и пределами измерения ± 3, ± 6, ± 15, ± 30 и ± 60 мкм при работе с одним преобразователем	а) б) в) г) д) е) ж) з) и) к) л) м) н) о) п)	Установка	Класс КМД	Цена деления мкм
			Штативы	2	2,0
				2	1,0
				2	0,5
				2	0,2
			Штативы	1	2,0
				1	1,0
				1	0,5
				1	0,2
			Стойки	1	1,0
				1	0,5
				1	0,2
				1	0,1
			Стойки	2 раз.	0,5
				2 раз.	0,2
				2 раз.	0,1

Таблица 11.6 продолжение

№	Наименование и случаи Применения	Варианты использования			
36	То же при измерении биений	р) с) т) у) ф) х) ц)	Установка	Класс КМД	Цена деле- ния мкм
			Штативы		2,0
					1,0
					0,5
		Стойки		0,2	
				0,1	
				0,2	
37	Штангенглубиномер (ШГ) с отсчё- том по нониусу 0,05 мм				
38	Глубиномеры микрометрические (ГМ) при абсолютном методе из- мерения	а)			
	То же при измерении с настрой- кой по установочным мерам	б)			
39	Глубиномеры индикаторные (ГИ) с настройкой по установочной мере	а)	Используемое перемещение, мм		
	10				
	То же с настройкой по концевым мерам длины	б) в)	0,1 0,02		
40	Глубиномеры индикаторные (ГИ) при замене отсчётного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 мм и измерении с настройкой по блокам концевых мер длины				
	То же при четырёхкратном изме- рении с переборкой блока при каждом измерении				

Примечания: Штативы при измерении до 250 мм с диаметром колонны 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш – 11Н, ШМ – 11Н), свыше 250 мм штативы с диаметром колонны не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш – 11В, ШМ – 11В); стойки с пределами измерений 0 – 160 мм и 0 – 100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С – II и С – III).

Т а б л и ц а 11.7

**Измерение внутренних линейных размеров**

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования	
1	Линейки измерительные металлические		
2	Штангенциркули (ШЦ – I, ШТЦ – I, ШЦ – II, ШЦ – III) с отсчётом по нониусу 0,1 мм		
3	Штангенциркули (ШЦ – II, ШЦ – III) с отсчётом по нониусу 0,05 мм		
4	Нутромеры микрометрические (НМ) с величиной отсчёта 0,01 мм	а) Микропара устанавливается по установочной мере б) Аттестуется размер собранного нутромера	
5	Нутромеры индикаторные (НИ) с ценой деления отсчётногo устройства 0,01 мм	а) Используется весь ход индикатора б) Используется 0,1 мм хода в) Используется 0,03 мм хода	
6	Нутромеры индикаторные (НИ) при замене отсчётногo устройства измерительной головкой (ИГ) с ценой деления 0,001 мм или 0,002 мм		Используемое перемещение, мм
		а) б)	0,1 0,03
7	Нутромеры с ценой деления отсчётногo устройства 0,001 мм и 0,002 мм с установкой по концевым мерам С установкой по установочным кольцам (до 160 мм)	а) б)	0,1 0,01
		в)	0,01
8	Оптиметры и длинномеры горизонтальные, измерительные машины с ценой деления отсчётногo устройства 0,001 мм с установкой по концевым мерам С установкой по установочным кольцам	а)  б)	

Таблица 11.7 Продолжение

№	Наименование и случаи применения	Варианты использования	
9	Пневматические пробки с отсчётным прибором с ценой деления 1 мкм и настройкой по установочным кольцам		Диаметральный зазор между пробкой и отверстием, мм
		а)	0,04 – 0,06
		б)	0,03 – 0,04
		в)	0,02 – 0,03
	То же при цене деления прибора 0,5 мкм	г)	0,02 – 0,03
		д)	0,01 – 0,02
10	То же при цене деления прибора 0,2 мкм		
11	Микроскопы инструментальные		
12	Микроскопы универсальные измерительные при использовании штриховой головки		
13	Приборы с электронным индикатором контакта при настройке по концевым мерам 0 класса		
14	Прибор с электронным индикатором контакта для измерения диаметра малых отверстий при настройке по концевым мерам длины 0 класса		

Примечания: Штангенциркули ШЦ-II и ШЦ-III имеют нижний предел измерения 10 мм, нутромеры индикаторные 6 мм. При использовании для установки на размер концевых мер, вместо микрометров, предельная погрешность уменьшается на 2 – 3 мкм. При использовании установочных колец диаметром 120 – 160 мм предельная погрешность уменьшается на 1 – 2 мкм.

Кроме линейных размеров деталей и величин радиального и торцевого биения необходимо, также контролировать значения параметров формы и шероховатости поверхности. Эти параметры контролируются с помощью специальных измерительных приборов, некоторые модели которых приведены в табл. 19.

## Выбор средств измерения параметров зубчатых колес

Если на чертеже указаны параметры зубчатого колеса, которые необходимо измерить в данном конкретном случае, то измерительные средства выбираются исходя из необходимости измерения именно этих параметров.

