

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Инженерный институт**

**ОСНОВЫ ВЗАИМОЗАИМЕНЯЕМОСТИ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

**Методические указания  
по выполнению лабораторных работ**



**Новосибирск 2023**

УДК 389:621.753

ББК 30.10

### **Кафедра Надежность и ремонт машин**

Составители: ст. преподаватель *Т.В. Возженникова*  
канд. техн. наук, доцент *Р.В. Конореев*  
ст. преподаватель *Е.В. Агафонова*

Рецензент: канд. техн. наук, доцент *И.В. Тихонкин*

Основы взаимозаменяемости и технические измерения: методические указания по выполнению лабораторных работ /Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; сост.: Т.В. Возженникова, Р.В. Конореев, Е.В. Агафонова, - Новосибирск, 2023. – 54 с.

Методические указания предназначены для студентов Инженерного института всех форм обучения, обучающихся по направлению подготовки: Агроинженерия

В методических указаниях содержатся основные термины в области основ взаимозаменяемости и технических измерений, устройство и методики выполнения измерений для микрометрических, индикаторных и штангенинструментов, методики измерений шероховатости и отклонений форм и расположения поверхностей, требования к оформлению отчета по выполненным лабораторным работам, контрольные вопросы а также рекомендуемая литература.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.).

© Новосибирский государственный  
аграрный университет, 2023

© Инженерный институт, 2023

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Цель преподавания дисциплины**

Изучение научно-теоретических и методических основ взаимозаменяемости и технических измерений

**Задачи изучения дисциплины** Основными задачами изучения дисциплины являются:

- умение студентами применять на практике основные положения курса, формирование у студентов научного мышления;
- дать студентам тот минимум знаний в области, который позволит в дальнейшем специалисту совершенствоваться, самостоятельно принимать технические решения на международном, региональном и национальном уровне;
- навыки работы с ГОСТами, технической документацией;
- умение работать с патентной литературой, изучение зарубежного опыта в области стандартизации.

### **Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина Основы взаимозаменяемости и технические измерения относится к обязательной части.

Данная дисциплина опирается на курсы дисциплин: Математика, Физика, Материаловедение и технология конструкционных материалов, Начертательная геометрия, Инженерная графика и является основой для последующего изучения дисциплин: Основы взаимозаменяемости и технические измерения, Механика, Технология ремонта машин, Детали машин, основы конструирования и подъемно-транспортные машины.

### **Требования к результатам освоения дисциплины**

Дисциплина Основы взаимозаменяемости и технические измерения в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом ПООП направлена на формирование следующих **компетенций**:

УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

ОПК-2. Способен использовать нормативные правовые акты и оформлять специальную документацию в профессиональной деятельности.

#### **индикаторов достижения компетенций:**

ИУК-2.1 Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач;

ИУК-2.2 Проектирует решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений;

ИУК-2.3 Решает конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время;

ИУК-2.4 Публично представляет результаты решения конкретной задачи проект;

ИОПК-2.3 Использует нормативные правовые документы, нормы и регламенты проведения работ в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования;

ИОПК-2.4 Оформляет специальные документы для осуществления эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования;

ИОПК-2.5 Ведет учетно-отчетную документацию по эксплуатации и ремонту сельскохозяйственной техники и оборудования, в том числе в электронном виде;

#### **запланированные результаты обучения**

*знать:*

- основные понятия и принципы построения современной системы допусков и посадок;

- основы взаимозаменяемости, нормирования и контроля точности геометрических параметров типовых соединений в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования;

*уметь:*

- производить анализ посадок основных видов соединений деталей машин;
- основы взаимозаменяемости, нормирования и контроля точности;
- геометрических параметров типовых соединений в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования;

- пользоваться универсальными и специальными средствами измерения и контроля точности;

- линейных размеров деталей и осуществлять проверку их годности в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования;

*владеть:*

- навыками определения годности геометрических параметров деталей
- навыками выполнения измерений линейных размеров универсальными средствами в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования;

- навыками определения годности геометрических параметров деталей в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ВЫПОЛНЕННЫМ ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

1. Наименование работы и ее порядковый номер
2. Цель и задачи работы
3. Эскиз контролируемой детали с указанием требований к точности измеряемого параметра
4. Средства измерения. Наименование, назначение, числовые метрологические характеристики (можно в табличной форме)
5. Схема измерения
6. Сводная таблица результатов измерения
7. Сопутствующие расчеты (значения предельных размеров в соответствии с техническими требованиями чертежа и т. д.)
8. Общее заключение по работе (Выводы)

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

#### Общие положения

ГОСТ 25346-89 «ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений» устанавливает термины, определения и условные обозначения, допуски и основные отклонения системы допусков и посадок для размеров до 3150 мм.

Обработать деталь точно по номинальному размеру, указанному на чертеже, практически невозможно из-за многочисленных погрешностей, влияющих на процесс обработки. Поэтому размер обработанной детали ограничивают двумя предельными размерами, один из которых называется наибольшим предельным размером, а другой – наименьшим предельным размером.

Измерением отверстия или вала с допустимой погрешностью определяют их действительный размер. Деталь является годной, если ее действительный размер больше наименьшего предельного размера, но не превосходит наибольшего предельного размера.

На чертежах вместо предельных размеров рядом с номинальным размером указывают два предельных отклонения (верхнее предельное отклонение - ES, es и нижнее предельное отклонение - EI, ei).

Допуском T называют разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами, или алгебраическую разность между верхним и нижним отклонениями, характеризующими точность, с которой должен быть выполнен размер при изготовлении детали.

Допуск отверстия:  $TD = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI$ ;

Допуск вала:  $Td = d_{\max} - d_{\min} = es - ei$ .

Зону, ограниченную верхним и нижним отклонениями, называют полем допуска. Поле допуска определяется величиной допуска (кавалитетом) и его положением относительно номинального размера (основным отклонением).

При графическом изображении поле допуска заключено между линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

Взаимное расположение полей допусков сопрягаемых деталей характеризует тип посадки и величины наибольших и наименьших зазоров или натягов. Характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов, называется посадкой. Различают посадки трех типов: с зазором, с натягом и переходные.

Посадка с зазором – посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении и поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала.

Эту посадку характеризуют наименьший  $S_{\min}$  и наибольший  $S_{\max}$  зазоры. Наименьший зазор  $S_{\min}$  в соединении отверстия с валом образуется, если в  $D_{\min}$  будет установлен вал с наибольшим предельным размером  $d_{\max}$ .

Наибольший зазор  $S_{\max}$  образуется при наибольшем предельном размере отверстия  $D_{\max}$  и наименьшем предельном размере вала  $d_{\min}$ .

Наибольший зазор:  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$ ;

Наименьший зазор:  $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$ .

Посадка с натягом – посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении, а поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала.

Посадку с натягом характеризуют наименьший  $N_{\min}$  и наибольший  $N_{\max}$  натяги. Наименьший натяг  $N_{\min}$  имеет место в соединении, если в отверстие с наибольшим предельным размером  $D_{\max}$  будет запрессован вал наименьшего предельного размера  $d_{\min}$ , а наибольший натяг  $N_{\max}$  – при наименьшем предельном размере отверстия  $D_{\min}$  и наибольшем предельном размере вала  $d_{\max}$ .

Наибольший натяг:  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI$ ;

Наименьший натяг:  $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES$ .

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение, как зазора, так и натяга. В этом случае поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью.

Наибольший зазор:  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$  ;

Наибольший натяг:  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI$  .

Допуск посадки – разность между наибольшим и наименьшим зазорами (натягами) или сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение. Вал и отверстие, образующие посадку, имеют один и тот же номинальный размер и различаются верхними и нижними отклонениями; поэтому на чертежах над размерной линией посадку обозначают после номинального размера дробью, в числителе которой записывают предельные отклонения для отверстия, а в знаменателе - предельные отклонения для вала.

ГОСТ 25347-82 «ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки» устанавливает допуски и посадки для размеров менее 1 мм и до 3150 мм.

#### Цель работы:

- изучить основные положения и научиться определять величину допуска, предельные размеры, зазоры и натяги;
- изучить посадки, установленные ЕСДП;
- научиться правильно оформлять сборочные чертежи и рабочие чертежи с обозначением посадок и отклонений;
- научиться пользоваться таблицами допусков и посадок ГОСТ 25347-82

**Наглядный материал:** чертежи, таблица условных обозначений отклонений на чертежах.

#### Задание 1

Для заданного сопряжения (таблица 1.1) определить предельные размеры вала и отверстия; определить величину допусков каждой детали; найти величину предельных зазоров или натягов и допуск посадки; построить график полей допусков в определенном масштабе, нанести все размеры, отклонения, допуски. Начертить эскизы сопряжения в сборе и подетально с обозначением посадок и отклонений.

Таблица 1.1 – Индивидуальные задания

Вариант	Размер к чертежу соединения детали		Вариант	Размер к чертежу соединения детали	
1	$\varnothing 25 \frac{H8}{h7}$	$\varnothing 95 \frac{T7}{h6}$	11	$\varnothing 37 \frac{H7}{t6}$	$\varnothing 19 \frac{E8}{h7}$
2	$\varnothing 15 \frac{H7}{h6}$	$\varnothing 31 \frac{D9}{h8}$	12	$\varnothing 12 \frac{H7}{k6}$	$\varnothing 113 \frac{M7}{h6}$
3	$\varnothing 17 \frac{H7}{c8}$	$\varnothing 285 \frac{M7}{h6}$	13	$\varnothing 96 \frac{H6}{p5}$	$\varnothing 12 \frac{F9}{h9}$
4	$\varnothing 8 \frac{H8}{d9}$	$\varnothing 17 \frac{E8}{h6}$	14	$\varnothing 217 \frac{H8}{m7}$	$\varnothing 480 \frac{D10}{h10}$
5	$\varnothing 44 \frac{H9}{e8}$	$\varnothing 205 \frac{K7}{h6}$	15	$\varnothing 85 \frac{H9}{z8}$	$\varnothing 471 \frac{R7}{h6}$
6	$\varnothing 104 \frac{H8}{s7}$	$\varnothing 64 \frac{G7}{h6}$	16	$\varnothing 401 \frac{H9}{d9}$	$\varnothing 37 \frac{P7}{h7}$
7	$\varnothing 92 \frac{H7}{g6}$	$\varnothing 13 \frac{D10}{h9}$	17	$\varnothing 19 \frac{H8}{n7}$	$\varnothing 118 \frac{G7}{h7}$

8	$\varnothing 154 \frac{H5}{js5}$	$\varnothing 117 \frac{R7}{h6}$	18	$\varnothing 75 \frac{H9}{e8}$	$\varnothing 24 \frac{N5}{h5}$
9	$\varnothing 312 \frac{H6}{n5}$	$\varnothing 8 \frac{Js7}{h7}$	19	$\varnothing 190 \frac{H12}{e12}$	$\varnothing 15 \frac{M7}{h7}$
10	$\varnothing 28 \frac{H9}{f8}$	$\varnothing 475 \frac{P7}{h6}$	20	$\varnothing 14 \frac{H8}{f7}$	$\varnothing 157 \frac{C12}{h12}$

В задании вид сопряжения задан номинальным диаметром и условным обозначением конкретной посадки.

1. Исходя из заданных обозначений посадок, записать их условное обозначение дробью, как принято обозначать посадки на чертежах.

2. По таблицам ГОСТ 25347-82 найти отклонения размеров вала и отверстия.

3. Вычислить предельные размеры вала и отверстия.

4. Определить величину допусков каждой детали.

5. Найти величину предельных зазоров или натягов и допуск посадки.

6. Построить график полей допусков в определенном масштабе, нанести все размеры, отклонения, допуски.

7. Вычертить эскизы сопряжения в сборе и подетально с обозначением посадок и отклонений.

### Задание 2

1. Повторить учебный материал по теме «Стандартизация основных норм взаимозаменяемости. Основные понятия и определения ЕСДП. Стандартизация точности гладких цилиндрических соединений».

2. Определить на чертеже номинальный размер.

3. Определить на чертеже предельные (максимальный и минимальный) размеры.

4. Расшифровать все требуемые обозначения на заданном чертеже

### Контрольные вопросы

1. Интервалы размеров.

2. Что характеризует единица допуска и в зависимости от какой детали она определяется?

3. Что называется квалитетом и как вычисляют допуски для различных квалитетов?

4. Чем объясняется применение величины допуска разных номинальных размеров в пределах одного и того же квалитета?

5. Что называют посадкой?

6. Назовите три группы посадок, их назначение.

7. Что называют зазором и какие виды зазоров бывают?

8. Запишите формулы для вычисления зазоров через предельные размеры и предельные отклонения.

9. Какой зазор называют действительным и как его вычислить?

10. Что называют натягом и какие виды натягов бывают?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИЗМЕРЕНИЕ НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ

#### Общие положения

Штангенинструменты представляют собой показывающие инструменты прямого действия, с помощью которых размер изделия определяется по положению измерительной рамки, перемещающейся вдоль штанги со штриховой шкалой [2]. Штангенинструменты, снабженные нониусной шкалой, просты по конструкции и наиболее распространены на производстве.

Штангенциркули (ГОСТ 166-89) предназначены для измерения наружных и внутренних размеров деталей и выпускаются четырех типов: ШЦ-I (рис.2.1), ШТЦ-I, ШЦ-II (рис.2.2), ШЦ-III (рис.2.3). На рис. 2.1 показана конструкция наиболее универсального штангенциркуля типа ШЦ-I. Он состоит из штанги 1, измерительных губок 2 (верхних и нижних), рамки 3, зажима рамки 4, нониуса 5 и измерительной линейки 6.

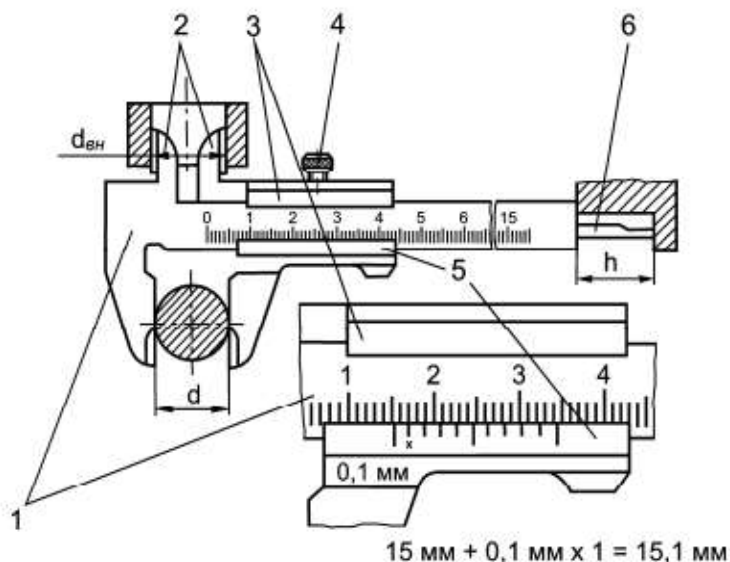


Рис. 5.1 Штангенциркуль ШЦ I

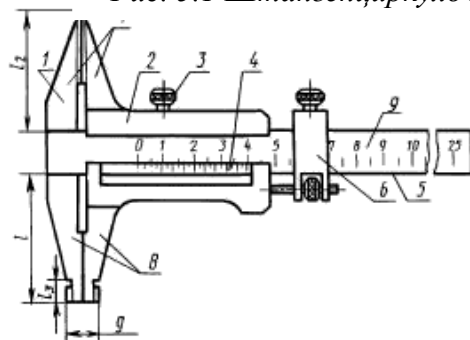


Рис. 2.3. Штангенциркуль ШЦ-II:  
1 – штанга; 2-рамка; 3- зажимающий элемент; 4 – нониус; 5- рабочая поверхность штанги; 6, 7- губки; 8- шкала штанги.

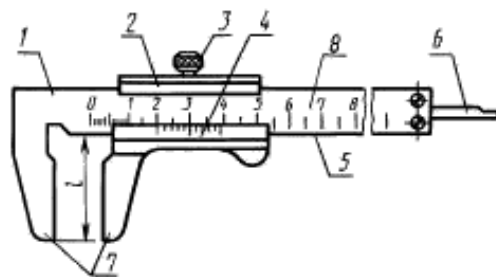


Рис. 2.2. Штангенциркуль ШЦ-II:  
1 – штанга; 2-рамка; 3- зажимающий элемент; 4 – нониус; 5- рабочая поверхность штанги; 6- глубиномер; 7- губки; 8- шкала штанги.

Перед тем как приступить к измерениям, необходимо проверить штангенциркуль. Поверхности губок должны быть ровными, без искривлений и забоин. Чтобы убедиться в этом, губки сдвигают до полного соприкосновения. Между измерительными поверхностями не должно быть просвета, а нулевые штрихи основной шкалы и шкалы нониуса должны совпадать. Если при исправных поверхностях губок нулевые штрихи не совпадают, то надо отвернуть винты нониусной пластинки и сдвинуть ее до совпадения штрихов. Затем следует проверить рамку. Если при затяжке стопорного винта возникает перекос и размер изменяется или же появляется зазор между губками, то такой штангенциркуль для работы непригоден.



Штангенрейсмасы (ГОСТ 164-90, рис. 2.4) используются для измерения высот и разметки деталей, установленных на плите. Штанга 7 установлена в массивном основании 8, нижняя плоскость которого является началом шкалы. Рамка 6 с нониусом 5 имеет кронштейн 1, на котором хомутом 3 крепятся измерительная 2 и разметочная 4 ножки.

Ножка 4 предназначена для разметки, поэтому грань этой ножки остро заточена и закалена. Ножка 2 имеет две измерительные поверхности, из которых верхняя (в виде ребра двухгранной призмы) служит для внутренних измерений (размер  $M + q$ ), а нижняя – для наружных измерений (размер  $M$ ). При измерениях наружных размеров можно пользоваться также и ножкой 4.

Чтобы измерительная поверхность ножек совпадала с плоскостью основания, ножки делают коленчатыми. Поэтому при проверке совпадения нулевых штрихов нижняя плоскость коленчатой ножки должна лежать в плоскости основания 8.