Однако в большинстве случаев указывается только степень точности, например 8-В или 8-7-6-Ва. Тогда контролер может выбрать любые показатели, так чтобы проконтролировать все нормы точности:

- нормы кинематической точности;
- нормы плавности работы зубчатых колес;
- нормы контакта зубьев зубчатых колес в передаче.
- нормы бокового зазора.

Кинематическую точность можно выявить и оценить по одному из 10 вариантов, содержащих требования к одному или двум параметрам (смотри табл. 11.8). Один параметр принимается для нормирования в тех случаях, когда он один выявляет кинематическую точность (п. п. 1,2,3,10 таб. 11.8) или относится к грубым колесам (п. п. 8, 9 таб. 11.8). Во всех остальных случаях регламентируются требования к погрешностям, рассматриваемым в радиальном и тангенциальном направлении.

Исходя из степени точности зубчатого колеса, необходимо выбрать одну или две проверки и взять соответствующее средство измерения. Параметр измерения рекомендуется выбирать исходя из имеющихся на предприятии средств измерения.

Например, если имеется кинематометр для измерения кинематической погрешности зубчатого колеса, то рекомендуется измерять параметр  $F'_{ir}$ , как наиболее полно характеризующий кинематическую погрешность. Но такие приборы сравнительно редки, поэтому чаще используют нормалемеры, биениемеры и накладные шагомеры, как

наиболее простые и распространенные средства измерения. И используют показатели согласно 2, 3, 6 и 8 пунктам таблицы 11.12.

Тоже самое относится и к показателям плавности работы зубчатых колес (см. табл. 11.9).

Т а б л и ц а 11.8

**Показатели кинематической точности**

№	Нормируемые показатели точности	Условное обозначение		Степени точности
		Показатель	Допуск	
Зубчатые колеса				
1	Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса	$F_{ir}'$	$F_i'$	3 - 9
2	Накопленная погрешность шага и накопленная погрешность к шагов	$F_{pr}$ $F_{pkr}$	$F_p$ $F_{pk}$	3 - 6
3	Накопленная погрешность шага	$F_{pr}$	$F_p$	7, 8
4	Погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца	$F_{cr}$ $F_{rr}$	$F_c$ $F_r$	3 - 8
5	Колебание длины общей нормали и колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса	$F_{vwr}$ $F_{ir}''$	$F_{vw}$ $F_i''$	3 - 8
6	Колебание длины общей нормали и радиальное биение зубчатого венца	$F_{vwr}$ $F_{rr}$	$F_{vw}$ $F_r$	5 - 8
7	Погрешность обката и колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса	$F_{cr}$ $F_{ir}''$	$F_c$ $F_i''$	5 - 8
8	Колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса	$F_{ir}''$	$F_i''$	9 - 12
9	Радиальное биение зубчатого венца	$F_{rr}$	$F_r$	9 - 12
Зубчатые передачи				
10	Наибольшая накопленная погрешность передачи	$F_{ior}'$	$F_{io}'$	3 - 8



Т а б л и ц а 11.9

**Показатели плавности работы зубчатых колес**

№	Нормируемые показатели, комплексы	Обозначение		Степени точности
		Показатель	Допуск	
Зубчатые колеса				
1	Местная кинематическая погрешность колеса	$f_{ir}'$	$f_i'$	3 – 8
2	Циклическая погрешность зубцовой частоты колеса	$f_{zkr}$	$f_{zz}$	3 – 8
3	Циклическая погрешность зубчатого колеса	$f_{zkr}$	$f_{zk}$	3 – 8
4	Отклонение шага зацепления и погрешность профиля зуба	$f_{pbr}$ $f_{fr}$	$f_{pb}$ $f_f$	3 – 8
5	Отклонение шага зацепления и отклонение шага	$f_{pbr}$ $f_{ptr}$	$f_{pb}$ $f_{pt}$	3 – 8
6	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	$f_{ir}''$	$f_i''$	5 – 12
7	Отклонение шага зацепления	$f_{pbr}$	$f_{pb}$	9 – 12
8	Отклонение шага	$f_{ptr}$	$f_{pt}$	9 – 12
Зубчатые передачи				
9	Местная кинематическая погрешность и циклическая погрешность зубцовой частоты передачи	$f_{ior}'$ $f_{zzor}$	$f_{io}'$ $f_{zzo}$	3 – 8
10	Циклическая погрешность передачи	$f_{zkor}$	$f_{zko}$	3 – 8

Нормы контакта отражают точность прилегания поверхностей зубьев сопряженных колес в передаче. Для повышения износостойкости и долговечности зубчатых силовых передач необходимо, чтобы полнота контакта сопряженных боковых поверхностей зубьев была наибольшей. Для задания норм контакта зубьев можно воспользоваться одним из семи способов указанных в табл. 11.10.