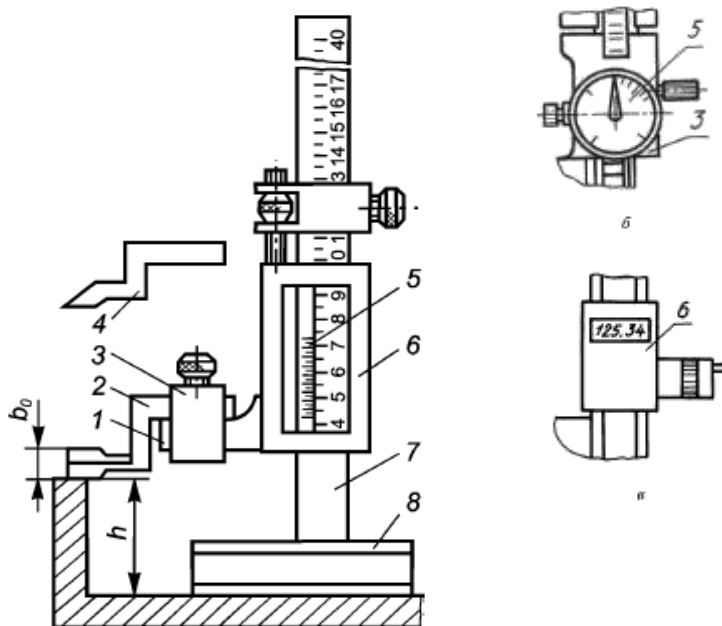


Рис. 2.4 Штангенрейсмас

Третий тип ножек представляет собой державку, в которой можно закреплять иглы различной длины. Иглами измеряют высоты в том случае, когда одна из поверхностей измеряемого объекта труднодоступна. При измерении надо от показания инструмента  $M$  вычесть  $m$ , что соответствует такому положению рамки, при котором острие иглы находится в одной плоскости с плоскостью основания. Штангенрейсмасы с пределами измерения более 200 мм имеют прямые ножки, а поэтому нижний предел измерения у них равен не нулю, а 30 – 60 мм. При использовании штангенрейсмаса для разметки изделие и сам инструмент устанавливают на плиту.

Штангенглубиномер ГОСТ 162-90 (рис. 2.5) применяют для измерения глубин, выточек, канавок, уступов и т. д. Он отличается от штангенциркуля тем, что не имеет на штанге 5 неподвижных губок, они оформлены в виде опорного основания – траверсы 9 с плоскостью, расположенной перпендикулярно к направлению штанги. Этой плоскостью штангенглубиномер устанавливают на измеряемый объект (измеряемый размер  $A$ ). У некоторых штангенглубиномеров штанга имеет Г-образный конец. Благодаря этому инструментом можно измерять не только глубины, но и буртики или заплечики (рис. 2.5). Правильность установки глубиномера при измерениях определяют по отсутствию просвета между плоскостью основания и плоскостью измеряемого объекта. Перед работой со штангенглубиномером следует убедиться в том, что между измерительной поверхностью

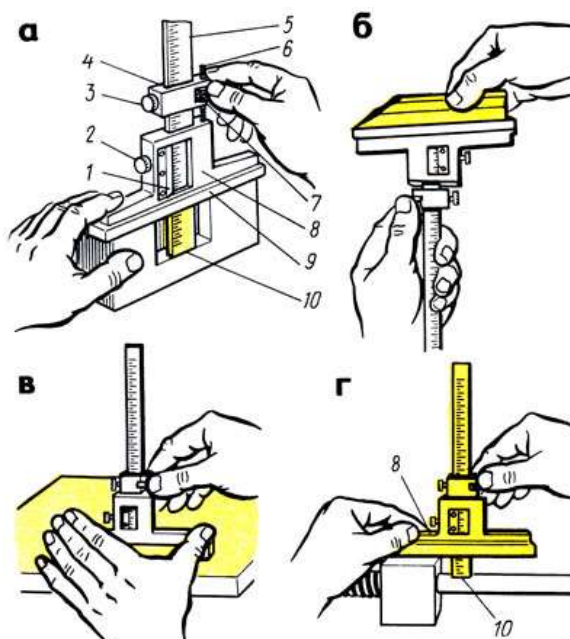


Рис. 2.5 Штангенглубиномер

1 – рамка; 2 и 3 – стопорные винты; 4 – хомут; 5 – штанга; 6 – винт микроподачи; 7 – гайка микровинта; 8 – нониусная пластинка; 9 – основание (траверса)

При измерениях штангенинструментами рамка перемещается по штанге до тех пор, пока измерительные поверхности плотно и без перекоса прилягут к тем поверхностям детали, которые ограничивают определяемый размер ( $d_{\text{вн}}$ ,  $d$  или  $h$ , см. рис. 2.2 и 2.3). Перекос рамки относительно штанги недопустим, так как это приведет к увеличению суммарной погрешности измерения. На штанге инструментов нанесена основная шкала с ценой деления  $a=1$  мм, а на рамке установлена или нанесена дополнительная штриховая шкала – нониус с пределом измерений, равным цене деления основной шкалы  $a$ . По положению нулевого штриха нониуса на основной шкале определяют целое число миллиметров в размере. Дробные доли миллиметра находят с помощью нониуса. Нониусы имеют различные цену деления шкалы  $C$  (отсчет по нониусу) и модуль  $\gamma$ , который показывает, через какое число делений основной шкалы будут располагаться штрихи нониуса, смещенные на значение отсчета. Линейные нониусы бывают нескольких типов, некоторые из которых приведены на рис. 5.4. Число делений шкалы нониуса  $n=a/C$ , длина деления шкалы нониуса  $b = \gamma a - C$ , полная длина шкалы нониуса  $l = nb = (\gamma - 1)a$

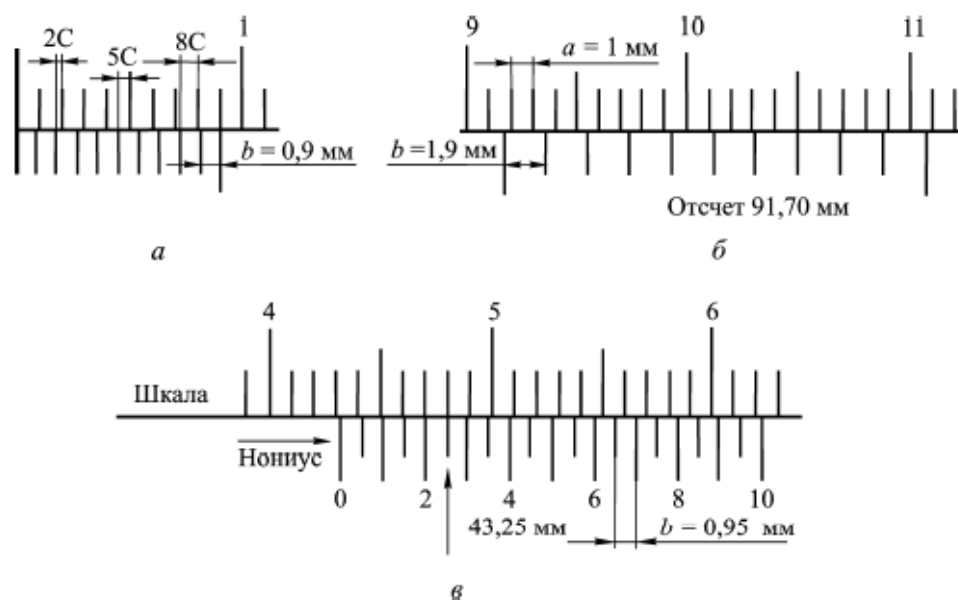


Рис.2.6. Линейные нониусы:

$a$  - губки штангенциркуля плотно сдвинуты, значение отсчета по нониусу равно нулю;  $б$  - значение отсчета равно 91,7мм;  $в$  - значение отсчета равно 43,25 мм

Если нулевой штрих нониуса совпадает со штрихом основной шкалы, например при плотно сдвинутых губках штангенциркуля (см. рис. 2.6,  $a$ ), то первый штрих нониуса смещен от штриха основной шкалы на значение  $C$  отсчета по нониусу, второй штрих –  $2C$ , третий штрих –  $3C$  и т.д. При перемещении нулевого штриха нониуса между делениями основной шкалы штрихи нониуса будут поочередно совпадать со штрихами основной шкалы. Когда дробная доля размера составит  $\Delta l = C$ , со штрихом шкалы совпадает первый штрих нониуса, при  $\Delta l = 2C$  – второй штрих, при  $\Delta l = 3C$  – третий штрих и т.д. Таким образом, указателем для нониуса служит штрих основной шкалы, совпадающий со штрихом нониуса. Число десятых долей миллиметра при отсчете по нониусу равно номеру этого штриха нониуса, умноженному на отсчет по нониусу  $C$ . На рис. 2.1 и 2.6,  $б$ ,  $в$ ; значения соответственно равны 15,1; 91,7; 43,25 мм.

Пределы измерений и цена деления рассмотренных штангенинструментов приведены в табл. 3. Их основная допускаемая погрешность  $\Delta_{\text{си}} = C$ , если измеряемый размер  $l \leq 1000$  мм, и  $\Delta_{\text{си}} = 0,2$  мм при измерении больших размеров.

Таблица 2.1 - Допускаемая погрешность штангенинструментов

Тип инструмента	Пределы измерений	Отсчеты по нониусу $C$	Допускаемая погрешность измерения $\Delta_{си}$
	мм		
ШЦ-I, ШЦТ-I ШЦ-II, ШЦ-III ШЦ- III	0...125 0...160, 0...200, 0...250 0...400, 250...630, 320...1000, 500...1600, 800...2000, 1800...3000, 2000...4000	0,1 0,05 и 0,1  0,1	$\Delta = C$ при $l \leq 1000$ мм; си $\Delta = 0,2$ мм при $l > 1000$ мм
Штангенрейсмасы	0...250, 40...400, 60...630 60...630, 100...1000, 600...1600, 1500...2500	0,05  0,5	
Штангенглубиномер	0...100, 100...200, 200...300, 300...400 400...600, 600...800, 800...1000	0,05 и 0,1	$\Delta = C$ при $l \leq 400$ мм; си $\Delta = 0,1$ мм при $l > 400$ мм; си $\Delta = 0,15$ мм при $l > 600$ мм

Кроме штангенинструментов с отсчетом показаний по нониусу существуют штангенинструменты с автоматическим отсчетом показаний, повышающие качество и производительность измерений. На рис. 5.7 в качестве примера показан штангенциркуль с электронным цифровым отсчетом.

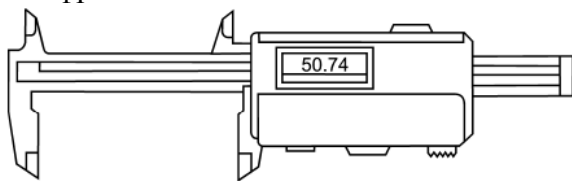


Рис. 2.7 Штангенциркуль электронным цифровым устройством

#### Методика измерений

Перед проведением измерения штангенциркулем, как и другим нониусным инструментом, проверяют нулевое положение. Для этого торцы обеих губок надо свести вместе и проверить на просвет. Если обе губки параллельны – просвета между ними не будет, если между губками имеется клиновидная щель, это указывает на износ губок и необходимость ремонта инструмента. Если губки параллельны, следует затем проверить, совпадает ли нуль нониуса с нулем шкалы штанги при сведенных губках. Общая ширина губок сверяется микрометром с размером, выгравированным на передней плоскости губок. Расхождение в размерах указывает на износ губок или на то, что они погнуты. После проверки нулевого положения штангенциркуля приступают к измерению.

При измерении наружных размеров штангенциркулем двусторонним с деталью соприкасаются плоские измерительные поверхности губок, при измерении внутренних размеров – цилиндрические измерительные поверхности. Сжатие должно быть плотным, чтобы исключалось качение детали, и вместе с тем настолько свободным, чтобы деталь могла скользить между измерительными поверхностями. Номинальное измерительное усилие достигается легким контактированием при перемещении проверяемых поверхностей детали относительно измерительных поверхностей. При чтении показаний штангенциркуля следует держать прямо перед глазами, чтобы исключить явление параллакса (для уменьшения параллакса поверхность, на которой нанесена шкала нониуса, имеет скос для того, чтобы приблизить шкалу нониуса к основной шкале на штанге).

Правило отсчета следующее: целое число миллиметров, содержащееся в размере детали, определяется целым числом интервалов шкалы штанги, заключенным между нулевым делением штанги и нулевым делением нониуса.

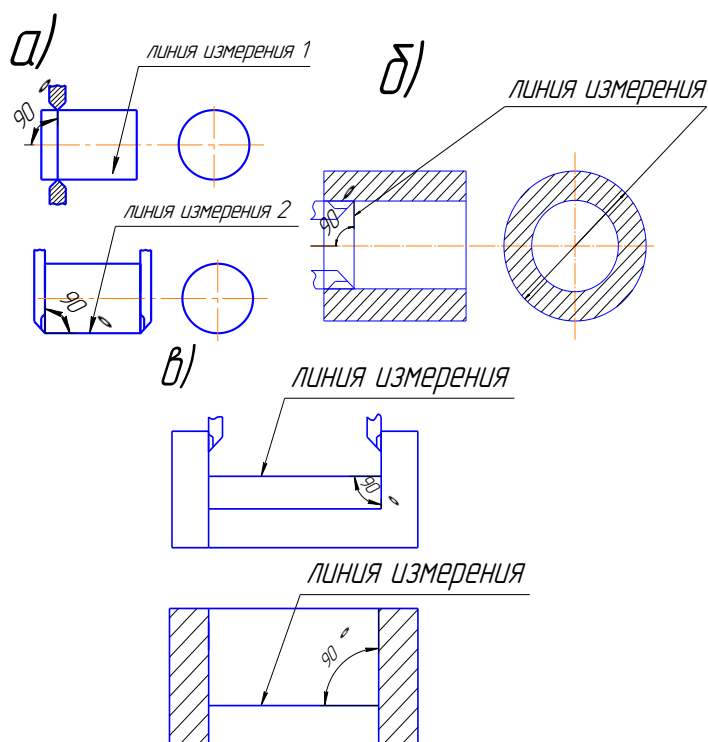


Рис. 2.8. Положение измерительных губок при измерении штангенциркулем

Дробная доля миллиметра равна порядковому номеру штриха шкалы нониуса, совпадающего с каким-либо штрихом шкалы штанги, умноженному на величину отсчета по нониусу. При измерении внутренних размеров к показанию инструмента необходимо прибавить размер толщины двух губок, намеченных на них.

При измерении глубины уступов штангенциркулем двусторонним с глубиномером линейку глубиномера выдвигают до прикосновения с ним дна впадины.

При измерении штангенциркулем необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) при измерении наружных размеров линия измерения 1 должна быть перпендикулярна оси детали, а линия измерения 2 – перпендикулярна параллельным плоскостям (рис. 2.8, а);
- 2) при измерении внутренних размеров линия измерения должна быть перпендикулярна оси детали и проходить через ее центр (см. рис. 2.8, б);
- 3) при измерении размеров внутренних параллельных поверхностей линия измерения должна быть перпендикулярна параллельным плоскостям (см. рис. 2.8, в);
- 4) при измерении глубины линейка глубиномера должна быть перпендикулярна поверхностям, между которыми проверяется глубина.

Все, что говорилось о методике измерений штангенциркулем, можно отнести к измерению штангенглубиномером. Имеется лишь некоторая особенность при проверке нулевого положения штангенглубиномера. При соприкосновении измерительных поверхностей основания и штанги с поверочной или лекальной линейкой нулевые штрихи нониуса и штанги должны совпадать.

### Цель работы:

- ознакомиться с устройством и метрологическими характеристиками штангенинструментов;
- научиться выбирать средства измерения по точности и производить правильно измерения;

- определить годность детали по точности размера.

### Средства измерения:

Штангенциркуль, штангенглубиномер, штангенрейсмас, поверочные плиты, призмы, плоскопараллельные концевые меры длины, лекальная линейка.

### Объект измерения:

Контролируемая деталь, справочник по допускам и посадкам

### Задание 1 Измерение штангенциркулем наружных размеров

Определить качество изготовления гладкого цилиндрического вала по результатам измерений.

Наиболее часто применяют схему контроля гладкой цилиндрической поверхности, представленную на рис. 2.9 Годность детали определится по результатам шести измерений в трех сечениях по длине детали: 1-1, 2-2, 3-3 в двух взаимно перпендикулярных направлениях А-А и В-В.

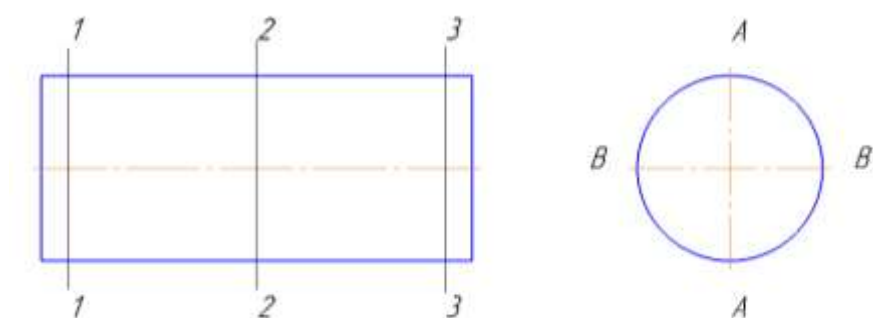


Рис. 2.9. Схема контроля гладкой цилиндрической поверхности

Прежде чем начать измерения, необходимо определить допуск на диаметр изготавливаемого вала, пользуясь таблицами ГОСТ 25347-82.

При выполнении настоящей лабораторной работы необходимо построить и заполнить таблицу в лабораторной работе № 5 по форме табл. 2.2. Размер детали по ЕСПД и допуск формы задается преподавателем.

Таблица 2.2

Размер детали по ЕСПД		(деталь № _____)			
Номинальный размер, мм	Предельные отклонения, мм		Предельные размеры, мм		Допуск размера, мм
	нижнее	верхнее	max	min	

Затем необходимо выбрать штангенциркуль и записать его метрологические характеристики по форме табл. 2.3

Таблица 2.3

Наименование СИ	
Тип СИ	
Цена деления нониуса, мм	
Пределы измерений, мм	
Длина деления нониуса, мм	
Допустимая погрешность, мм	

Измерить диаметр вала по схеме рис. 2.9, результаты измерений занести в таблицу; выполненную по форме табл. 2.4.

*Таблица 2.4 Результаты измерений*

Направление измерения	Действительные размеры, мм			Характер погрешности образующей	Значение погрешности образующей, мм
	сечение 1-1	сечение 2-2	сечение 3-3		
А-А					
В-В					
Овальность					
Огранка					

Погрешности формы цилиндрической детали подсчитать при выполнении лабораторной работы № \_\_ после прослушивания соответствующего материала на лекциях.

Под таблицей с результатами измерений предусмотреть место для словестного заключения о качестве контролируемой детали, которое необходимо сделать в ходе выполнения лабораторной работы № 6

### **Задание 2 Измерение штангенциркулем внутренних размеров**

Определить годность цилиндрической втулки, находящейся в эксплуатации, для дальнейшей ее эксплуатации.