Т а б л и ц а 11.10

**Показатели норм контакта зубьев**

№	Нормируемые показатели, комплексы	Обозначение		Степени точности
		Показатель	Допуск	
Косозубые и прямозубые зубчатые колеса				
1	Погрешность направления зуба	$F_{\beta r}$	$F_{\beta}$	3 – 12
2	Суммарная погрешность контактной линии	$F_{kr}$	$F_k$	3 – 12
Косозубые зубчатые колеса с $\varepsilon_{\beta}$ , большим или равным указанному в таблице 11.11				
3	Продольное отклонение осевых шагов по нормали и суммарная погрешность контактной линии	$F_{Pxnr}$ $F_{kr}$	$F_{Pxn}$ $F_k$	3 – 9
4	Продольное отклонение осевых шагов по нормали и отклонение шага зацепления	$F_{Pxnr}$ $f_{pbr}$	$f_{pb}$ $f_f$	3 – 9
Зубчатые передачи				
5	Не параллельность осей и прекос осей зубчатых колес	$f_{xr}$ $f_{yr}$	$f_x$ $f_y$	3 – 12
6	Суммарное пятно контакта			3 – 11
7	Мгновенное пятно контакта			3 – 11

Показатели контакта зубьев косозубых колес установлены в зависимости от граничных значений номинального коэффициента осевого перекрытия  $\varepsilon_{\beta}$ , значения которых приведены в табл. 11.11.

Т а б л и ц а 11.11

Степень точности по нормам контакта	3	4	5	6	7	8
Граничные значения номинального коэффициента осевого перекрытия $\varepsilon_{\beta}$	1,25	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0

Допускается оценивать точность зубчатого колеса по суммарному или мгновенному пятну контакта его зубьев с зубьями измери-

тельного колеса. При оценке нормы контакта зубьев предпочтительным является суммарное пятно контакта.

Для определения норм точности контакта зубьев можно выбрать: контроль пятна контакта, или проверку направления зуба, или контроль погрешности формы и расположения контактной линии. И выбрать по справочнику соответствующий прибор.

Например, ходомер модели БВ-5034 предназначен для контроля погрешности направления зуба  $F_{\beta r}$ , прямозубых и косозубых колес с ходом винтовой линии свыше 200 мм, модулем от 1 до 10 мм и диаметром от 20 до 400 мм.

При измерении показателей бокового зазора необходимо помнить, что при использовании в качестве базы наружной поверхности зубьев, как в случае измерения величины смещения исходного контура или толщины зуба по хорде, необходимо пересчитывать табличное поле допуска зубчатого колеса на производственное, с учетом допуска на размер и биения диаметра окружности вершин. При контроле отклонения длины общей нормали с помощью индикаторного или микрометрического нормалемера этого не требуется, но необходимо иметь набор концевых мер длины для настройки нормалемера.

Номенклатура средств измерения параметров зубчатых колес довольно обширна. Они отличаются точностью, конструкцией, диапазоном измеряемых величин. Ряд приборов для измерения параметров зубчатых колес, выпускаемых отечественной промышленностью, приведен в табл. 11.12.

Существуют универсальные средства измерения, которые позволяют измерять сразу большое количество параметров точности зубчатых колес.

Такие приборы удобны в эксплуатации и позволяют контролировать зубчатые колеса с высокой точностью, однако они редко применяются из-за сложности конструкции и высокой стоимости.

Т а б л и ц а 11.12

## Средства измерения зубчатых колес

Модель	Контролируемые параметры	Измеряемые колёса		Цена деления
		Модуль, мм	Диаметр, мм	
Приборы для измерения кинематической погрешности				
БВ-5058	$F_{ir}'$ , $f_{ir}'$	1 – 8	20 - 320	1,5'' – 96''
БВ-5094	$F_{ior}'$ , $f_{ior}'$	1 – 8	20 - 320	1,5'' – 96''
БВ-5083		0,2 – 1	5 - 200	
Межосемеры				
МЦ-160М	$F_{ir}''$ , $f_{ir}''$ , $E_{a''s}$ , $E_{a''i}$	0,15 – 1	5 - 200	1 мкм
МЦ-400У		1 – 10	20 - 320	2 мкм
Эвольвентомеры				
БВ-5062	$f_{fr}$ , $F_{\beta r}$	4 – 12	20 - 340	0,1 – 2 мкм
КЭУ-М	$f_{fr}$	1 – 10	20 - 320	1 мкм
БВ-5057		0,2 – 1	5 - 120	0,1 – 2 мкм
Биениемеры				
Б-10М	$F_{rr}$	1 – 10	70 - 360	1 мкм
25004		0,2 – 3	5 - 200	0,1 – 1 мкм
Шагомеры для измерения шага зацепления и разности шагов				
БВ-5070	$f_{pbr}$ , $f_{ptr}$	2 – 30	от 20	1 мкм
21704		10 – 50	-	1 мкм
21802		2 – 10	-	1 мкм
Приборы для измерения смещения исходного контура				
23500	$E_{Hs}$	2 – 10	-	10 мкм
23600		4 – 16	-	10 мкм
23700		10 – 28	-	10 мкм
23800		22 – 50	-	10 мкм
Зубомеры – приборы для измерения толщины зуба				
23900	$E_{Gs}$	1 – 16	-	10 мкм
БВ-5085		2 – 32	-	10 мкм
ШЗ-18		1 – 18	-	0,05 мм
Нормалемеры				
БВ-5045	$E_{Wmr}$ , $E_{vWr}$ , $E_{Wr}$	от 1	W = 0 - 120	5 мкм
БВ-5046		от 2	W = 50 - 300	5 мкм
БВ-5081		от 3	W = 20 - 120	5 мкм
БВ-5082		от 3	W = 50 - 300	5 мкм
22202		от 2,5	W = 150 - 700	2 – 10 мкм
22002		от 0,3	W = 0 - 25	2 мкм
22102		0,3 - 1	W = 25 - 50	2 мкм

Т а б л и ц а 11.13

**Выпускаемые в настоящее время средства измерений**

Наименование	Марка, размер	Пределы измерения мм	Цена деления мм
<b>Штангенинструмент</b>			
Штангенциркуль с нониусом ГОСТ 166-89	ШЦ I-125 / 0,1	0 – 125	0,1
	ШЦ I-125 / 0,05	0 – 125	0,05
	ШЦ I-150 / 0,1	0 – 150	0,1
	ШЦ I-150 / 0,05	0 – 150	0,05
	ШЦ II-250 / 0,05	0 – 250	0,05
	ШЦ III-400 / 0,1	0 – 400	0,1
	ШЦ III-500 / 0,1	0 – 500	0,1
	ШЦ III-630 / 0,1	0 – 630	0,1
	ШЦ III-800 / 0,1	0 – 800	0,1
	ШЦ III-1000 / 0,1	0 – 1000	0,1
	ШЦ III-1600	0 – 1600	0,1
	ШЦ III-2000	0 – 2000	0,1
	ШЦ III-3000	0 – 3000	0,1
	ШЦ III-4000	0 – 4000	0,1
Штангенциркуль цифровой	0-150 мм	0 – 150	0,01
	0-200 мм	0 – 200	0,01
	0-300 мм	0 – 300	0,01
	0-500 мм	0 – 500	0,01
Штангенрейсмас ГОСТ 164-90	ШР-250	0 – 250	0,1
	ШР-400	0 – 400	0,1
	ШР-630	0 – 630	0,1
	ШР-1000	0 – 1000	0,1
	ШР-1600	0 – 1600	0,1
	ШР-2500	0 – 2500	0,1
Штангенглубиномер	ШГ-160	0 – 160	0,1
<b>Микрометры</b>			
Микрометры гладкие ГОСТ 6507-90	МК25	0 – 25	0,01
	МК50	0 – 50	0,01
	МК75	0 – 75	0,01
	МК100	0 – 100	0,01
	МК125	0 – 125	0,01
	МК150	0 – 150	0,01
	МК175	0 – 175	0,01
	МК200	0 – 200	0,01
	МК225	0 – 225	0,01
	МК250	0 – 250	0,01
	МК275	0 – 275	0,01
	МК300	0 – 300	0,01
	МК400	0 – 400	0,01
	МК500	500	0,01

Таблица 11.13 Продолжение

Наименование	Марка, размер	Пределы измерения мм	Цена деления мм
Микрометры рычажные ГОСТ 4381-87	МР 25	0 – 25	0,002
	МР 50	25 – 50	0,002
	МР 75	50 – 75	0,002
	МР 100	75 – 100	0,002
	МРИ125	100 – 125	0,002
	МРИ150	125 – 150	0,002
	МРИ200	150 – 200	0,002
	МРИ250	200 – 250	0,002
	МРИ300	200 – 300	0,002
	МРИ400	300 – 400	0,01
	МРИ500	400 – 500	0,01
	МРИ600	500 – 600	0,01
	МРИ700	600 – 700	0,01
	МРИ800	700 – 800	0,01
	МРИ900	800 – 900	0,01
	МРИ1000	900 – 1000	0,01
Микрометры листовые ГОСТ 6507-90	МЛ5	0 – 5	0,01
	МЛ10	0 – 10	0,01
	МЛ25	0 – 25	0,01
Микрометры со вставками для измерения рез- бы ГОСТ 50190-92	МВМ25	0 – 25	0,01
	МВМ50	25 – 50	0,01
	МВМ75	50 – 75	0,01
	МВМ100	75 – 100	0,01
	МВМ125	100 – 125	0,01
	МВМ150	125 – 150	0,01
	МВМ175	150 – 175	0,01
	МВМ200	175 – 200	0,01
	МВМ225	200 – 225	0,01
	МВМ250	225 – 250	0,01
	МВМ275	250 – 275	0,01
	МВМ300	275 – 300	0,01
	МВМ325	300 – 325	0,01
	МВМ350	325 – 350	0,01
Микрометр для мягких материалов	МВП25	0 – 25	0,01
Микрометры труб- ные ГОСТ 6507-90	МТ25	0 – 25	0,01
	МТ15	0 – 15	0,01
Микрометр насто́льный	МН-10	0 – 10	0,01