Для втулки с малым отношением длины к диаметру схема измерений может быть упрощенной – в отличие от схемы, приведенной на рис. 2.9, можно ограничиться измерениями в двух сечениях по длине детали: 1-1 и 3-3, также в двух взаимно перпендикулярных направлениях А-А и В-В.

В отчете заполнить таблицу по форме табл. 2.5, допустимые значения для этой таблицы задаются преподавателем.

*Таблица 2.5*

Допускаемый предельный размер изношенной детали № _____, мм	
Допускаемое отклонение от круглости, мм	

Выбрать штангенциркуль и записать его метрологические характеристики по форме табл. 2.3.

Измерить диаметр втулки, результаты измерений занести в таблицу, выполненную по форме табл. 2.6

*Таблица 2.6*

Направление измерения	Действительные размеры, мм	
	сечение 1-1	сечение 2-2
А-А		
В-В		
Овальность		

Под таблицей оставить место для словесной рекомендации о дальнейшей эксплуатации втулки, которую необходимо сделать в ходе выполнения лабораторной №6

### **Задание 3 Измерение штангенглубиномером глубины канавок**

Определить качество изготовления канавок на наружной цилиндрической поверхности детали. Глубину каждой из трех канавок измерять в четырех радиальных сечениях, отстоящих друг от друга по 90° по окружности.

Выбрать для измерения штангенглубиномер и записать его метрологические характеристики в таблицу, выполненную по форме табл. 2.3.

Измерить глубину канавок, результаты измерений занести в таблицу, выполненную по форме табл. 2.7

*Таблица 2.7 Результаты измерений*

Номер канавки	Глубина канавок, мм				Максимальная разность глубин, мм	Допускаемая разность глубин, мм
	сечение 1-1	сечение 2-2	сечение 3-3	сечение 4-4		
1						
2						
3						

Вычислить максимальную разность глубин по каждой канавке, сравнить ее с допускаемым значением, которое задается преподавателем. Под таблицей сделать словесное заключение о качестве изготовления канавок.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое понятия: «вал», «отверстие», глубина уступа, высота выступа?
2. Влияет ли тип поверхности на выбор СИ?
3. Два способа задания требований по точности к изготовлению размеров (предельными размерами, предельными отклонениями).
4. Что такое допуск? Что он характеризует? Что такое поле допуска, и что оно характеризует? Как обозначаются поля допусков на чертежах?
5. Как выбираются средства измерения по точности?
6. Что такое допускаемая погрешность измерения размеров и от чего она зависит?
7. Что такое предельная погрешность измерения средством измерения?
8. Как определяется годность детали по каждому размеру и годность детали в целом?
9. Что значит исправимый и неисправимый брак?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

### **ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ**

#### **Общие положения**

Микрометрические приборы предназначены для абсолютных измерений и основаны на использовании точной винтовой пары для преобразования вращательного движения микрометрического винта в поступательное. По конструкции их можно разделить на: микрометры для наружных измерений, микрометры для внутренних измерений, микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры для измерения отверстий.

Отсчетное устройство микрометрических приборов ГОСТ 6507-90 (рис. 10) состоит из двух шкал: продольной 1 и круговой 2. Продольная шкала имеет два ряда штрихов, расположенных по обе стороны горизонтальной линии и сдвинутых один относительно другого на 0,5 мм. Оба ряда штрихов образуют, таким образом, одну продольную шкалу с ценой деления 0,5 мм, равной шагу микровинта. Круговая шкала, нанесенная на конической части барабана 2, обычно имеет 50 делений (при шаге винта 0,5 мм). По продольной шкале отсчитывают целые миллиметры и 0,5 мм, по круговой шкале – десятые и сотые доли миллиметра. Поворот барабана 2 на одно деление соответствует перемещению микровинта на 0,01 мм, а полный оборот барабана – на 0,5 мм. На рис. 6.1 показаны два положения, соответствующих размеру 13, 22 и 13,72.

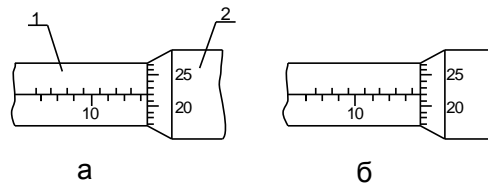


Рис. 3.1. Пример отсчета показаний: а – отсчет 13,22; б – отсчет 13,72

Приборы микрометрические для наружных измерений выпускаются следующих типов: микрометрические головки, микрометры с плоскими измерительными поверхностями и сменной пяткой, микрометры для зубчатых колес, микрометры для проволоки, микрометры для труб, микрометры листовые с циферблатом и др.

Наибольшее распространение для наружных измерений получили микрометры с плоскими измерительными поверхностями. Они выпускаются с диапазоном измерения, мм: 0 – 25, 25 – 50, 50 – 75, 75 – 100 и ценой деления 0,01 мм. На рис. 6.2 показан микрометр с плоскими измерительными поверхностями с диапазоном измерений 0 – 25 мм и ценой деления 0,01 мм.

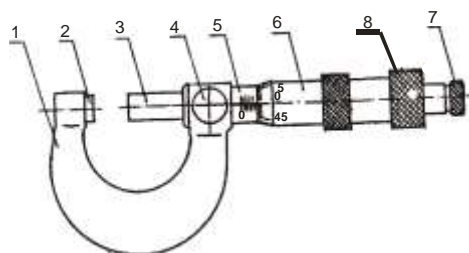


Рис. 3.2. Микрометр: 1 – скоба; 2 – пятка; 3 – микровинт; 4 – стопор; 5 – стержень; 6 – барабан; 7 – трещотка

К микрометрическим измерительным инструментам относятся: микрометры для наружных измерений; микрометры для внутренних измерений – штихмассы и микрометрические глубиномеры. У всех этих инструментов в качестве измерителя служит микрометрическая головка.

Микрометры для наружных измерений. Любой микрометр имеет скобу 1 (рис. 3.3), на левом конце которой запрессована жесткая пятка 2 или, если пределы измерения больше 300 мм, сменные удлиненные пятки (рис. 3.4). Установку пяток ведут с помощью калибра. На правом конце скобы смонтирована микрометрическая головка б (см. рис. 3.3), состоящая из стержня 5, барабана и подвижной пятки 4, связанной с микровинтом. Барабан соединен с установочным колпачком 7 и трещоточным устройством 8. Для фиксирования полученного при измерении размера микровинт стопорится рычажком тормозного приспособления 9.

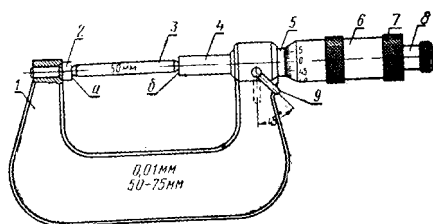


Рис.3.3. Микрометр для наружных измерений: 1 – скоба; 2 – жесткая пятка; 3 – калибр (концевая мера) для установки микрометра на нуль; 4 – подвижная пятка (микровинт); 5 – стержень; 6 – микрометрическая головка; 7 – установочный колпачок; 8 – трещоточное устройство; 9 – тормозной приспособление

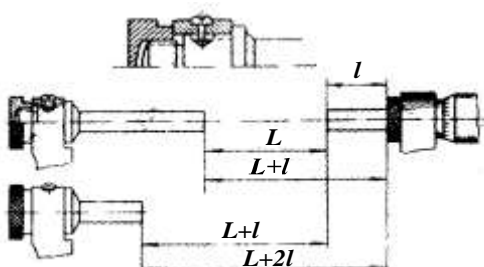


Рис. 3.4. Крепление сменных пяток

При измерении объект вводят между пятками микрометра и, вращая барабан за головку трещоточного устройства 8, подводят подвижную пятку 4 до соприкосновения с ним. После того как головка трещоточного устройства начнет проворачиваться,



отсчитывают показания. Микрометры имеют пределы измерения от 0 до 600 мм с интервалом через 25 мм (до 300 мм) и с интервалом 100 мм (после 300 мм).

Перед измерениями микрометр необходимо проверить на совпадение нулевых штрихов на стебле и барабане. Если нулевые штрихи не совпадают, то микрометр необходимо настроить. Настройку микрометра ведут в следующем порядке.

1. Поворачивают рычаг тормозного приспособления 9 (рис. 3.3) и освобождают (расстопоривают) микровинт.

2. Создают зазор в 1 мм между пятками 2 и 4 (см. рис. 3.3) или, если между пятками вставлена концевая мера 3 (см. рис. 3.3), между торцом концевой меры и пяткой 4.

3. Вращают барабан за головку трещоточного устройства 8, доводя пятки 2 и 4 до соприкосновения. Момент соприкосновения обнаруживается по характерному звуку трещоточного устройства. В этом положении проверяют совпадение нулевого штриха на барабане с нулевым штрихом на стебле 5. Если нулевые штрихи совпадают, микрометр готов к работе, если же нет, то необходима его настройка. В этом случае проводят следующие операции.

4. С помощью рычага тормозного приспособления 9 (см. рис. 3.3) стопорят микровинт.

5. В этом положении отъединяют барабан 6 (см. рис. 3.3) от микровинта пятки 4. Для этого, придерживая барабан левой рукой, правой рукой ослабляют соединительный колпачок

7. В результате этого барабан может свободно вращаться вокруг стебля и его можно установить на нуль.

6. Установив барабан на нуль, осторожно завертывают (наживляют) соединительный колпачок 7.

7. Освободив стопор и отъединив измерительные пятки друг от друга или от установочного калибра, закрепляют соединительный колпачок окончательно. После этого еще раз повторяют первые три операции для проверки установки.

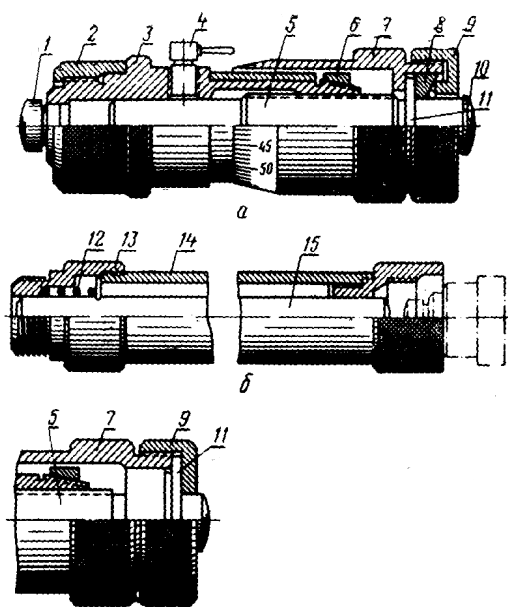


Рис. 3.5. Микрометрический нутромер: 1 и 10 – сферические наконечники; 2 – предохранительная гайка; 3 – стебель; 4 – стопорный винт; 5 – микровинт; 6 – регулировочная гайка; 7 – барабан; 8 – разрезное кольцо; 9 – установочный колпачок; 11 – буртик; 12 – пружина; 13 – предохранительная головка; 14 – предохранительная трубка; 15 – удлинитель

#### Микрометрические нутромеры (штихмассы)

ГОСТ 10-88 применяют для измерений диаметров отверстий или внутренних размеров более 50 мм. Микрометрический нутромер состоит из головки (рис. 3.5, а) и удлинителей (см. рис. 3.5, б). В головку входят собственно микрометрический винт 5, стебель 3 с нарезным левым концом, на который навинчиваются удлинители или предохранительная гайка 2, сферические наконечники 1 и 10, которые соприкасаются со стенками измеряемого объекта, стопорный винт 4, барабан 7 и установочный колпачок 9. Наименьшим размер микрометрического нутромера будет тогда, когда нулевое деление шкалы барабана 7 совпадает с начальным штрихом продольной шкалы на стебле 3.

В большинстве нутромеров наименьший размер – 75 мм и более. Наибольший же размер зависит от числа удлинителей, соединенных с головкой, и их размеров. Для уменьшения погрешности при измерениях необходимо использовать не более 3 – 4 удлинителей. Чтобы соединить удлинитель с микрометрической головкой, необходимо отвернуть предохранительную гайку 2, а вместо нее навернуть правый конец удлинителя. При наворачивании измерительный наконечник 1, нажимая на правый конец удлинителя 15 (см. рис. 3.5, б), заставляет выйти наружу его левый

измерительный конец. При развинчивании головки стальной стержень (штихмасс) под

воздействием пружины 12 снова скрывается в металлическую трубку 14. На свободный конец удлинителя с резьбой может быть навинчен другой удлинитель и т. д. На свободный конец последнего удлинителя навинчивают предохранительную гайку.

В процессе измерений нутромер вводят в отверстие и один конец его упирают в поверхность измеряемого объекта, а другой, вращая барабан, приводят в соприкосновение с противоположной поверхностью. Покачивая нутромер сначала в осевом, а потом в диаметральных направлениях, находят наименьший и наибольший размеры. Зафиксировав размер с помощью стопора и вынув нутромер из отверстия, производят отсчет. При использовании удлинителей необходимо наворачивать их на головку, начиная с больших размеров, так как другая последовательность установки удлинителей приводит к увеличению погрешности измерений.

Нулевую установку головки нутромера проверяют концевыми мерами или специальной скобой, приложенной к нутромеру.

Проверку и настройку штихмасса ведут в следующем порядке.

1. Вводят в скобу микрометрическую головку с надетой на нее предохранительной гайкой 2.

2. Отстопорив микровинт 4 и придерживая левой рукой микрометрическую головку в скобе, правой рукой поворачивают барабан 7 до тех пор, пока наконечники 1 и 10 не соприкоснутся с боковыми стенками скобы. В этом положении стопорят микровинт.

3. Вынимают микрометрическую головку и, придерживая левой рукой барабан 7, правой рукой ослабляют колпачок 9. В этом положении барабан легко поворачивается вокруг стебля 3 и может быть установлен так, чтобы его нулевой штрих совпадал с нулевым штрихом стебля.

4. Легко затягивают колпачок 9, отстопоривают его и затягивают окончательно. Головка настроена и готова к работе.

**Микрометрический глубиномер ГОСТ 7470-90** (рис. 3.6) служит для измерения глубины отверстий, уступов, выточек и т. д. У глубиномеров со стеблем соединена не скоба, как у микрометров, а основание (траверса) 1. Кроме того, в отличие от микрометров нуль основной шкалы микрометрической головки глубиномеров расположен не слева, а справа. В остальном головка глубиномера сходна с головкой микрометра. В нижнем конце микровинта сделано отверстие 10, в которое может быть введен цилиндрический стержень 11 необходимой

длины (длина стержня зависит от измеряемого размера). На конце каждого цилиндрического стержня имеется пружинящее устройство, обеспечивающее достаточную связь стержня с микровинтом. Сменные стержни могут быть четырех размеров: 0 – 25 – 50; 50 – 75 100 мм.

Проверку и настройку микрометрического глубиномера ведут в следующем порядке:

1. Вывертывают барабан 5 микрометрической головки настолько, чтобы конец измерительного стержня скрылся в отверстии траверсы.

2. Устанавливают траверсу на поверочную плиту и, прижимая ее левой рукой, вращают правой рукой головку трещоточного устройства 8 до появления щелчков. В этом положении микровинт 3 фиксируют с помощью стопорного винта 9.

3. Придерживая левой рукой барабан 5, ослабляют правой рукой колпачок 7. В этом положении барабан легко поворачивается вокруг стебля и может быть установлен так, что его нулевой штрих совпадет с нулевым штрихом стебля.

4. Завертывают колпачок 7 и расстопоривают микровинт. Прибор готов к работе.

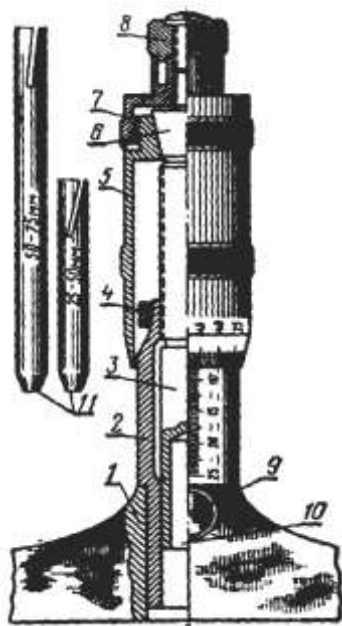


Рис. 3.6. Микрометрический глубиномер: 1 – основание (траверса); 2 – стебель; 3 – микровинт; 4 – регулировочная гайка; 5 – барабан; 6 – хвостовик винта; 7 – установочный колпачок; 8 – трещоточное устройство; 9 – стопорный винт; 10 – отверстие для установки стержня; 11 – стержни

## Методика измерений

Перед началом измерения необходимо проверить установку микрометра на «нуль». Для этого у микрометра с пределами измерений 0 – 25 мм, осторожно вращая винт 3 за трещотку 7 (см. рис. 3.3), приводят в соприкосновение предварительно очищенные от грязи измерительные поверхности микрометра. У микрометра с пределами измерения 25 – 50 мм измерительные поверхности приводят в соприкосновение со специальной установочной мерой длины 25 мм или с плоскопараллельной концевой мерой длины любого размера. Момент соприкосновения характеризуется проскальзыванием и треском трещотки.

При соприкосновении скошенный край барабана 6 должен установиться так, чтобы штрих начального деления миллиметровой шкалы (нуль или 25 мм) был полностью виден, а нулевое деление шкалы барабана 6 должно оставаться против продольного штриха на стебле 5. Если микрометр установлен неправильно, то положение барабана 6 на стебле 5 необходимо изменить. Для этого (после приведения измерительных поверхностей в соприкосновение между собой или установочной мерой) закрепляют стопорным устройством 4 микровинт 3. Придерживая барабан 6 левой рукой за накатный выступ, отвертывают гайку 8, разъединяя тем самым корпус барабана с микровинтом. Затем поворотом барабана восстанавливают его нулевое положение и закрепляют гайку 8. Следует иметь в виду, что при затягивании гайки нулевая установка может нарушиться. Поэтому, отжав стопор 4, ее нужно снова проверить и при необходимости регулировку повторить.

При измерении микрометр нужно держать в руке или установить в специальной стойке. Для выполнения измерения деталь зажимают между измерительными поверхностями микрометра. Зажим необходимо производить, вращая микровинт обязательно за трещотку 7 до появления треска. После этого снимают отсчет. Отсчет производят суммированием показаний на продольной и круговой шкалах.

При измерении микрометром необходимо соблюдать следующие правила:

1) при измерении диаметра цилиндрической детали линия измерения должна быть перпендикулярна образующей и проходить через центр (рис. 3.7, а);

2) при измерении микрометром расстояния между параллельными плоскостями линия измерения должна быть им перпендикулярна (см. рис. 3.7, б);

3) при чтении показаний микрометр следует держать прямо перед глазами во избежание искажения результатов измерений за счет параллакса.

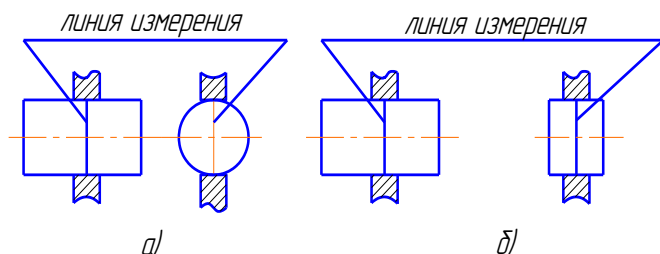


Рис. 3.7. Положение измерительных губок при измерении микрометром

На современном этапе развития измерительных инструментов все большее распространение получают микрометрические инструменты с цифровым отсчетным устройством. Такие приборы позволяют более точно измерять размеры детали, т.к. снижается вероятность ошибки, вызванной человеческим фактором. Кроме того, процесс измерения детали значительно упрощается и ускоряется.

### Цель работы

- ознакомиться с устройством и метрологическими характеристиками микрометрических инструментов;
- научиться выбирать средства измерения по точности и производить правильно измерения;

### Средства измерения

Микрометры с разными пределами измерений, микрометрический нутромер, микрометрический глубиномер, поверочные плиты, призмы, штатив для крепления микрометров,

### Объект исследования

Деталь такой формы, чтобы на ней можно было применить все микрометрические инструменты; эскиз детали с указанием размеров, подлежащих измерению; таблица предельных отклонений предельных размеров отверстий и валов; таблица погрешностей средств измерения.

### Задание 1 Измерение наружных размеров гладкими микрометрами

Эта работа выполняется аналогично лабораторной работе №2. Необходимо определить качество изготовления гладкого цилиндрического вала по результатам измерений.

Построить таблицу по форме табл. 2.2. Заполнение таблицы произвести в ходе лабораторной работы №5. Размер детали по ЕСДП и допуск формы выдается преподавателем.

Выбрать гладкий микрометр с необходимыми пределами измерений и записать его метрологические характеристики по форме табл. 3.1.

Таблица 3.1

Наименование СИ	
Тип СИ	
Цена деления, мм	
Пределы измерения, мм	
Допустимая погрешность, мм	

Проверить правильность настройки микрометра на ноль. Измерить диаметр вала по схеме рис. 2.9, результаты измерений занести в таблицу, выполненную по форме табл. 2.4. Погрешности формы ОИ подсчитать при выполнении лабораторной работы № \_\_\_\_\_. Под таблицей с результатами измерений предусмотреть место для словесного заключения о качестве контролируемой детали, которое сделать в ходе выполнения лабораторной работы № 6.

### Задание 2 Измерение толщины стенок втулки

Определить качество изготовления втулки измерением толщины ее стенок.

Выбрать микрометр соответствующего типа с необходимыми пределами измерений и записать его метрологические характеристики по форме табл. 3.1.

Проверить правильность настройки микрометра на ноль. Измерить толщину стенок втулки в среднем сечении по длине в четырех местах (через 90° по окружности). Результаты занести в таблицу, выполненную по форме табл. 3.2

Таблица 3.2

Толщина стенки				Средняя толщина стенки, мм	Максимальное отклонение, мм	Допустимое отклонение, мм
1	2	3	4			

Вычислить среднее арифметическое значение толщины стенки, максимальное отклонение толщины стенки от средней, сравнить это значение с допускаемым, которое задается преподавателем и сделать словесное заключение о качестве изготовления втулки.

### Задание 3 Измерение толщины листов

Определить качество изготовления плитки. Выбрать микрометр соответствующего типа с необходимыми пределами измерений и записать его метрологические характеристики по форме табл. 3.1.

Проверить правильность настройки микрометра на ноль. Измерить толщину плитки в пяти точках по схеме рис. 3.8



Рис. 3.8 Схема измерения

Результаты измерений занести в таблицу, выполненную по форме табл. 3.3

Таблица 3.3

Толщина плитки					Характер погрешности	Значение погрешности, мм	Допускаемая толщина, мм	Допуск формы, мм
1	2	3	4	5				

Допускаемые значения для табл. 3.3 задаются преподавателем. **Погрешности формы контролируемого изделия определить в ходе лабораторной работы № \_\_\_\_.** Заключение о качестве изделия сделать в ходе выполнения лабораторной работы № 6 под таблицей.

#### Задание 4 Измерение глубины канавок

Выбрать микрометрический глубиномер с необходимыми пределами измерений, подобрать соответствующий измерительный стержень, проверить правильность настройки на ноль. Записать метрологические характеристики инструмента по форме табл. 3.1

Далее эту часть работы выполнить аналогично работе описанной в задании 3 лабораторной работы №2

#### Задание 5 Измерение внутреннего диаметра втулки

Выбрать микрометрический нутромер с необходимыми пределами измерений, настроить его на размер, записать его метрологические характеристики по форме табл. 3.1.

Выполнить работу аналогично работе, описанной в задании 2 лабораторной работы № 2

#### Контрольные вопросы

1 Дать определение номинальному, предельному, действительному размерам, предельным отклонениям, допуску.

2 Виды микрометрических инструментов.

3 Порядок проверки и установки микрометрических инструментов на ноль.

4 Порядок измерения микрометрическими инструментами и правила снятия отсчета.

5 Современные виды микрометрических инструментов.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

#### ИЗМЕРЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ

##### Общие положения:

##### Устройство

Индикаторные нутромеры по точности измерений и удобству их использования стоят значительно выше, чем микрометрические нутромеры.

Наиболее распространенные типы индикаторных нутромеров – с рычажной передачей, с клиновой передачей и цанговый ГОСТ 868-82 и ГОСТ 4381-87.

Индикаторные нутромеры с рычажной передачей (рис. 4.1) изготавливают шести типоразмеров с диапазонами измерений: 18 – 35; 35 – 50; 50 – 100; 100 – 160; 160 – 250; 250 – 450 мм. Устроен нутромер следующим образом. С корпусом 15 скреплена втулка 12, в которую с одной стороны ввернут регулируемый сменный стержень 14, а с другой – свободно перемещающийся вдоль оси стержень 2. Измерительные стержни – подвижный и регулируемый – располагаются на одной оси. Стержень 14 после установки на размер  $B_A$  закрепляют гайкой 13.

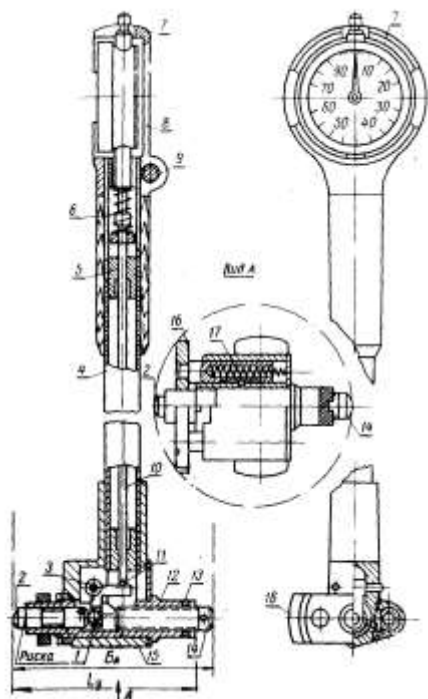


Рис.4.1. Индикаторный нутромер с рычажной передачей: 1 – шарик; 2 – подвижный стержень; 3 – ось; 4 – трубка; 5 – теплоизоляционная прокладка; 6 – пружина; 7 – кожух; 8 – индикатор; 9 – стопорный винт; 10 – стержень; 11 – двуплечий рычаг; 12 – втулка; 13 – стопорная гайка; 14 – переставной стержень; 15 – корпус; 16 – центрирующий мостик; 17 – пружина

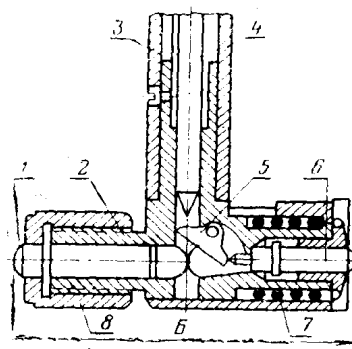


Рис. 4.2. Корпус индикаторного нутромера с рычажной передачей и вставными стержнями: 1 – сменный стержень; 2 – втулка; 3 – трубка; 4 – стержень; 5 – двуплечий рычаг; 6 – подвижный стержень; 7 – пружина; 8 – гайка

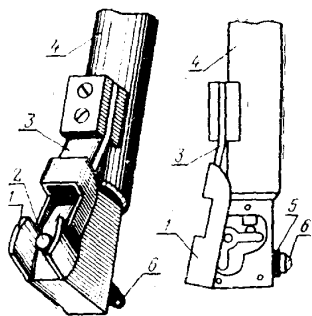
При установке индикаторного нутромера на размер необходимо следить за тем, чтобы риска измерительного стержня 2 находилась в плоскости торца втулки 12. В этом положении оба плеча рычага 11 располагаются перпендикулярно к осям стержней 2 и 10, что обеспечивает предельное снижение погрешностей, возникающих в передаче. Перемещение стержня 2 вдоль своей оси передается стержню 10 через двуплечий рычаг 11, который вращается на оси 3. Стержень 10 давит на стержень индикаторной головки 8, передавая показания стрелке индикатора.

Для уменьшения погрешности при измерениях в концы двуплечего рычага 11 впрессованы шарики 1, которыми он соприкасается с плоскими торцами стержней 2 и 10. Стержень 10 перемещается в направляющих втулках трубки 4, соединенной с корпусом. На верхний конец этой трубки насажена теплоизоляционная накладка.

Измерительное усилие нутромера создается совместным действием пружины 6 и пружины индикатора. Чтобы при измерениях оси измерительных стержней совпадали с диаметральной направлением, а не располагались по хорде, в конструкции нутромера предусмотрен центрирующий мостик 16, который под действием пружин 17 все время прижимается к образующим измеряемого объекта.

Индикатор крепят к нутромерам вместе с кожухом 7, который предохраняет его от случайных повреждений.

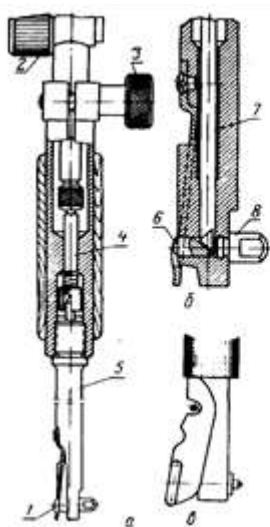
В некоторых конструкциях сменный стержень сделан не нарезным, а гладким. Такой стержень 1 (рис. 4.2) вставляют во втулку 2 и закрепляют гайкой 8. У индикаторных нутромеров с диапазоном измерений 18 – 35 мм (рис. 4.3) центрирующий мостик 1 выполнен



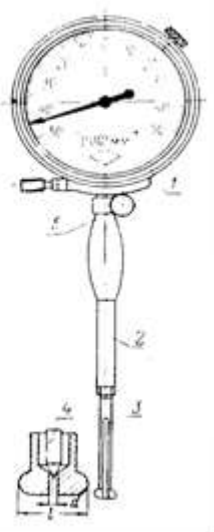
в виде коробки, укрепленной на пружине 3. У таких нутромеров переставной стержень 6 также закрепляют контргайкой 5.

*Рис. 4.3 Корпус индикаторного нутромера для размеров от 18 до 35 мм: 1 - центрирующий мостик; 2 – подвижный стержень; 3 – плоская пружина; 4 – трубка; 5 – стопорная гайка; 6 – переставной стержень*

Индикаторные нутромеры с клиновой передачей (рис. 4.4) используют для измерений отверстий диаметром от 6 до 18 мм. Такие нутромеры изготовляют двух типоразмеров: от 6 до 10 и от 10 до 18 мм. Они отличаются от рассмотренных тем, что передача размера осуществляется не через двуплечий рычаг, а при помощи клинового устройства (см. рис. 4.4., б). Подвижный стержень 6 на правом конце имеет косой срез. Если стержень перемещается вдоль своей оси, то косой срез, упираясь в такой же срез штока 7, перемещает его вверх. Шток 7 надавливает на движок 4, который давит на измерительный стержень индикаторной головки 2. Центрирующим мостиком в данном случае служит или плоская пружина 3 (см. рис. 4.4), или фасонная пружина (см. рис. 4.4, в). Нутромеры размером от 6 до 10 мм бывают и без центрирующего мостика. В этих нутромерах стержни 8 также можно менять в зависимости от размера, который подлежит измерению. Таких сменных стержней прилагается 9 – с переходом от одного к другому через 1 мм для нутромеров от 10 до 18 мм и через 0,5 мм – для нутромеров от 6 до 10 мм.



*Рис. 4.4. Индикаторный нутромер с клиновой передачей: 1 – центрирующий мостик; 2 – индикатор; 3 - стопорный винт; 4 – движок; 5 – трубка; 6 – подвижный стержень с клиновым срезом; 7 – шток с клиновым срезом в нижней части; 8 – переставной стержень*



*Рис. 4.5. Цанговый нутромер: 1 – измерительная головка; 2 – корпус; 3 – сменная цанга; 4 – стержень-шток; 5 – стопорный винт*

Цанговые индикаторные нутромеры (рис. 4.5) предназначены для измерений отверстий диаметром от 3 до 10 мм. Их изготовляют двух типоразмеров: от 3 до 6 и от 6 до 10 мм. Такие нутромеры состоят из трубчатого корпуса 2, внутри которого проходит стержень 4 с конусным концом, сменной цанги 3 со сферическими измерительными наконечниками и измерительной головкой 1. В этих нутромерах чаще всего используются микрометрические измерительные головки с двусторонней шкалой. При сжатии сферических наконечников



изменяется размер  $l$ , а вместе с ним и диаметр разрезного отверстия, стенки которого, воздействуя на коническую часть стержня 4, перемещают его вверх. Таким образом осуществляется передача показаний к индикаторной головке.

#### Подготовка к измерению

Подготовку индикаторных нутромеров к измерению отверстий ведут в следующем порядке (см. рис. 4.1).

1. Устанавливают необходимую индикаторную головку в прибор, для чего отпускают винт 9 и снимают головку с кожухом 7, а затем надевают ее на конец трубки так, чтобы при измерениях было удобно читать показания. Наиболее удобным будет такое положение головки, когда при обращенном вперед циферблате центрирующий мостик 16 будет также направлен вперед, а стержень 14 – к противоположной стороне.

У нутромеров без кожуха (см. рис. 4.4) при замене головки отпускают винт 3 и ставят головку так, чтобы было удобно читать показания. Переставной стержень 8 должен быть такого размера, чтобы, ввернутый достаточно надежно в свое гнездо, он отстоял от торца стержня 6 на расстояние немного большее, чем размер, от которого будут определяться отклонения.

При установке индикаторной головки необходимо ее измерительный стержень опустить настолько, чтобы малая стрелка встала на нуль. В этом положении головку закрепляют стопорным винтом 3.

2. Подбирают переставной стержень в соответствии с размером, который подлежит измерению. У индикаторного нутромера с рычажной передачей (см. рис. 4.1) переставной стержень 14 ввертывают во втулку 12, а у нутромера с клиновой передачей (см. рис. 4.4) стержень 8 ввертывают в корпус.

3. Составляют блок концевых мер для заданного установочного размера  $L_y$  и закрепляют его в струбцинке с боковичками. В некоторых случаях для этой цели можно использовать микрометр, установленный на размер  $L_y$ .

4. Устанавливают в рассматриваемой системе необходимый «натяг» путем увеличения размера  $L_y$  до БА (см. рис. 4.1) с помощью переставного стержня 14. Делают это так:

а) взяв в левую руку нутромер около корпуса и прижимая его стержнем 2 (к левому боковичку струбцинки или к неподвижной пятке микрометра), правой рукой медленно вывертывают стержень 14, следя за большой стрелкой индикатора (вывертывать стержень надо до тех пор, пока стрелка не сделает требуемого числа оборотов);

б) наклоняют нутромер в сторону мостика и извлекают его из струбцинки или микрометра;

в) не сбивая положения переставного стержня, закрепляют его гайкой 13, после чего снова вводят в струбцинку и окончательно уточняют значение установочного «натяга».

После этого прибор готов к использованию.

#### Настройка индикаторного нутромера с целью определения отклонений от заданного размера

Порядок выполнения задания по настройке индикаторного нутромера с рычажной передачей.

1. Изучить принцип работы индикаторных головок с многооборотной стрелкой.

2. Расшифровать заданный размер.

3. Составить блок концевых мер под заданный установочный размер  $L_y$ , равный  $D_{A(\min)}$ . Так как положение поля допуска размера измеряемой детали относительно номинальной линии может быть самым различным, размер блока концевых мер должен быть таким, чтобы в любом случае объект измерений касался конца подвижного стержня 2 и чтобы запас его хода был не меньше установленного «натяга». Таким образом, при измерениях отверстий блок концевых мер должен быть равен

$$L_{\text{бл}(A)} = D_{A(\min)} \cdot \quad (1)$$

4. Определить значение необходимого установочного «натяга»  $u_A$ .



5. Установить малую и большую стрелку на нуль. Малую стрелку устанавливают на нуль в процессе соединения головки с прибором, большую стрелку – путем поворота ободка индикатора.

6. Подготовить индикаторный нутромер для измерений.

7. Установить значение измеренного натяга  $u$ .

При измерениях индикаторными нутромерами следует придерживаться следующего порядка:

а) ввести индикатор-нутромер в отверстие так, как показано на рис. 25, а, т. е. наклонно, чтобы сначала опустился в сжатом виде мостик 1б, а потом уже подвижный стержень 2;

б) добиться такого положения нутромера, при котором ось стержней 2 и 1а (см. рис. 4.1) или аб (см. рис. 4.6, а) была перпендикулярна к оси измеряемого объекта. Это положение находят в процессе плавного перевода нутромера из позиции А (рис. 4.6, б) в позицию Б и обратно. Наблюдая в это время за индикаторной стрелкой, отмечают ее наибольшее отклонение вправо. Этому отклонению стрелки и соответствует искомый размер измеряемой величины. При измерении же расстояния между параллельными плоскостями необходимо покачивать нутромер в двух взаимно перпендикулярных направлениях и в каждом из них устанавливать положение, после которого стрелка индикатора возвращается обратно.

По окончании измерений нутромер надо снова наклонять в сторону мостика 1б (см. рис. 4.6, а) до тех пор, пока стержень 2 не займет крайнего левого положения, и извлечь из отверстия. Если не соблюдать этого правила, можно поломать стрелку индикатора или зубчатые колеса.