Таблица 11.13 Продолжение

Наименование	Марка, размер	Пределы измерения мм	Цена деления мм
Скобы			
Скоба рычажная	CP 25	0 – 25	0,002
	CP 50	25 – 50	0,002
	CP 75	50 – 75	0,002
	CP 100	75 – 100	0,002
	CP 125	100 – 125	0,002
	CP 150	125 – 150	0,002
Скоба индикаторная ГОСТ 11096-75	СИ25	0 – 25	0,001
	СИ50	0 – 50	0,001
	СИ100	50 – 100	0,002
	СИ200	100 – 200	0,002
	СИ300	200 – 300	0,01
	СИ400	300 – 400	0,01
	СИ500	400 – 500	0,01
	СИ600	500 – 600	0,01
	СИ700	600 – 700	0,01
	СИ850	700 – 850	0,01
	СИ1000	850 – 1000	0,01
Измерительные головки			
Головка измерительная рычажно-зубчатая	1 ИГ	$\pm 0,05$	0,001
	2 ИГ	$\pm 0,1$	0,002
	ИГ с обратной шкалой	$\pm 0,05$	0,001
	1 МИГ	0 – 1	0,001
	2 МИГ	0 – 2	0,002
Микрокатор	02 ИГПВ	$\pm 6$	0,0002
	05 ИГПВ	$\pm 15$	0,0005
	2 ИГПВ	$\pm 60$	0,002
	5 ИГПВ	$\pm 150$	0,005
Индикатор часового типа ГОСТ 577-68	1-ИЧТ	0 – 1	0,01
	2-ИЧТ	0 – 2	0,01
	3-ИЧТ	0 – 3	0,01
	ИЧ-02 б/ушка	0 – 2	0,01
	ИЧ-02 с ушком	0 – 2	0,01
	ИЧ-10 б/ушка	0 – 10	0,01
	ИЧ-10 с ушком	0 – 10	0,01
	ИЧ-25	0 – 25	0,01
	ИЧ-50	0 – 25	0,01
Индикаторы рычажно-зубчатые	ИРБ	0 – 0,8	0,01
	ИРТ	0 – 0,8	0,01

Таблица 11.13 Продолжение

Наименование	Марка, размер	Пределы измерения мм	Цена деления мм
Концевые меры длины			
Концевые меры длины стальные, наборы ГОСТ 9038-90	№1 (83 меры)	0,5 – 100	
	№2 (38 мер)	1 – 100	
	№3 (112 мер)	1 – 100	
	№4 (11 мер)	2 – 2,01	
	№5 (11 мер)	1,99 – 2	
	№6 (11 мер)	1 – 1,01	
	№7 (11 мер)	0,99 – 1	
	№8 (8 мер)	125 – 500	
	№9 (10 мер)	100 – 1000	
Концевые меры длины, стальные, наборы ГОСТ 9038-90	№10 (20 мер)	0,1 – 0,29	
	№11 (43 мер)	0,3 – 0,9	
	№13 (11 мер)	5 – 100	
	№14 (38 мер)	10,5 – 100	
	№15 (29 мер)	1,005 – 10	
	№16 (19 мер)	0,991 – 1,009	
	№17 (19 мер)	1,991 – 2,009	
	№20 (23 меры)	0,12 – 3,5	
	№21 (20 мер)	5,12 – 100	
	№22 (7 мер)	21,2 – 175	
Концевые меры длины, твердый сплав, наборы	№1 (83 меры)	1,005 – 100	
	№2 (38 мер)	1,005 – 100	
	№3 (112 мер)	1,005 – 100	
	№6 (11 мер)	1 – 0,01	
	№7 (11 мер)	0,99 – 1	
	№12 (74 меры)	1,005 – 5	
	№16 (19 мер)	0,991 – 1,009	
Меры угловые призматические, наборы ГОСТ 2875-75	№1 (93шт.)	10° – 100°	
	№2 (33шт.)	10° – 100°	
	№3 (8шт.)	10° – 90°	
	№4 (8шт.)	15°10' – 90°	
Нутромеры			
Нутромер индикаторный	106	10 – 18	0,002
	109	18 – 50	0,002
	154	50 – 100	0,002
	155	100 – 160	0,002
	156	160 – 260	0,002
Нутромер индикаторный ГОСТ 868-82	НИ-10	6 – 10	0,01
	НИ-18	10 – 18	0,01
	НИ-50	18 – 50	0,01
	НИ-100	50 – 100	0,01
	НИ-160	100 – 160	0,01