Порядок выполнения задания по настройке индикаторного нутромера с клиновой передачей (см. рис. 4.4) и цангового нутромера (см. рис. 4.5) сохраняется таким же, как и при настройке нутромеров с рычажной передачей (пункты 1 – 7). Особенность их настройки заключается в том, что для нутромеров с клиновой

передачей установлен набор сменных стержней определенной длины: для нутромеров от 10 до 18 мм стержни отличаются по длине один от другого на 1 мм, а для нутромеров от 6 до 10 мм – на 0,5 мм. Значит, стержни и цанги необходимо брать такие, чтобы их размер  $L$  был больше номинального размера на значение установочного натяга.

8. Определить значение действительного отклонения по формуле:

$$\Delta_{A(D)} = a_A - u. \quad (2)$$

В свою очередь, условный параметр:

$$a_A = y_A + \Delta_{H(A)}, \quad (3)$$

где  $y_A$  – значение установочного «натяга»;  $u$  – значение измеренного

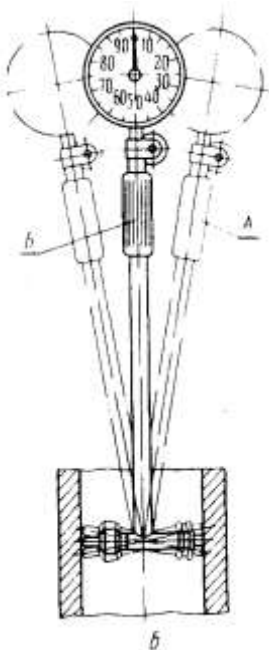
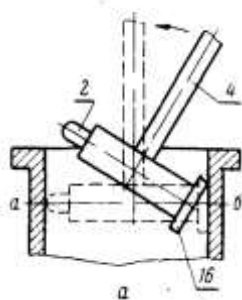
«натяга»;  $\Delta_{H(A)}$  – нижнее отклонение отверстия (с учетом знака).

9. Дать заключение о годности детали.

#### Настройка индикаторного нутромера с целью определения действительных размеров детали

При выполнении этого задания желательно выделить для измерений отверстия (цилиндры), размеры которых близки к последним ремонтным размерам. Необходимо задать не только номинальный размер детали, но и все ремонтные размеры, включая выбраковочный.

1. Составить блок концевых мер под номинальный размер.



2. Определить значение необходимого установочного «натяга». В данном случае установочный натяг  $y_A$  должен быть не меньше допуска на износ, который для отверстий определяется из уравнения

$$\delta_{\omega(A)} = D_{A(np)} - D_H. \quad (4)$$

Если же речь идет о размере, значение которого заранее неизвестно, то установочный «натяг» определяется из уравнения.

$$y_{(A)} = D_{A(воз)} - D_{A(min)}. \quad (5)$$

В этих уравнениях  $D_{A(np)}$  – предельный (выбраковочный) размер отверстия;  $\delta_{\omega(A)}$  – допуск на износ отверстия;  $D_{A(воз)}$  – возможный (предполагаемый) максимальный размер отверстия (это может быть и выбраковочный размер).

3. Установить малую и большую стрелку на нуль.

4. Подготовить индикаторный нутромер для измерений.

5. Определить базовый размер индикаторного нутромера по формуле

$$B_A = L_{бл(A)} + y_{A(D)}, \quad (6)$$

где  $L_{бл(A)}$  – размер блока концевых мер; а  $y_{A(D)}$  – заданный установочный «натяг».

6. Произвести измерение искомого размера. Действительный размер отверстия будет равен

$$D_{(A(D))} = B_A - u, \quad (7)$$

где  $u$  – измеренное отклонение.

7. По действительному размеру отверстия установить номер ремонтного размера.

8. Дать заключение о годности детали.

### Цель работы:

- знакомство с устройством индикаторных нутромеров и глубиномеров;
- приобретение навыков их практического применения

### Средства измерения:

Индикаторные глубиномеры и нутромеры, штангенциркули, микрометры гладкие, установочные меры, струбина, боковочки, поверочные плиты, призмы.

### Задание 1

- Изучают инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.
- Вычерчивают эскиз детали с указанием на нем заданного размера.
- Изучают устройство нутромера.
- Подбирают и устанавливают на нутромер сменный наконечник необходимой длины из прилагаемого набора.
- Проверяют правильность настройки нутромера с помощью микрометра.
- Измеряют диаметр отверстия детали согласно рис. 4.7
- Результаты измерений заносят в таблицу, выполненную по форме табл. 4.1.
- Дают заключение о годности детали.

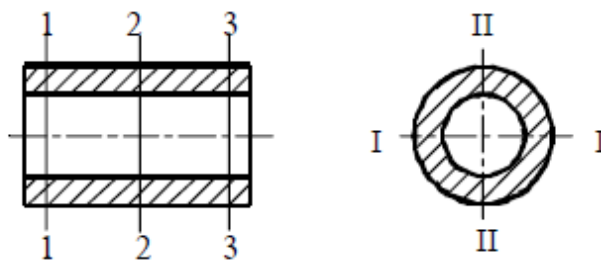


Рис. 4.7 - Положения плоскостей (1 – 3) и направлений (I, II) измерения диаметра отверстия индикаторным нутромером

## Результаты измерений

Номинальный размер, мм	Показания микрометра, мм	Показания нутромера при на- стройке, мм	Плоскость измерения	Показания нутромера при измерении отверстия, мм		Действительный размер отверстия, мм	
				Направление измерения			
				I-I	II-II	I-I	II-II
			1-1				
			2-2				
			3-3				
Заключение о годности							

**Контрольные вопросы**

1. К какой области измерений относятся измерения индикаторными нутромерами?
2. Как называется метод измерения, при котором используют нутромеры индикаторные?
3. К какой группе средств для измерения больших и малых размеров относятся индикаторные нутромеры?
4. Какие нутромеры применяются для измерения больших размеров?
5. Какими составляющими погрешностей характеризуется предельная погрешность измерения?
6. Что понимают под основной погрешностью нутромера?
7. Какие погрешности от прибора возникают при измерении индикаторным нутромером?
8. Чем обуславливаются погрешности измерения индикаторным нутромером?
9. Опишите конструкцию индикаторного нутромера.
10. Какова метрологическая характеристика индикаторного нутромера ?
11. Назовите основные узлы и детали индикаторного нутромера НИ.
12. Дайте характеристику вида и метода измерения индикаторным нутромером НИ.
13. Как осуществляют настройку индикаторного нутромера на размер ?
14. Как производят измерения отверстий индикаторным нутромером НИ ?
15. Сколько и какие шкалы индикаторного нутромера Вы знаете ?
16. Назовите конструктивные отличия нутромеров повышенной точности.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5****ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДОПУСКАЕМЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ, ДОПУСКА НА РАЗМЕР****Общие положения:**

Для того, чтобы определить, входит ли действительный размер в допускаемые пределы необходимо знать допускаемые предельные размеры. Перед выполнением этой работы следует ознакомиться с лекционным материалом, касающимся основных положений ЕСПД и материалом учебника [1].

Предельные размеры определяются по следующим зависимостям.

Предельные значения определяются:

для вала  $-d_{max} = d_n + es$ ;  $d_{min} = d_n + ei$ ;

для отверстия  $-D_{max} = D_n + ES$ ;  $D_{min} = D_n + EI$ ;

где  $d_n, D_n$ - номинальные размеры вала и отверстия;

*es, ES* - верхние отклонения вала и отверстия;

*ei, EI* - нижнее отклонение вала и отверстия.

В ЕСДП вводится понятие средний размер, который находится как среднее арифметическое значение предельных размеров. Этот размер при изготовлении получается с наибольшей вероятностью

$$D_c = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} ; \quad d_c = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

Допуск на размер находится как разность предельных допускаемых размеров или предельных отклонений

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} ; \quad T_d = d_{\max} - d_{\min}$$

#### **Цель работы:**

- закрепление понятий о Единой системе допусков и посадок;
- приобретение навыков работы с таблицами стандартов.

**Задание № 1** В ходе лабораторной работы необходимо рассчитать все допускаемые значения для лабораторных работ 2,3,4. Расчеты производятся по формулам и приводятся в протоколе данной лабораторной работы.

Номинальные размеры гладких деталей и поля допусков в условных обозначениях были заданы в ходе выполнения каждой конкретной лабораторной работы. Предельные отклонения для этих размеров следует взять из таблиц справочника «Допуски и посадки» Ч1.

Результаты расчетов записать в таблицы протоколов 2,3,4, выполненные по форме табл. 2.1

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ. ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

##### **Общие положения**

Раздел метрологии, изучающий вопросы измерения качества, называется квалиметрией.

Если значения показателей качества находятся не расчетным путём, то их определение – обычно измерительная работа. Она может решаться инструментальным или экспертным методом, разновидностями которого можно считать органолептический и социологический методы измерений.

Инструментальный метод основывается на использовании технических средств измерений и является наиболее объективным и распространенным во всех отраслях, особенно в промышленности. В силу объективности, высокой точности и возможности автоматизации измерений, вплоть до создания гибких измерительных установок и систем, этот метод является предпочтительным и должен применяться всегда, когда это возможно и экономически оправдано. При определении качества изготовления отдельных деталей инструментальным методом определяют их геометрические размеры, отклонения формы и расположения поверхностей, шероховатость поверхностей и сравнивают результаты измерений с допускаемыми значениями контролируемых параметров.

##### **Цель работы.**

Освоение инструментального метода оценки качества изделий.

##### **Задание 1**

В ходе этой лабораторной работы необходимо сделать заключение о состоянии ОИ, контролируемых во всех предыдущих лабораторных работах и дать рекомендации по доводке или браковке деталей, если контролируются изготавливаемые детали или по дальнейшей эксплуатации, если контролируются детали, находящиеся в эксплуатации. Заключение о состоянии ОИ и рекомендации записать в протоколы всех предыдущих лабораторных работ. В протоколе по настоящей лабораторной работе сделать

примечание: «Заключения о состоянии объектов измерения и рекомендации по их доводке, браковке или дальнейшей эксплуатации смотреть в протоколах лабораторных работ № 2, 3, 4 »

При контроле качества изготовления наружных размеров деталей может получиться три варианта:

- 1) Действительный размер (размеры) входит в пределы поля допуска.
- 2) Действительный размер (размеры) больше максимального предельного размера.
- 3) Действительный размер (размеры) меньше минимального предельного размера.

В первом случае качество изготовления контролируемого размера отвечает требованиям нормативной документации (НД).

Во втором случае нужно дать рекомендации по дальнейшей обработке детали до получения необходимого размера.

В третьем случае деталь подлежит браковке.

При контроле качества изготовления внутренних размеров деталей могут получиться те же три варианта.

В первом случае заключение аналогичное.

Во втором – деталь подлежит браковке.

В третьем – доводке.

Если кроме допуска на размер заданы отдельно допуски на отклонения формы и расположения, то деталь может, либо соответствовать требованиям НД по всем параметрам, либо не соответствовать по всем параметрам по второму или третьему варианту, либо по одним параметрам соответствовать, по другим нет. В каждом конкретном случае необходимо сделать заключение о состоянии детали и дать подробную рекомендацию. Например: «По контролируемому размеру деталь № 2 соответствует требованиям нормативной документации, однако огранка детали превышает допускаемое значение, поэтому необходимо продолжить доводочную операцию до тех пор, пока действительное значение огранки не войдет в допускаемые пределы». В подобной форме сделать заключения и рекомендации во всех случаях.

Детали, находящиеся в эксплуатации, подвергаются изнашиванию вследствие трения, поэтому необходимо периодически определять их состояние при помощи СИ.

При контроле состояния эксплуатируемых деталей может получиться два варианта:

- 1) Контролируемый размер (размеры) входит в допускаемые пределы.
- 2) Контролируемый размер (размеры) вследствие изнашивания вышел за пределы допускаемого.

В первом случае можно продолжить эксплуатацию детали.

Во втором – деталь либо подлежит списанию, либо восстановлению, либо обработке на новый ремонтный размер.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

#### **Общие положения**

По данным Маркова Н.Н. форма большинства деталей, применяемых в машиностроении, представляет собой простейшую геометрическую форму. В основном это цилиндрические детали (« 70 %), плоские (« 12 %), зубчатые колеса (« 3 %) и корпусные детали (« 4 %). Получить идеальную форму деталей в процессе изготовления невозможно из-за погрешностей станка, инструмента, приспособления, обрабатываемой детали, неоднородности материала и т.п.

Искажение идеальной формы детали приводит к снижению её эксплуатационных свойств. Например, в неподвижных соединениях искажение формы приводит к неравномерности натягов в соединении, что является причиной снижения передаваемого

момента, прочности соединения, точности центрирования и т.п. Основные термины и определения, относящиеся к отклонениям и допускам формы и расположения поверхностей деталей машин и приборов, устанавливаются **ГОСТ 24642-81**.

Отклонение формы — отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или профиля. В таблице 7.1 приведены комплексные и частные отклонения формы плоских и цилиндрических поверхностей, а на рисунке 7.1 их графическое представление.

Таблица 7.1

Вид поверхности	Отклонения и допуски формы			
	комплексные			частные
Плоская	Плоскостность	Прямолинейность		Выпуклость Вогнутость
Цилиндрическая	Цилиндричность	Поперечное сечение	Круглость	Овальность Огранка
		Продольное сечение	Отклонение от профиля продольного сечения	Конусообразность Бочкообразность Седлообразность
Примечание 1. Для комплексных отклонений цилиндрической поверхности и огранки = R-r 2. Для остальных частных отклонений цилиндрической поверхности = 0,5 (dmax-dmin)				

Реальная поверхность — поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая её от окружающей среды.

Реальный профиль — профиль реальной поверхности в заданном сечении.

Номинальная поверхность (профиль) — идеальная поверхность (профиль), номинальная форма которой (которого) задана чертежом или другой технической документацией.

Прилегающая поверхность (профиль) — поверхность (профиль), имеющая форму номинальной поверхности (профиля), соприкасающаяся с реальной поверхностью (профилем) и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от неё (него) наиболее удалённой точки реальной поверхности (профиля) в пределах нормируемого участка было минимальным.

Прилегающий цилиндр — цилиндр минимального диаметра, описанного вокруг реальной наружной поверхности, или максимального диаметра, вписанного в реальную поверхность.

Необходимо отметить, что при оценке отклонений от формы прилегающей поверхности (профиля) шероховатость поверхности не должна включаться в отклонение формы. Для цилиндрических деталей нормируются следующие отклонения от правильной геометрической формы.

Отклонение от цилиндричности — наибольшее расстояние D от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка.

Конусообразность — отклонение профиля в продольном сечении, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны.

Бочкообразность — отклонение профиля в продольном сечении, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краёв к середине сечения.

На рисунке 7.1 приведены виды отклонений формы цилиндрических поверхностей и их обозначение на чертежах.

Седлообразность — отклонение профиля в продольном сечении, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краёв к середине сечения.

Количественная оценка частных видов отклонений формы продольного сечения осуществляется по формуле  $= 0,5 (d_{\max} - d_{\min})$ .

Комплексным отклонением формы в поперечном сечении является отклонение от круглости.

Отклонением от круглости называется наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности.

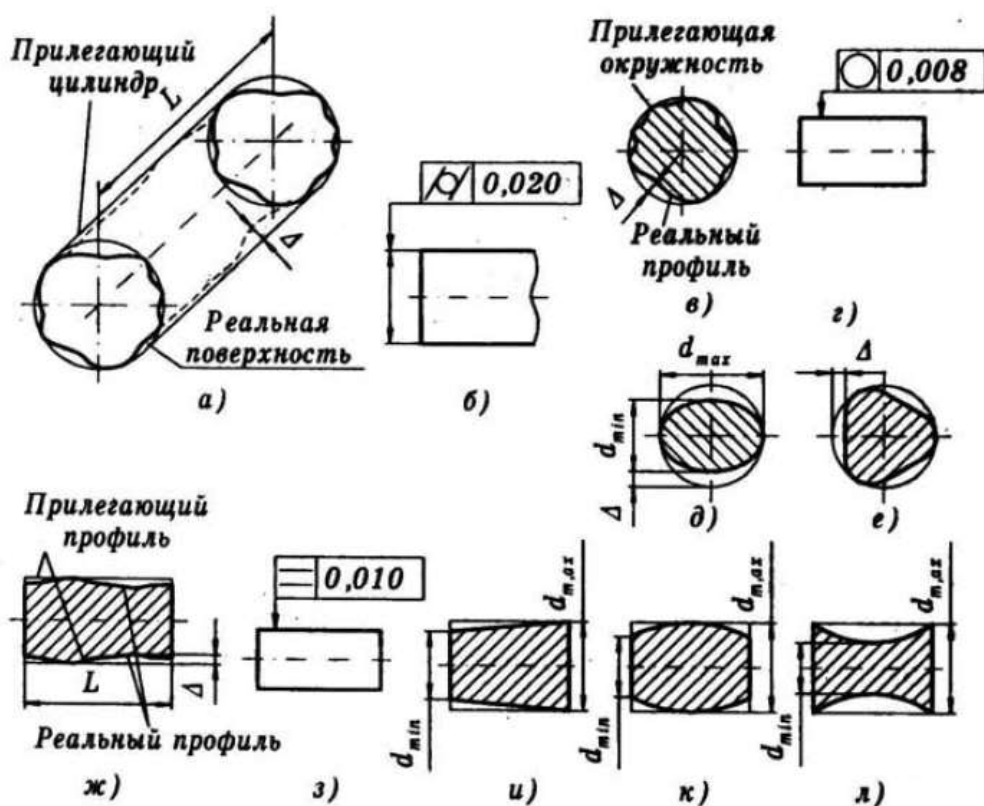


Рис. 7.1 Отклонения формы цилиндрических поверхностей и обозначения на чертежах: а, б — отклонение от цилиндричности; в, г — отклонение от круглости; д — овальность; е — огранка; ж, з — отклонение профиля продольного сечения; и — конусообразность; к — бочкообразность; л — седлообразность. а — комплексные, б — частные

Частными видами отклонения от круглости являются овальность и огранка.

Овальность — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях.

Огранка — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру.

Наиболее часто огранка появляется при бесцентровом шлифовании.

Выделение частных отклонений формы даёт возможность управлять технологическим процессом и оценивать влияние повышения точности формы на эксплуатационные свойства.

### Цель работы

Освоить методику измерения отклонений от геометрической формы цилиндрических поверхностей деталей машин на универсальных измерительных приборах.

### Объект измерения

В качестве объектов измерения используются валы и втулки с различными номинальными размерами.

### Средства для измерений

Концевые меры длины, штангенциркуль, микрометр, индикаторный нутромер.