Таблица 11.13 Продолжение

Наименование	Марка, размер	Пределы измерения мм	Цена деления мм
Нутромер индикаторный ГОСТ 868-82	НИ-250	160 – 250	0,01
	НИ-450	250 – 450	0,01
	НИ-700	450 – 700	0,01
	НИ-1000	700 – 1000	0,01
Нутромер микрометрический	НМ-50-75	50 – 75	0,01
	НМ-75-175	75 – 175	0,01
	НМ-75-600	75 – 600	0,01
	НМ-150-1250	150 – 1250	0,01
	НМ-600-2500	600 – 2500	0,01
	НМ-1250-4000	1250 – 4000	0,01
Комплект образцовых и установочных колец для нутромеров	929-2		
	931-1		
	928-2		
Глубиномеры			
Глубиномер индикат. ГОСТ 7661-67	ГИ-100М	0 – 100	0,01
Глубиномер микром. ГОСТ 7470-92	ГМ100	0 – 100	0,01
Стойки и штативы			
Стойки для измерительных головок	С-III	0 – 100	
	С-IV	0 – 250	
Штативы для измерительных головок ГОСТ 10197-70	Ш-III	0 – 250	
	Ш-IV	0 – 630	
	Ш-III	0 – 200	
	ШМ-III	0 – 250	
	ШМ-IV	0 – 630	
	ШМ-III	0 – 200	
Стойка универсальная	15 СТМ		
Стойка гибкая	МС29		
Средства измерения параметров шероховатости			
Портативный профилометр (США)	Pocket Surf - III	от 0,02 до 6,3 Ra	0,01 мкм
	Ra, Rz, R <sub>max</sub>		
Цеховой профилограф (ФРГ)	Perthometer M1	от 0,02 до 25 Ra	0,01 мкм
	Ra, Rz, R <sub>max</sub>		
Переносный профилограф (ФРГ)	Perthometer M2	от 0,02 до 25 Ra	0,01 мкм
	Ra, Rz, R <sub>max</sub> , S, t <sub>p</sub> и др		

Таблица 11.13 Продолжение

Наименование	Марка, размер	Пределы измерения мм	Цена деления мм
Модульная компью- те- ризованная систе- ма для контроля ше- роховатости, конту- ра и топографии поверх- ностей	Perthometer Concept	от 0,02 до 100 Ra	0,01мкм
	Все параметры		
Приборы для зубчатых колес			
Штангензубомер	ШЗ-18	1 – 18	0,05
	ШЗ-40	1 – 40	0,05
Микрометрический нормалемер ГОСТ 6507-90	М325	0 – 25	0,01
	М350	0 – 50	0,01
	М375	0 – 75	0,01
	М3100	0 – 100	0,01
Нормалемер	БВ - 5045	0 – 120	0,005
	БВ - 5046	50 – 300	0,005
	БВ - 5081	20 – 120	0,005
	БВ - 5082	50 – 300	0,005
Зубомер смещения	23500	m 2 – 10	0,01
	23600	m 4 – 16	0,01
Биениемер	Б-10М	m 1 – 10, d 70 – 360	0,001
Межосемер	МЦ-400У	m 1 – 10, d 20 – 320	0,002
Эвольвентомер	КЗУ-М	m 1 – 10, d 20 – 320	0,001
Преобразователи			
Индуктивные преобразователи	М-022-02	± 1	0,001
	М-022-03	± 1	0,001
	М-023-02	± 5	0,001
	М-028-01	± 15	0,001
	М-022-03П	± 1	0,001
Растровые преобразователи	19500		0,001
	19510		0,001
	19511		0,001
Система цифровая растровая	9801-01		0,001
	9601-02		0,001
	9801-03		0,001

## **Последовательность выполнения работы**

1. Проанализировать чертеж детали исходя из точности размеров и взаимного расположения поверхностей.

2. Номинальные размеры и величины допусков записать в таблицу (смотри форму отчёта). Запись осуществляется, начиная с самого точного размера в порядке уменьшения точности, до свободных размеров включительно.

3. Занести в таблицу допуски радиального и торцевого биения, если они имеются и параметры шероховатости поверхности.

4. По имеющимся таблицам № 11.1 и 11.3 определить допустимые погрешности измерения в зависимости от величины допуска, качества и величины номинального размера.

5. В зависимости от конфигурации, габаритов детали и требований к методике выполнения измерений следует решить вопрос о выборе накладного или станкового средства измерения. По таблицам № 11.6 и 11.7 выбрать необходимые измерительные средства для контроля размеров и биений и занести их в таблицу. Для определения типоразмеры выбранного средства пользоваться таблицей 11.13. В таблицу также заносим вспомогательные средства (стойки, штативы) и средство для измерения шероховатости поверхности.

6. Если контролируемая деталь зубчатое колесо по таблицам 11.8, 11.9 и 11.10 выбрать контролируемые показатели и по таблице 11.12 выбрать приборы для их контроля.

7. В выводах отразить сложность контроля данной детали.

8. Оформить отчёт по работе. К отчету приложить чертеж контролируемой детали.

### Форма протокола выбора средств измерений

Группа	Ф. И. О.		
Работа № 40	Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм		
Результаты выбора средств измерения			
Номинальный размер или контролируемый параметр и обозначение точности	Величина допуска на размер или параметра, мкм	Допустимая погрешность измерения, мкм	Средства измерений

...