**Задание 1** Измерение отклонений от геометрической формы цилиндрических поверхностей деталей машин

Отклонения от геометрической формы цилиндрических поверхностей деталей машин определяются в результате измерений отклонений их действительных размеров от заданных на чертеже. (Действительный размер — размер, полученный в результате измерения с допустимой погрешностью).

Измерение размеров осуществляется в трёх сечениях в каждом из трёх направлений (рис. 7.2).

### 1.1 Измерение размеров штангенциркулем.

1) измерить размеры вала в сечениях А, Б и В в продольном направлении 1-1. Результаты измерений занести в таблицу 7.2;

2) повернуть вал на 120°. Измерить размеры вала в сечениях А, Б и В в продольном направлении 2-2. Результаты измерений занести в таблицу 7.2;

3) повернуть вал на 120°. Измерить размеры вала в сечениях А, Б и В в продольном направлении 3-3. Результаты измерений занести в таблицу 7.2;

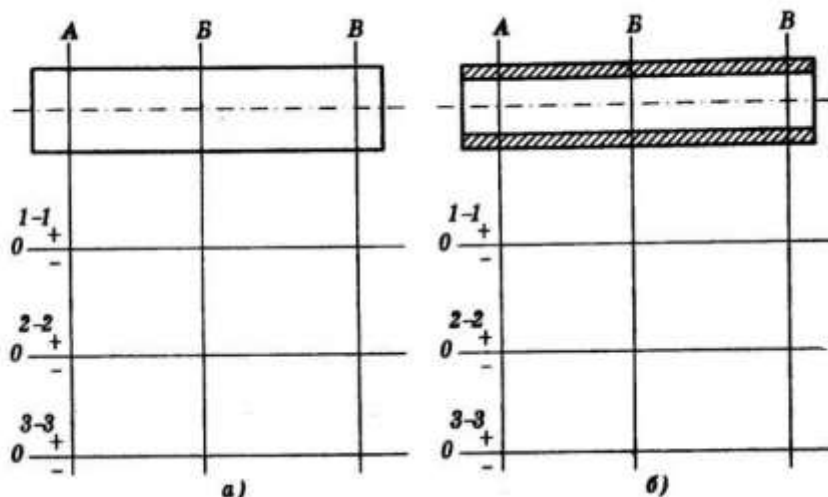


Рис. 7.2 Графическое изображение отклонений: а — вала; б — втулки

### 1.2 Измерения размеров микрометром:

1) установить микрометр на нуль.

2) измерить размеры вала в сечениях А, Б и В в продольном направлении 1-1. Результаты измерений занести в таблицу 7.2;

3) повернуть вал на 120°. Измерить размеры вала в сечениях А, Б и В в продольном направлении 2-2. Результаты измерений занести в таблицу 7.2,

4) повернуть вал на 120°. Измерить размеры вала в сечениях А, Б и В в продольном направлении 3-5. Результаты измерений занести в таблицу 7.2;

5) в каждом сечении измерить размеры вала в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Результаты занести в таблицу 7.2

Таблица 7.2

Наименование используемого инструмента	Продольное сечение								
	1-1			2-2			3-3		
	Поперечное сечение								
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
Штангенциркуль									



Микрометр									
Взаимно-перпендикулярные направления									
Штангенциркуль									
Микрометр									

## Задание 2 Измерение отклонений размеров втулки индикаторным нутромером

Описание индикаторного нутромера приведено в лабораторной работе №4

- 1) измерить действительный размер отверстия втулки с помощью штангенциркуля;
- 2) установить нутромер на ноль с помощью микрометра. Для этого микрометр устанавливают на размер, полученный в результате измерения штангенциркулем. Вставляют нутромер измерительными стержнями 3, 4 между неподвижной и подвижной пятками микрометра. Покачиванием нутромера в вертикальной плоскости находят точку возврата стрелки индикатора, которая соответствует установленному на микрометре размеру. Вращением барабана индикатора осторожно подводят ноль шкалы к стрелке. Повторным покачиванием проверяют установку ноля. При необходимости корректируют установку;
- 3) вставляют индикаторный нутромер измерительными стержнями в отверстие втулки в сечение А продольного направления 1-1;
- 4) наклоняют нутромер в вертикальной плоскости влево (вправо) на некоторый угол (примерно 20-30 градусов);
- 5) медленно поворачивают нутромер в вертикальной плоскости вправо (влево), следя за перемещением стрелки. (При перемещении нутромера вправо стрелка индикатора будет перемещаться по часовой стрелке, так как размер между крайними точками измерительных стержней уменьшается. При переходе нутромера через вертикальную позицию стрелка индикатора сменит направление своего движения, так как размер начнет увеличиваться. Точка смены направления движения стрелки называется точкой возврата. Значение отклонения в этой точке соответствует действительному отклонению размера отверстия в данном сечении);
- 6) снимают показание на индикаторе в точке возврата. Если стрелка индикатора находится слева от ноля шкалы, то размер отверстия втулки больше установленного — отклонение положительное (показание снимается по красной шкале), если справа — отрицательное (показание снимается по чёрной шкале). Результат измерения занести в таблицу 7.3;
- 7) повторить пункты 3-6 для всех сечений по всем направлениям;
- 8) в каждом сечении измерить размеры втулки в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Заполнить таблицу 7.3.

Таблица 7.3

Наименование используемого инструмента	Продольное сечение								
	1-1			2-2			3-3		
	Поперечное сечение								
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
Штангенциркуль									
Индикаторный нутромер									
Взаимно-перпендикулярные направления									
Индикаторный нутромер									

### Задание 3

По данным таблиц 2 и 3 построить графическое изображение отклонений диаметров вала и втулки

Для вала отклонения определяются по формуле:

$$d = d_{\text{ном}} - d_{\phi},$$

где  $d_{\text{ном}}$  - номинальный размер вала (задаётся на чертеже);

$d_{\phi}$  - действительный размер вала в данном сечении и в данном направлении (табл. 7.2).

**Задание 4** Определить все частные отклонения формы в продольных направлениях.

**Задание 5** Определить овальность вала и втулки во всех взаимно перпендикулярных направлениях.

### Задание 6

Привести краткое описание и характеристику измерительных приборов, а также схемы измерений. Заполнить необходимые таблицы.

### Выводы

Сопоставить результаты измерений и сделать соответствующие выводы по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

### ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

#### Общие положения

Шероховатостью поверхности называют совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности детали и рассматриваемых в пределах базовой длины  $l$ .

Если отношение шага неровностей ( $S_w$ ) к высоте неровностей ( $W_z$ ) меньше  $S_w / W_z < 50$ , то такие отклонения относят к шероховатости поверхности, если  $50 < S_w / W_z < 1000$  - к волнистости и при  $S_w / W_z > 1000$  — к отклонениям формы.

ГОСТ 2789-73 предусматривает следующие параметры для оценки шероховатости поверхности детали:

- *высотные*:

$R_a$  - среднее арифметическое отклонение профиля,

$R_z$  - высота неровностей профиля по 10 точкам,

$R_{\text{max}}$  - наибольшая высота профиля;

- *шаговые*:

$S$  - средний шаг неровностей профиля по вершинам,

$S_m$  - средний шаг неровностей профиля по средней линии,

$t_p$  - относительная опорная длина профиля.

Все измерения производятся в пределах базовой длины.

Базовой линией (поверхностью) называется линия (поверхность) заданной геометрической формы, определённым образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

Базовая длина  $l$  - это длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, и для количественного определения её параметров.

Базовые длины устанавливаются с учётом эксплуатационных особенностей. Для многих типов поверхностей, обработанных различными методами, неровности, относимые к шероховатости, имеют устойчивую связь средних шагов с высотными параметрами, что позволяет увязать значения базовой длины со значениями высотных параметров (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Значение высотных параметров		Базовая длина $l$ , мм
$R_a$ , мкм	$R_z, R_{\text{max}}$ , мкм	

0,006-0,02	0,025-0,1	0,08
0,02-0,32	0,1-1,6	0,25
0,32-2,5	1,6-10,0	0,8
2,5-10,0	10,0-40,0	2,5
10,0-80,0	40,0-320,0	8
80,0-100,0	320,0-1600,0	25

Требования к шероховатости поверхности конкретной детали устанавливают на основании знания связи параметров шероховатости с функциональным назначением данной поверхности. В таблице 8.2 приведены некоторые важнейшие эксплуатационные свойства поверхности, зависящие от шероховатости поверхности, и номенклатура параметров, при помощи которых обеспечиваются показатели этого свойства поверхности.

Таблица 8.2

Эксплуатационные свойства поверхности	Параметры шероховатости поверхности, определяющие это свойство
Износоустойчивость при всех видах трения	$R_a$ ( $R_z$ ), $t_p$ направление неровностей
Виброустойчивость	$R_a$ ( $R_z$ ), $S$ , $S_m$ направление неровностей
Контактная жёсткость	$R_a$ ( $R_z$ ), $t_p$
Прочность соединений	$R_a$ ( $R_z$ )
Прочность конструкций при циклических нагрузках	$R_{max}$ , $S$ , $S_m$
Герметичность соединений	$R_a$ ( $R_z$ ), $R_{max}$ , $t_p$

Профилограмма поверхности детали (графическое изображение действительного профиля, полученного в результате измерения) приведена на рисунке 8.1. Существует несколько систем определения числовых значений параметров шероховатости поверхности: система средней линии (система М), огибающей линии (система Е) и др. По ГОСТ 2789 нормирование шероховатости основано на системе М, по которой отсчёт производят от единой базы, в качестве которой принята средняя линия профиля  $m$ .

Средней линией профиля  $t$  называется базовая линия, имеющая форму номинального (геометрического) профиля поверхности и делящая действительный профиль так, что в пределах базовой длины  $l$  сумма квадратов расстояний  $y_1, y_2, y, \dots, y_n$  точек профиля до этой линии минимальна (рис. 8.1). В системе М числовые значения параметров шероховатости определяются следующим образом.

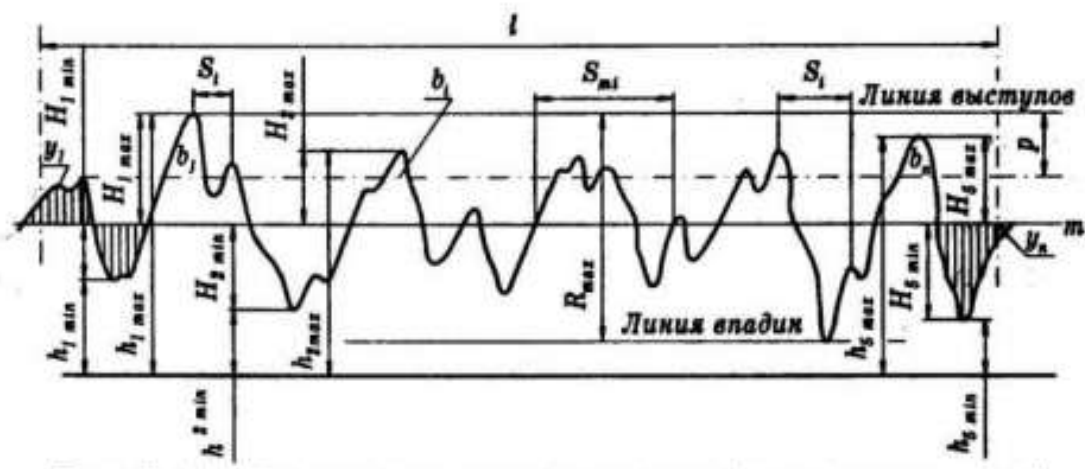


Рис. 8.1 Действительный профиль (профилограмма) поверхности

### Цель работы

- Изучить приборы и методику измерения на них параметров шероховатости поверхностей деталей машин.
- Освоить методику обработки результатов измерений параметров шероховатости поверхностей деталей машин.

**Средства измерения** Эталоны шероховатости поверхности, двойной микроскоп Линника — МИС-11, Профилометр-профилограф, профилометр

**Объект исследования** Образцы цилиндрической формы, обработанные на различных металлорежущих станках.

### Задание 1 Оценка шероховатости по эталонам

Рабочие эталоны шероховатости поверхности (рис. 8.2) представляют собой комплекты металлических образцов брусков с плоской или цилиндрической (наружной или внутренней) рабочей поверхностью, обработанной различными способами.

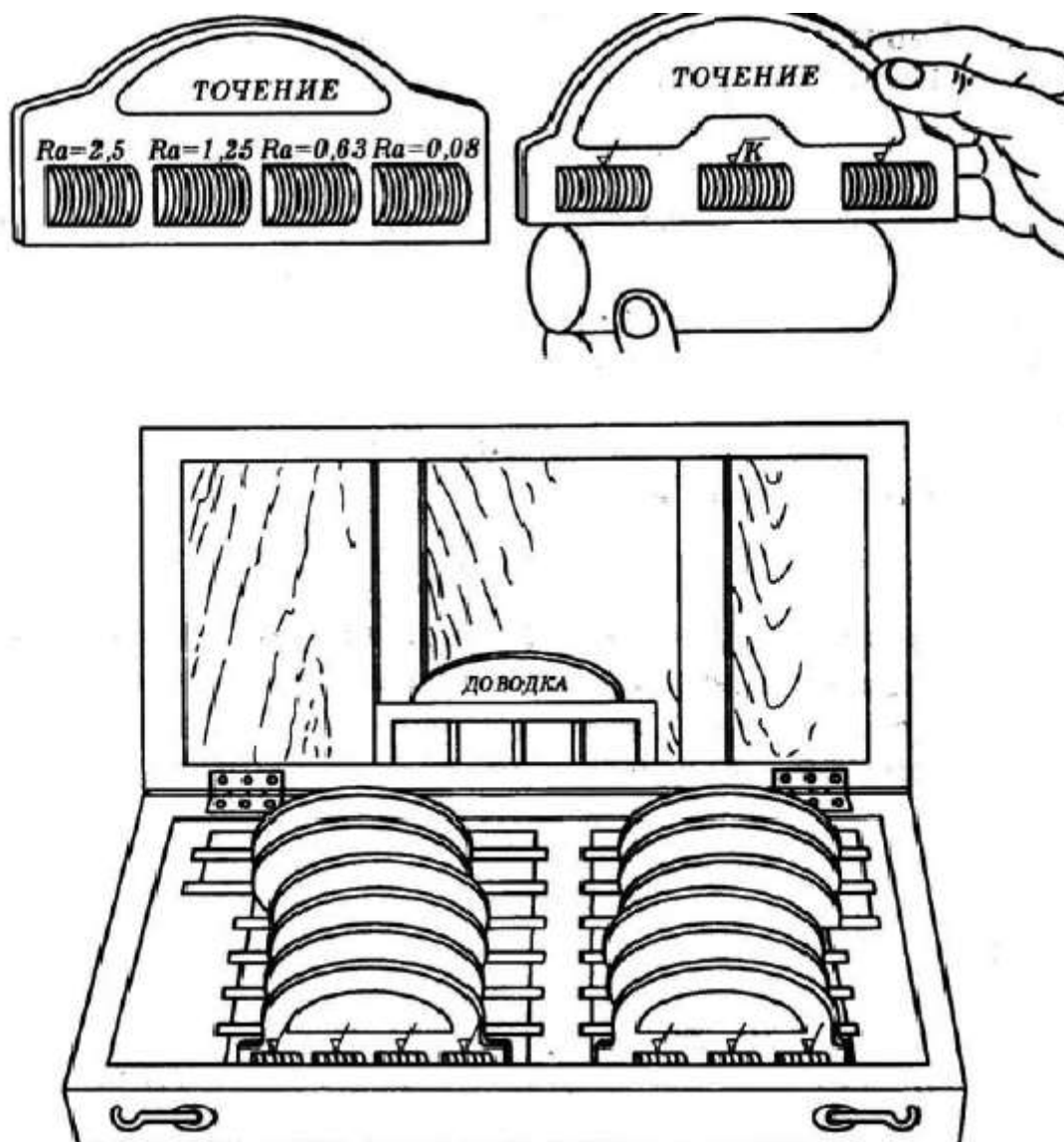


Рис. 8.2 Комплект рабочих эталонов для контроля шероховатости поверхности

По результатам измерений образцы отнесены к соответствующим классам чистоты, который проставлен над образцом. На комплекте указан также метод обработки материала образца.

При выборе образцов для контроля шероховатости поверхности необходимо иметь в виду, что:

- 1) образец должен быть выполнен из того же материала, что и контролируемая деталь;
- 2) вид поверхности эталона и контролируемой детали должен быть одинаковым;
- 3) вид обработки должен быть одинаковым.

При оценке сравнивают визуально шероховатость поверхностей образца и контролируемой детали.

Затем по выбранному образцу устанавливают значения параметров шероховатости. Данные заносят в таблицу 8.3.

Таблица 8.3

Определение величины  $R_z$

№ п/п	Первый отсчёт по барабану $h_{i1}$	Второй отсчёт по барабану $h_{i2}$	Разность отсчётов $\Delta h_{i1}$	Среднее значение $h_{cp}$	Высота неровностей по десяти точкам $R_z$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

## Задание 2 Оценка шероховатости поверхности на двойном микроскопе Линника (МИС-11)

На двойном микроскопе МИС-11 измеряют параметры шероховатости  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $S$ ,  $S_m$ . (Пределы измерения  $R_a$ ,  $R_z$  - 0,8-80 мкм).

Общий вид микроскопа МИС-11 приведен на рисунке 8.3, б.

Изображение щели, наблюдаемое в окуляре окулярмикрометра приведено на рисунке 2.18, а. Там же показано два положения визирования риски, по которым производят отсчёты. Разность отсчётов в поле зрения окуляр микрометра даёт значение  $b=mN$ , где  $N$  - увеличение объектива 2. Высота отдельной микронеровности  $h$  равна  $b/\sqrt{2N}$ .

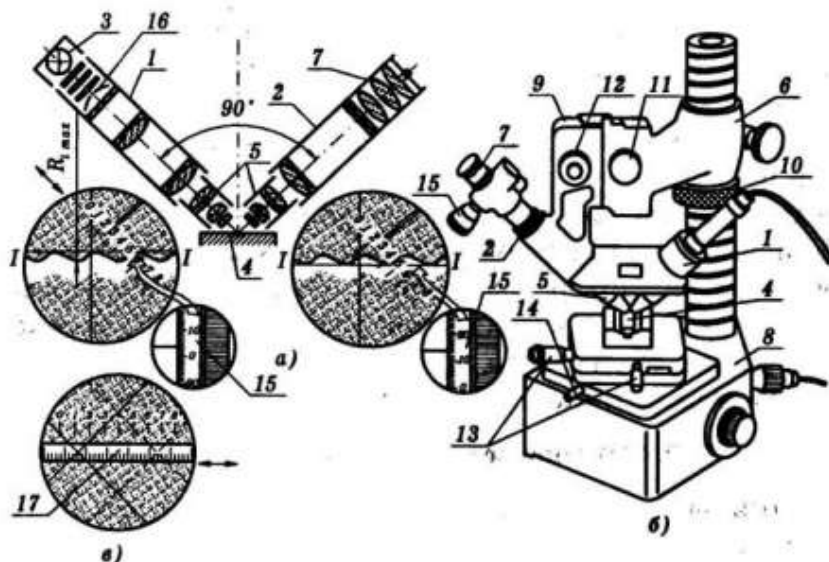


Рис.8.3 Двойной микроскоп МИС - 11

Порядок измерения микронеровностей на МИС-11

1. Установить измеряемую деталь 4 на столике (рис. 8.3, б). 2. Подать напряжение на трансформатор освещения. 3. Вращением гайки 10 при освобожденном винте установить кронштейн с микроскопами на требуемой высоте (примерно на расстоянии 5-10 мм между объективами и поверхностью детали). После этого застопорить винт.