Выводы по работе			

## Приложения

Т а б л и ц а П1

### Значение нормальных размеров (ГОСТ 6636-69\*)

Ряд				Размер, мм													
Ra40	Ra20	Ra10	Ra5	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40	63	100	160	250	400
				1,2	2,0	3,2	5,0	8,0	12	20	32	50	80	125	200	320	500
				1,1	1,8	2,8	4,5	7,1	11	18	28	45	71	110	180	280	450
				1,4	2,2	3,6	5,6	9,0	14	22	36	56	90	140	220	360	-
				1,05	1,7	2,6	4,2	6,7	10,5	17	26	42	67	105	170	260	420
				1,15	1,9	3,0	4,8	7,5	11,5	19	30	48	75	120	190	300	480
				1,3	2,1	3,4	5,3	8,5	13	21	34	53	85	130	210	340	-
				1,5	2,4	3,8	6,0	9,5	15	24	38	60	95	150	240	380	-

Т а б л и ц а П2

### Допускаемые погрешности измерения, мкм (ГОСТ 8.051-81)

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

Т а б л и ц а ПЗ

Значение допусков , мкм

Интервалы номинальных размеров, мм	КВАЛИТЕТЫ																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
Св. 3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
Св. 6 до 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
Св. 18 до 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
Св. 30 до 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
Св. 50 до 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
Св. 80 до 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
Св. 120 до 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Св. 180 до 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
Св. 250 до 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
Св. 315 до 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
Св. 400 до 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700

# НОРМЫ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Т а б л и ц а П4

Нормы кинематической точности цилиндрических зубчатых колес по  
ГОСТ 1643-81, мкм (показатели  $F_{ir}'$ ,  $F_r$ ,  $F_{vW}$ ,  $F_C$ ,  $F_{ir}''$ )

Степень точности	Модуль $m$ , мм	$F_i'$	$F_r$		$F_{vw}$		$F_C$		$F_i''$	
		Делительный диаметр $d$ , мм								
		До 400	До 125	Св. 125 до 400	До 125	Св. 125 до 400	До 125	Св. 125 до 400	До 125	Св. 125 до 400
6	Св. 1.0 до 3.5	$F_P+f_f$	25	36	16	28	16	28	36	50
	28		40	40					56	
	32		45	45					63	
	-		50	-					71	
7	Св. 1.0 до 3.5	$F_P+f_f$	36	50	22	40	22	40	50	71
	40		56	56					80	
	45		63	63					90	
	-		71	-					100	
8	Св. 1.0 до 3.5	$F_P+f_f$	45	63	28	50	28	50	63	90
	50		71	71					100	
	56		80	80					112	
	-		90	-					125	
9	Св. 1.0 до 3.5	$F_P+f_f$	71	80	-	-	-	-	90	112
	80		100	112					140	
	90		112	125					160	
	-		125	-					180	

$F_{ir}'$  — допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса;

$F_r$  — допуск на радиальное биение зубчатого венца;

$F_{vW}$  — допуск на колебание длины общей нормали;

$F_C$  — допуск на погрешность обката;

$F_{ir}''$  — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния.

Т а б л и ц а П5

**Нормы кинематической точности цилиндрических зубчатых колес по  
ГОСТ 1643-81, мкм (показатели  $F_{pk}$  и  $F_{pr}$ )**

Степень точности	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Для $F_{pk}$ — длина дуги делительной окружности $L$ , мм					
			Св.20 до 32	Св.32 до 50	Св.50 до 80	Св.80 до 160	Св. 160 до 315	Св.315 до 400
			Для $F_{pr}$ — делительный диаметр $d$ , мм					
			Св. 12,7 до 20,4	Св. 20,4 до 31,8	Св. 31,8 до 50,9	Св. 50,9 до 101,8	Св.101,8 до 200,5	Св. 200,5 до 401,1
			мкм					
6	$F_{pk}$ или $F_{pr}$	От 1 до 16	20	22	25	32	45	63
7		От 1 до 25	28	32	36	45	63	90
8		От 1 до 25	40	45	50	63	90	125

$F_{pk}$  — допуск на накопленную погрешность к шагов;

$F_{pr}$  — допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса.

**П р и м е ч а н и е.** При отсутствии специальных требований допуск  $F_{pr}$  назначается для длины дуги делительной окружности, соответствующей 1/6 части числа зубьев зубчатого колеса (или дуги, соответствующей ближайшему большему целому числу зубьев).

Т а б л и ц а П6

**Модули зубчатых колес по ГОСТ9563-60, мм**

Ряд 1	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
Ряд 2	1,125	1,5	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7	9	11	14	18



## Нормы плавности работы цилиндрических зубчатых колес

(показатели  $f_{ir}'$ ,  $f_{Pt}$ ,  $f_{Pb}$ ,  $f_f$ ,  $f_{ir}''$ )