4. При помощи винта 12 произвести подъём или опускание микроскопов до тех пор, пока не появится изображение световой щели в окуляре 7 микроскопа 2.

5. Фокусировку изображения щели осуществляется посредством поворота микровинта.

6. Повернуть окуляр-микрометр 7 вокруг своей оси так, чтобы горизонтальная линия перекрестия стала параллельно линии щели (рис. 8.3, а).

Измерение параметров шероховатости производится по одной стороне щели — верхней или нижней (более отчётливой).

7. Для измерения высоты неровностей горизонтальную линию посредством вращения барабана 15 окуляра 7 сначала подвести к вершине неровности (рис. 8.3, а). Снять показания и занести их в таблицу 8.3. (Показания снимаются следующим образом: целое число делений снимается по шкале окуляр-микрометра от нуля до двойного штриха. В нашем примере это 2. Десятые и сотые доли считываются с барабана 15 микровинта окуляра-микрометра 7).

8. Затем горизонтальную линию подвести к впадине той же неровности (рис. 8.3, б). Снять показания. (Целое число делений в примере — 3).

Разность показаний, умноженная на масштабную цену деления, определяет высоту измеренной неровности.

9. Для определения параметра  $R_z$  необходимо повторить пункты 7 и 8 пять раз. Значение параметра  $R_z$  определяется как среднее значение из пяти измерений по формуле:

$$R_z = c \cdot h_{cp}$$

где  $h_{cp} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta h_i$ ,  $c$  масштабная цена деления окулярного микрометра

Масштабная цена деления зависит от увеличения объектива ( $N$ ) и определяется по формуле  $c = \frac{10}{2N}$ . Значение  $N$  выбирается по таблице 8.4.

Таблица 8.4

Увеличение объектива $N$				
Фокусное расстояние объектива, см	25,02	13,89	8,16	4,25
Увеличение объектива	5,85	10,54	17,90	34,80

### Порядок измерения шагов неровностей

Определение шага неровности  $S_i$  производится следующим образом.

1. Вертикальная линия перекрестия окуляр-микрометра совмещается посредством вращения продольного микровинта 13 с вершиной первой неровности.
2. Снимается показание по шкале продольного микрометрического винта 13. Результат измерения ( $S_{i1}$ ) записывают в таблице 8.5.
3. Вращением микрометрического винта 13 совмещают вертикальную линию с соседней вершиной микронеровности.
4. Снова снимается показание по шкале продольного микрометрического винта 13. Результат измерения ( $S_{i2}$ ) записывают в таблицу 8.5.
5. Повторяют пункты 1-4 10 раз.
6. Значение параметра  $S$  находят по формуле

Таблица 8.5

Определение шага неровностей  $S$

№ п/п	Первый отсчет по барабану $S_{i1}$	Второй отсчет по барабану $S_{i2}$	Разность отсчетов $\Delta S_{i2}$	Шаг неровностей $S$

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

### ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ УГЛОМЕРАМИ

#### Общие положения

#### Конструкции угломеров

Угломеры предназначены для измерения углов. В данной работе рассмотрены механические угломеры двух типов: транспортирный и универсальный.

Транспортирный угломер (рис. 9.1) состоит из транспортира 2, к которому жёстко прикреплена линейка 1, и сектора с подвижной линейкой 4 и нониусом 8. В нужном положении сектор с подвижной линейкой может быть закреплён винтом 7. Для точной установки линейки 4 служит микрометрический винт с гайкой 6. При этом необходимо открепить винт 7 и закрепить винт 5. Угломер даёт возможность измерять углы от 0 до 180°, причём для измерения углов от 0 до 90° на подвижную линейку 4 надевается угольник 3 рис.

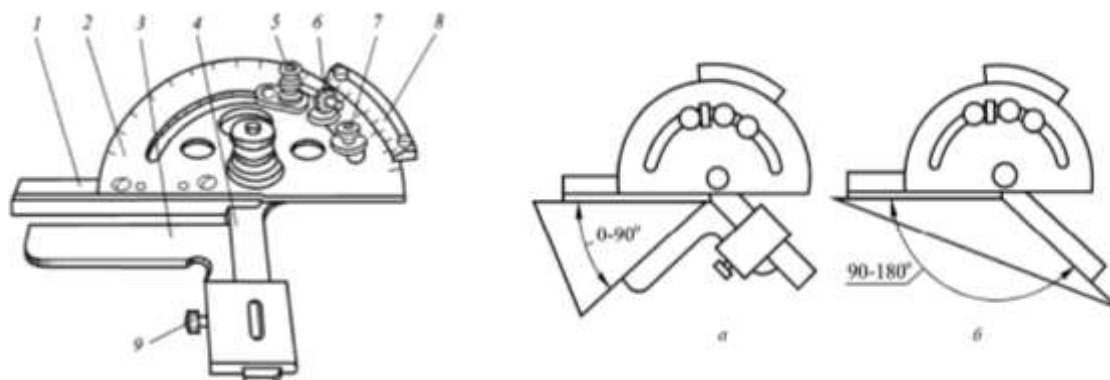


Рис. 9.1, а) углы от 90° до 180° измеряют транспортирным угломером без угольника (рис. 9.1, б)

Рис.9.1 Транспортирный угломер

Универсальный угломер (рис. 9.2) имеет сектор 4, на котором нанесена градусная шкала. К сектору прикреплена планка 10 с измерительной плоскостью. По сектору 4 перемещается пластинка 9 с нониусом 8 и прижимом 7. К пластинке 9 с помощью хомутика 6 можно крепить либо угольник 2, либо линейку 1. Последнюю можно крепить к угольнику 2 с помощью второго хомутика 3. Для плавного поворота пластинки 9 рекомендуется пользоваться головкой зубчатой передачи, расположенной с обратной стороны нониуса.

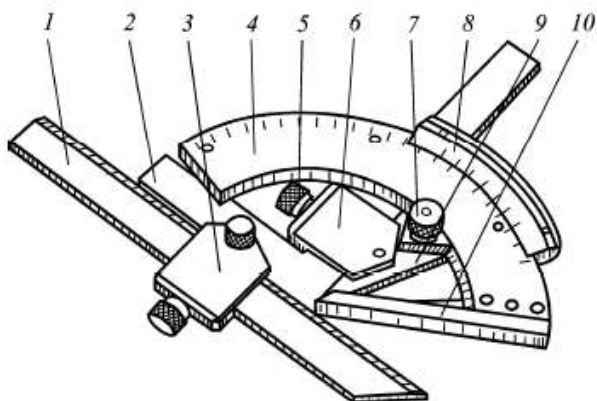


Рис.9.2 Универсальный угломер

Путём различных комбинаций отдельных измерительных звеньев угломера можно реализовать различные схемы измерения углов в интервале от 0 до 320°, хотя основная шкала угломера нанесена на дуге 130°. Углы от 0 до 50° измеряют, когда к пластинке 9 крепятся одновременно угольник 2 и линейка 1 (рис. 9.3, а); углы от 50 до 140° – когда в хомутике 6 закрепляется не угольник, а линейка 1 (рис. 9.3, б); углы от 140 до 230° – когда с угольника, закрепленного в хомутике 6, снимаются хомутик 3 и линейка 1 (рис. 9.3, в). Углы от 230 до 320° (наружные) и соответствующие углы от 40 до 130° (внутренние) измеряются одним угломером при снятых хомутиках, угольнике и линейке (рис. 9.3, г).

Механические угломеры снабжены нониусами, отсчёт по шкалам которых определяется по той же формуле, что и для нониуса штангенциркуля:

$$C = a / n ,$$

где  $C$  – отсчёт по нониусу,  $a$  – длина деления основной шкалы сектора,  $n$  – число делений шкалы нониуса.

Погрешность угломеров равна удвоенному отсчёту по нониусу.



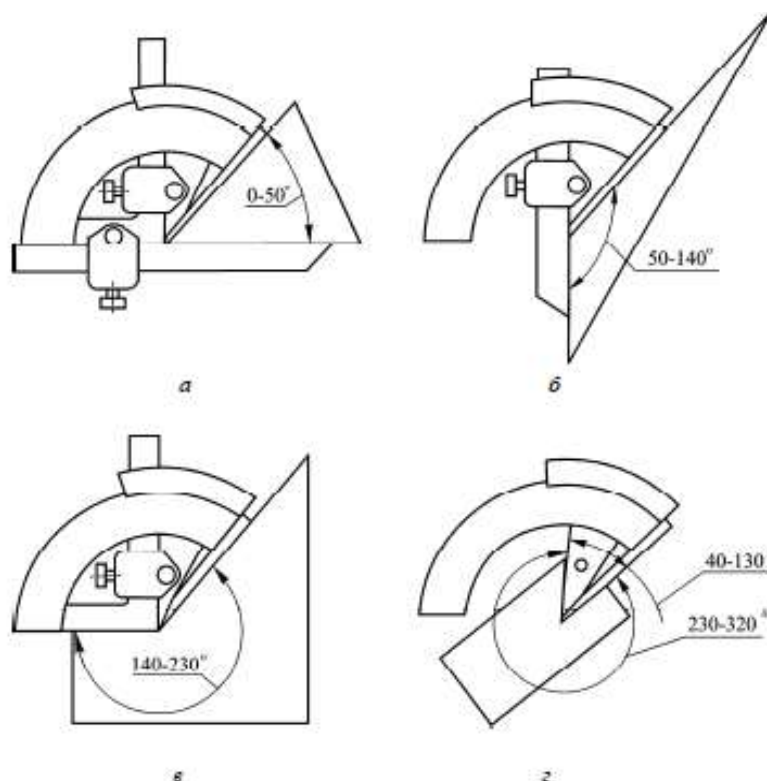


Рис.9.3 Универсальный угломер

### Цель работы:

- изучить конструкции и приобрести навыки измерения угловых размеров деталей механическими угломерами

### Задание №1:

1. Определить величины отсчётов по шкалам нониусов у двух угломеров: транспортирного и универсального.

2. Транспортирным угломером измерить углы шаблона (рис. 9.4, а).

Для измерения угломером необходимо: - открепить стопорные винты 5 и 7 и развернуть сектор с линейкой 4 относительно транспорта так, чтобы измеряемую деталь можно было установить между мерительными плоскостями;

- закрепить винт 5 и, пользуясь микрометрическим устройством, добиться плотного прилегания мерительных плоскостей к детали;

- закрепить винт 7 и произвести отсчёт.

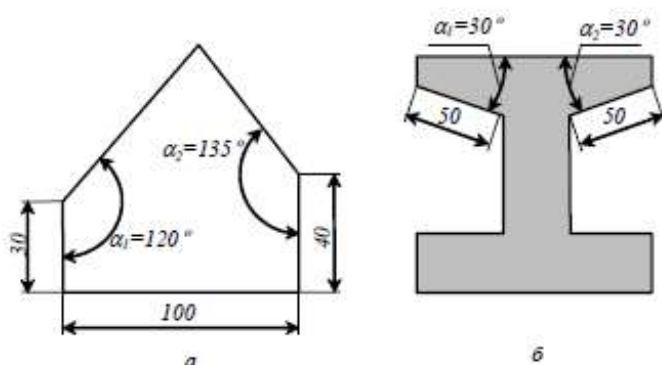


Рис.9.4 Эскизы измеряемых деталей:

а – угловой шаблон, б – направляющая типа «ласточкин хвост»

3. Универсальным угломером измерить углы направляющей типа «ласточкин хвост» (рис. 9.3, б). Для измерения углов следует:

- определить на глаз значение измеряемых углов и собрать угломер по необходимой схеме (рис. 9.3);
  - несколько отпустить стопорный винт 7 и, пользуясь головкой зубчатой передачи, добиться плотного прилегания мерительных плоскостей к детали;
  - закрепить винт 7 и произвести отсчёт.
4. Сравнив действительные значения углов, полученные в результате измерений, с номинальными значениями, указанными на эскизах деталей (рис. 9.4), определить их действительные отклонения.
5. Найденные величины действительных отклонений сопоставить с предельными отклонениями и установить степени точности для каждого измеренного угла.
6. Оформить бланк отчёта и письменно ответить на вопросы, указанные преподавателем.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

#### **Общие положения**

Зубчатое колесо представляет собой достаточно сложное изделие. Его качество во многом определяется точностью целого ряда параметров, зависящих от технического состояния зубообрабатывающего оборудования, уровня технологии, качества режущего инструмента и качества контрольно-измерительных операций зубообрабатывающего производства.

Требования к точности большинства параметров зубчатых колес не одинаковы и зависят в основном от конкретного назначения колес и передачи в целом. Для коробок скоростей станков и для точных приборов особо высокие требования предъявляют к параметрам, характеризующим точность передачи движения, т.е. кинематическую точность. В высокоскоростных передачах первостепенными являются параметры, определяющие плавность работы, что обеспечивает уменьшение шума, вибраций и износа. Для силовых передач важно строго выдерживать параметры, влияющие на условия контакта зубьев. С целью компенсации некоторых погрешностей изготовления реальные передачи имеют зазор между неработающими поверхностями профилей, который называют боковым зазором. Значение этого зазора особенно велико для передач, работающих в условиях больших колебаний температуры и в реверсивных механизмах.

В ГОСТ 1643 – 81 «Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски» все требования к обеспечению точности параметров зубчатых колес разделены на четыре группы, которые называются нормами точности. ГОСТ предусматривает нормы кинематической точности, нормы плавности, нормы контакта зубьев и нормы бокового зазора. В первых трех группах допуски на конкретные параметры устанавливаются в зависимости от степени точности. Всего существует 12 степеней точности. Однако в стандарте оговорены значения параметров только с 3-й по 12-ю, а наиболее точные, 1-я и 2-я степени, оставлены в качестве резервных.

При изготовлении зубчатых колес их качество обеспечивается как высоким уровнем окончательного (приемочного) контроля, так и другими организационно-предупредительными мероприятиями – профилактическим, технологическим и активным видами контроля.

При окончательном контроле устанавливают, соответствует ли точность изготовления зубчатых колес условиям работы передачи.

Профилактический контроль заключается в проверке состояния технологического оборудования: станков, приспособлений, режущего инструмента. Он должен проводиться до начала изготовления зубчатых колес.

Технологический контроль состоит в поэлементном контроле зубчатых колес. Он позволяет установить точность отдельных элементов технологического оборудования и в случае необходимости принять своевременные меры для исключения брака.

Активный контроль заключается в том, что в процессе обработки измеряют один или несколько параметров. Используя результаты измерений, осуществляется управление технологическим процессом, например, прерывается процесс обработки по достижении требуемого размера.

Профилактический, технологический и активный контроль должны предшествовать окончательному (приемочному) контролю.

Применяемые для поэлементного (дифференцированного) контроля приборы по конструкции делят на накладные (Н) и станковые (С).

Первыми проверяют, как правило, крупногабаритные детали, которые трудно устанавливать на станковые приборы. Однако из-за того, что базой для накладных приборов служит окружность выступов колеса, а не эксплуатационная база (отверстие колеса или вал шестерни), погрешность их больше, чем станковых.

Поэлементный контроль заключается в проверке соответствия значений отдельных параметров требованиям стандарта. Данные, получаемые при дифференцированном контроле зубчатых колес, позволяют оперативно проводить подналадку технологического оборудования для предупреждения возможного брака.

Проверку радиального биения зубчатого венца, характеризующего часть его кинематической погрешности, осуществляют на специальных приборах, называемых биениемерами. Принципиальная схема измерения показана на рис. 10.1, а.

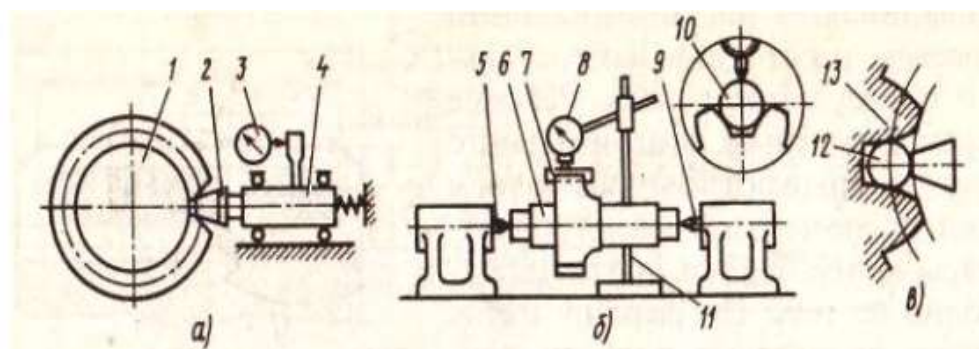


Рис. 10.1. Схемы измерения радиального биения зубчатых венцов: а) принципиальная; б) в цеховых условиях; в) колес с внутренним зацеплением

Измерительный наконечник 2, изготовленный в виде усеченного конуса с углом при вершине  $40^\circ$ , вводят во впадину зубчатого колеса 7. С измерительной головки 3 снимают показание. Затем, отводя каретку 4 и поворачивая зубчатое колесо, вводят измерительный наконечник в каждую следующую впадину. Значение радиального биения принимают равным разности наибольшего и наименьшего показаний головки за один оборот. Прибор позволяет контролировать и конические зубчатые колеса.

В цеховых условиях контроль радиального биения зубчатого венца 7 (рис. 10.1, б) можно осуществлять, используя контрольные центры 5 и 9, калиброванный ролик 10, стойку 11 с измерительной головкой 8 и оправку 6. Для этого зубчатое колесо надевают на оправку и устанавливают в центрах, используя центровые отверстия. Во впадины колеса последовательно закладывают ролик и берут отсчет по шкале головки. Значение радиального биения определяют так же, как на биениемере.

Чтобы измерить радиальное биение внутреннего зубчатого венца колеса 13 (рис. 10.1, в), используют наконечник 12 сферической формы. Радиальные погрешности обработки могут быть выявлены с помощью наконечников сферической формы и роликов только при наивыгоднейшем их диаметре.