Степень точности	Модуль <i>m</i> , мм	<i>f'<sub>i</sub></i>		<i>f<sub>Pt</sub></i>		<i>f<sub>Pb</sub></i>		<i>f<sub>f</sub></i>		<i>f''<sub>i</sub></i>	
		Делительный диаметр d, мм									
		До 125	Св. 125 до 400	До 125	Св. 125 до 400	До 125	Св. 125 до 400	До 125	Св. 125 до 400	До 125	Св. 125 до 400
		МКМ									
6	От 1 до 3.5	18	20	±10	±11	±9,5	±10	8	9	14	16
	Св. 3.5 до 6.3	22	25	±13	±14	±12	±13	10	11	18	20
	Св. 6.3 до 10	28	30	±14	±16	±13	±15	12	13	20	22
	Св. 10 до 16	—	36	—	±18	—	±17	—	16	—	25
7	От 1 до 3.5	25	30	±14	±16	±13	±15	11	13	20	22
	Св. 3.5 до 6.3	32	36	±18	±20	±17	±19	14	16	25	28
	Св. 6.3 до 10	36	40	±20	±22	±19	±21	17	19	28	32
	Св. 10 до 16	—	50	—	±25	—	±24	—	22	—	36
8	От 1 до 3.5	36	40	±20	±22	±19	±21	14	18	28	32
	Св. 3.5 до 6.3	45	50	±25	±28	±24	±26	20	22	36	40
	Св. 6.3 до 10	50	60	±28	±32	±26	±30	22	28	40	45
	Св. 10 до 16	—	71	—	±36	—	±34	—	32	—	50
9	От 1 до 3.5	—	—	±28	±32	±26	±30	—	—	36	40
	Св. 3.5 до 6.3	—	—	±36	±40	±34	±38	—	—	45	50
	Св. 6.3 до 10	—	—	±40	±45	±38	±42	—	—	50	56
	Св. 10 до 16	—	—	—	±50	—	±48	—	—	—	63

 $f_i'$  — допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса; $f_{Pt}$  — предельные отклонения шага; $f_{Pb}$  — предельные отклонения шага зацепления; $f_f$  — допуск на погрешность профиля зуба; $f_{ir}''$  — допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

## Допуски плоскостности и прямолинейности

Интервал номинальных размеров, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	МКМ												ММ			
До 10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	0,06	0,1	0,16	0,25
Св. 10 до 16	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
Св. 16 до 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
Св. 25 до 40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
Св. 40 до 63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
Св. 63 до 100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
Св. 100 до 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
Св. 160 до 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
Св. 250 до 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6

П р и м е ч а н и е. Под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка. Если нормируемый участок не задан, то под номинальным размером понимается длина большей стороны поверхности или номинальный больший диаметр торцевой поверхности.

Допуски цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения

Интервал номинальных размеров, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм															
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
Св. 3 до 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
Св. 18 до 30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
Св. 30 до 50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
Св. 50 до 120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
Св. 120 до 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
Св. 250 до 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6

П р и м е ч а н и е. Под номинальным размером понимается номинальный диаметр поверхности

## **Библиографический список**

### **Основная литература**

1. Валиков Е.Н. Метрологическое обеспечение продукции, процессов и услуг. Проектирование технологии технического контроля : учебное пособие / Е. Н. Валиков, В. А. Белякова, Д. И. Благовещенский ; ТулГУ.- Тула : Изд-во ТулГУ, 2017.- 120 с.
2. Козочкин М. П. Диагностика и сертификация металлорежущего оборудования [Электронный ресурс] : учебное пособие / Козочкин М. П., Маслов А. Р., Сабиров Ф. С., Порватов А. Н.- Москва : Машиностроение, 2017.- 240 с
3. Правиков Ю.М., Муслина Г.Р. Метрологическое обеспечение производства : Учебное пособие / Правиков Ю.М.- Электрон. дан.- Москва : КноРус, 2021.- 237 с.
4. Колышкин Б. Н. Метрологическое обеспечение производства. Лабораторный практикум. / Б. Н. Колышкин, С. А. Любомудров, С. Б. Та-расов. С-Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. г. 150 с.

### **Дополнительная литература**

1. Валиков Е.Н. Метрологическое обеспечение технологии изготовления режущего инструмента. Проектирование технологи технического контроля : учебное пособие / Е. Н. Валиков, В. А. Белякова, Д. И. Благовещенский ; ТулГУ .- Тула : Изд-во ТулГУ, 2015.- 96 с.
2. Кудеяров Ю. А. Метрологическая экспертиза технической документации : учебное пособие / Ю. А. Кудеяров, Н. Я. Медовикова.- Метрологическая экспертиза технической документации, Весь срок охраны авторского права.- Электрон. дан. (1 файл) .- Москва : Академия стандартизации, метрологии и сертификации, 2017.- 141 с.
3. Смирнов Ю. А. Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации. Основы метрологии и автоматизации [Электронный ресурс] : учебное пособие / Смирнов Ю. А.- Санкт-Петербург : Лань, 2020.- 240 с.
4. Схиртладзе А. Г. Проектирование металлообрабатывающих инструментов [Электронный ресурс] / Схиртладзе А. Г., Гречишников В. А., Григорьев С. Н., Коротков И. А.- 2-е изд., стер.- Санкт-Петербург : Лань, 2015.- 256 с.
5. Шалыгин М. Г. Автоматизация измерений, контроля и испытаний [Электронный ресурс] : учебное пособие / Шалыгин М. Г., Вавилин Я. А.- Санкт-Петербург : Лань, 2019.- 172 с.