Радиальное биение зубчатого венца возникает из-за непостоянства расстояния между зубчатым колесом и обрабатывающим его инструментом. Для уменьшения этой погрешности необходимо проверить и устранить радиальное биение заготовки на оправке перед установкой ее на зубообрабатывающий станок. Значительно реже наблюдается радиальное биение режущего инструмента.

Колебание длины общей нормали  $W$  контролируют приборами, имеющими две параллельные измерительные поверхности и устройство для измерения расстояния между ними. Измерить длину общей нормали абсолютным методом можно микрометрическими зубомерами типа МЗ (рис. 10.2, а) с ценой деления 0,01 мм и диапазонами измерений 0...25; 25...50; 50...75 и 75...100 мм.

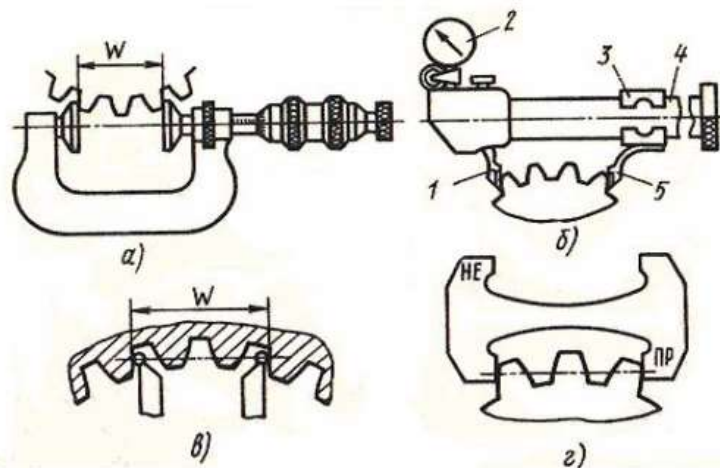


Рис. 10.2. Микрометрический зубомер (а), нормалемер (б), сферические наконечники (в) и предельный калибр (г) для контроля длины общей нормали

Измерение длины общей нормали (а также ее колебаний) методом сравнения проводят с помощью нормалемера (рис. 10.2, б), который имеет две измерительные губки □ базовую 5 и подвижную 1. Последняя соединена передаточным механизмом с измерительной головкой 2. Базовая губка с помощью разрезной втулки 3 крепится в требуемом положении на штанге 4 при настройке прибора на нуль по блоку концевых мер. Подвижную губку 1 отводят арретиром. Губками охватывают ряд зубьев, затем отпускают измерительную губку и считывают со шкалы отклонение длины общей нормали от номинального значения.

Применяя сферические измерительные наконечники (рис. 10.2, в), можно измерить длину общей нормали методом непосредственной оценки или определить ее отклонение от номинального значения методом сравнения. В качестве средств измерений при этом используют универсальные зубоизмерительные приборы.

В условиях крупносерийного и массового производства контроль длины общей нормали осуществляют с помощью предельных калибров (рис. 10.2, г).

#### **Назначение и устройство штангензубомера и тангенциального зубомера.**

Одним из основных показателей, определяющих боковой зазор пары цилиндрических колес, является толщина зуба по хорде, измеряемая зубомерами. По конструкции эти приборы подразделяются на накладные и станковые, а по принципу действия – на штангензубомеры и индикаторно-микрометрические зубомеры.

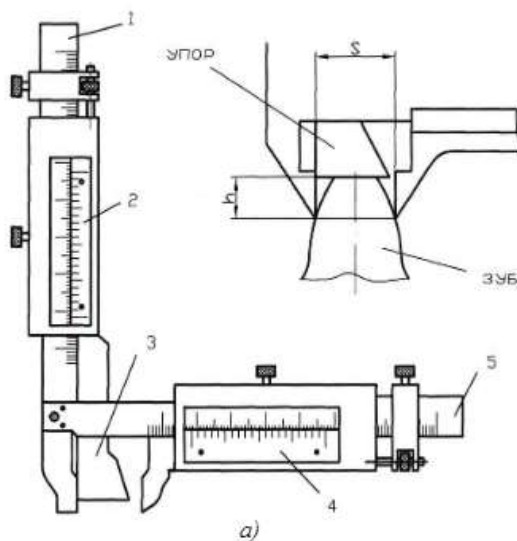
**Штангензубомер** (рис. 10.3, а) имеет две шкалы – 5 и 1: первая предназначена для отсчета толщины  $S$  зуба с помощью нониуса 4, а вторая – для установки губок прибора по требуемой высоте  $h$  от вершины зубьев. Перед измерением упор 3 устанавливают по нониусу 2 на размер, равный высоте  $h$ , и закрепляют в этом положении. Затем раздвигают измерительные губки и после установки прибора упором на наружную поверхность измеряют толщину зуба по хорде, отсчитывая ее полное значение непосредственно по шкале 5 и нониусу 4. Недостатками штангензубомера являются низкая точность отсчета по

нониусу, быстрый износ измерительных губок, влияние на точность измерений погрешности базирования прибора по окружности выступов.

Методика отсчета аналогична методике снятия результата штангенинструментами, но цена деления основной шкалы (на штанге) 0,5 мм.

**Тангенциальным зубомером** типа НЦ (рис.10.3, б) контролируют толщину зуба по смещению исходного контура. Опорной базой при измерении является окружность выступов. Измерительные поверхности двух губок 11 составляют двойной угол зацепления, равный  $40^\circ$ . Ось измерительного стержня делит этот угол пополам. Измерительные губки перемещают в направляющих корпуса 6 винтом 10, имеющим участки как с правой, так и с левой резьбой. Это обеспечивает симметричную установку губок относительно оси измерительного стержня головки 9. Губки фиксируют стопорными винтами 7. Сферический измерительный наконечник крепится к стержню головки зажимом 8.

Перед измерением прибор настраивают на размер по образцовому ролику, диаметр которого составляет  $1,2036m$ , где  $m$  – модуль проверяемого колеса. Зубомер накладывают на ролик, затем, смещая винтом 10 губки 11, доводят измерительный наконечник до контакта с роликом и создают предварительный натяг наконечника на один-два оборота стрелки. После этого осуществляют установку на ноль по шкале. При контроле измерительные губки, воспроизводящие боковой профиль впадины исходной рейки, накладывают на зуб 12 и по отклонению индикатора судят о смещении действительного исходного контура относительно номинального положения.



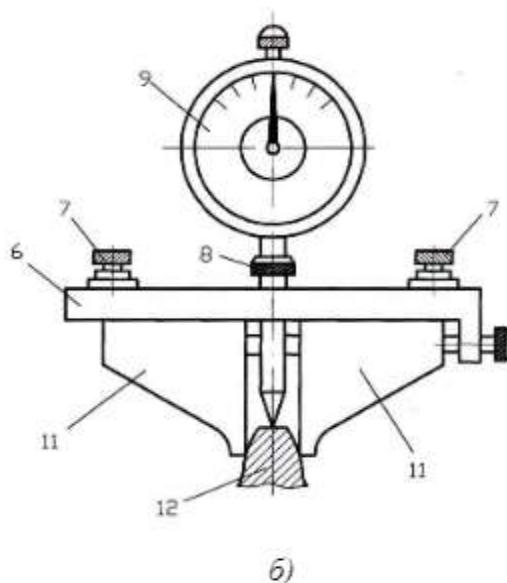


Рис. 5. Зубомеры:

а) штангензубомер; б) тангенциальный зубомер

### Цель работы:

Изучить принцип действия и устройство зубомеров и овладеть методикой измерения размеров элементов зубчатых колес штангензубомером и микрометрическим зубомером

**Объект измерения:** зубчатые колеса

**Средства измерения:** Штангензубомер, штангенциркуль, микрометрический зубомер

### Задание 1

1. Изучить конструкцию, принцип действия штангензубомеров и микрометрического зубомера типа МЗ.

2. Определить и записать в отчет метрологические характеристики штангензубомера и микрометрического зубомера.

3. Начертить схему измерения толщины зуба зубчатого колеса и измерения длины общей нормали зубчатого колеса.

4. Определить половину высоты зуба  $h$  по формул

$$h = D_{\max} - D_{\min} / 4$$

где  $D_{\max}$ – диаметр вершин зубьев колеса;

$D_{\min}$ – диаметр впадин колеса.

5. Произвести измерения толщины десяти зубьев каждого зубчатого колеса.

6. Произвести измерение длины общей нормали зубчатых колес микрометрическим зубомером.

7. Результаты измерений занести в таблицы (табл. 10.1, 10.2)

Таблица 10.1

Результаты измерения толщин зуба по хорде

Деталь	Размеры, мм										
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$S_{10}$	$S_{\text{ср}}$
Зубчатое колесо 1											
Зубчатое колесо 2											



Таблица 10.2

Результаты измерения длины общей нормали				
Деталь	Размеры, мм			
	Сечение I-I	Сечение II-II	Сечение III-III	Сечение IV-IV
Зубчатое колесо 1				
Зубчатое колесо 2				

8. Определить модуль  $m$  зубчатых колес по формуле

$$m = \frac{D\delta}{z}$$

где  $D\delta$  – диаметр делительной окружности зубчатого колеса;  $z$  – число зубьев.

Диаметр делительной окружности вычисляем как

$$D\delta = D_{\max} - D_{\min} / 2$$

9. Определить боковой зазор зубчатого зацепления колес 1 и 2 и сравнить с нормами ГОСТ 1643 – 81. 10.

10. Окончательно оформить отчет, который должен заканчиваться выводами по работе.

Контрольные вопросы

1. Что относится к метрологическим характеристикам измеритель-ных средств?
2. Какие методы используются в процессах измерения?
3. Из каких основных частей состоит штангензубомер, микрометрический зубомер и для чего они предназначены?
4. Какова методика измерения штангензубомером и микрометрическим зубомером?
5. Какие нормы точности зубчатых колес установлены стандартом?
6. Перечислите основные виды контроля зубчатых колес.
7. С помощью каких средств и как измеряют отклонения и длину общей нормали?
8. Какими приборами и как можно проверить показатели, определяющие боковой зазор в зубчатом зацеплении?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

#### ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕГО ДИАМЕТРА НАРУЖНОЙ РЕЗЬБЫ РЕЗЬБОВЫМ МИКРОМЕТРОМ

##### Общие положения

Резьбовые соединения находят широкое применение в машиностроении и приборостроении. Резьбовые поверхности образуются винтовым перемещением профиля определенной формы по цилиндрической (цилиндрические резьбы) или конической (конические резьбы) поверхности.

Метрические крепежные резьбы применяются для неподвижного соединения деталей. Требования к основным элементам резьбы устанавливает **ГОСТ 11708-82**.

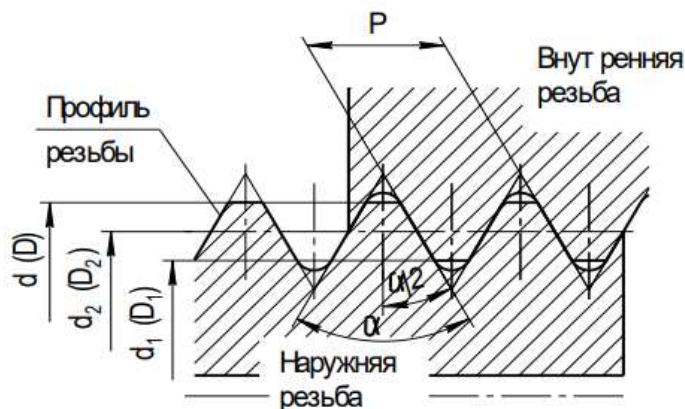


Рис.11.1 Номинальный профиль метрической резьбы

Внутренний диаметр ( $D_1$ ,  $d_1$ ) – диаметр воображаемого прямого кругового цилиндра, вписанного во впадины наружной или вершины внутренней резьбы.

Средний диаметр ( $D_2$ ,  $d_2$ ) – диаметр воображаемого соосного с резьбой прямого кругового цилиндра, каждая образующая которого пересекает профиль резьбы таким образом, что ее отрезки, образованные при пересечении с канавкой, равны половине номинального шага резьбы. Средний диаметр резьбы ничего общего не имеет с полусуммой наружного и внутреннего диаметра.

Шаг ( $P$ ) – расстояние по линии, параллельной оси резьбы между средними точками ближайших одноименных боковых сторон профиля резьбы, лежащими в одной плоскости по одну сторону от оси резьбы. Метрические резьбы подразделяются на резьбы с крупным и мелкими шагами. Стандартом предусмотрены один крупный (основной) шаг и несколько мелких шагов.

Угол профиля ( $\alpha$ ) – угол между смежными боковыми сторонами резьбы в плоскости осевого сечения. У метрической резьбы угол профиля принят равным  $60^\circ$ . При контроле обычно измеряется не угол профиля, а половина угла профиля по правой и левой сторонам профиля, которая равна  $30^\circ$ . Разность между ними свидетельствует о перекосе резьбы, то есть об отклонении профиля резьбы от оси резьбы. Основные параметры резьбы показаны на рис. 11.1.

Номинальный диаметр – диаметр, условно характеризующий размеры резьбы и используемый при ее обозначении. У метрической резьбы в качестве номинального используется наружный диаметр.

Угол подъема резьбы ( $\square$ ) – угол образованный касательной к винтовой линии, описываемой средней точкой боковой стороны резьбы и плоскостью, перпендикулярной к оси резьбы.

Ход резьбы ( $t$ ) – расстояние по линии, параллельной оси резьбы между любой исходной средней точкой на боковой стороне резьбы и средней точкой, полученной при перемещении исходной точки по винтовой линии на угол  $360^\circ$ . В однозаходной резьбе ход резьбы равен шагу, а в многозаходной – ход равен произведению шага на число заходов:  $t = Pn$ , где  $n$  – число заходов.

Взаимозаменяемость резьбовых соединений зависит от погрешностей изготовления всего профиля резьбы, прежде всего ее шага, угла профиля и собственного среднего диаметра.

Однако, учитывая возможность диаметральной компенсации этих погрешностей, они ограничены одним суммарным допуском, который назначается в перпендикулярном к оси резьбы направлении и поэтому называется допуском среднего диаметра.

Наружный диаметр ( $D$ ,  $d$ ) – диаметр воображаемого прямого кругового цилиндра, описанного вокруг вершин наружной или впадин внутренней резьбы.



Микрометры со вставками применяют при измерении среднего диаметра наружной резьбы с нечетным числом заходов, у которых расстояние между параллельными боковыми сторонами резьбы, измеренное перпендикулярно к оси резьбы, является средним диаметром (рис. 11.2). Поэтому для измерения среднего диаметра резьбы можно использовать резьбовой микрометр, оснащенный двумя вставками, одна из которых имеет конусную форму (на подвижной пятке микрометра), другая имеет призматическую форму (на неподвижной пятке). Каждая пара вставок предназначена для измерения резьбы определенного шага.

Резьбовой микрометр со вставками (рис. 11.3) по конструкции скобы 1 и отсчетного устройства аналогичен гладкому микрометру и отличается от последнего тем, что в неподвижной пятке 2 и подвижной пятке микровинта 3 резьбового микрометра имеются отверстия, в которые вставляются сменные вставки. Зазор в резьбовой микропаре компенсируется гайкой 9. Барабан резьбового микрометра 6 выполнен составным, что облегчает установку микрометра на нуль. Встречаются конструкции резьбовых микрометров с регулируемой пяткой 2 (рис. 11.3,б). Резьбовые микрометры имеют цену деления 0,01 мм и пределы измерения 0-25 мм, 25-50 мм и т.д.

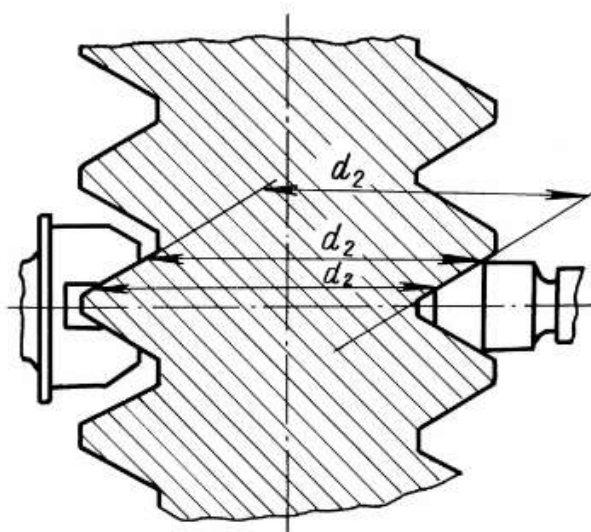


Рис.11.2 Измерение среднего диаметра резьбы

Рис.11.3 Резьбовой микрометр со вставками

#### **Цель работы:**

Изучение устройства резьбового микрометра и приобретение навыков по его использованию

**Средства измерения:** Штангенциркуль, резьбовой микрометр.

**Объект исследования:** Деталь с резьбовой поверхностью

#### **Задание №1:**

1. Определить при помощи штангенциркуля наружный диаметр и шаг резьбы, подлежащей измерению, и округлить их до стандартного значения (таблица П12.1).

2. Подобрать соответствующие вставки и установить в гнездо неподвижной пятки вставку призматическую, а в отверстие подвижной пятки микровинта вставку коническую.

3. Проверить установку микрометра на нуль, для чего отвернуть стопорную гайку 4 микровинта 3 (рис. 11.2,а) и, вращая микровинт за трещотку 11, добиться контакта между вставками.

Наличие контакта проверяется пощелкиванием трещотки. Если при этом нулевой штрих барабана не совпадает с продольной отметкой на стебле 5, то необходимо отрегулировать его положение. Для этого нужно выполнить следующее: застопорить микровинт 3 гайкой 4, отвернуть гайку 7 барабана и, придерживая другую часть барабана 8 за колпачок 10, выдвинуть часть барабана 6 со шкалой и установить ее так, чтобы нулевой штрих этой части барабана совпал с продольной риской на стебле 5, а торец барабана 6 – с нулевым делением на стебле, в этом положении поворотом гайки 7 закрепить часть барабана со шкалой. Отвернуть гайку 4 и проверить правильность установки нуля. В случае необходимости повторить установку.

4. Вращением микровинта установить расстояние между вставками, превышающее контролируемый средний диаметр. Ввести деталь между вставками и, пользуясь трещоткой для перемещения микровинта, измерить средний диаметр.

С целью самоконтроля рекомендуется после измерения зафиксировать положение микровинта стопором 4 и между вставками микровинта осторожно попытаться переместить проверяемую резьбовую поверхность детали. В том случае, если резьбовая поверхность проходит между вставками микровинта с легким усилием, то измерение произведено правильно, в этом положении произвести отсчет. В противном случае измерение следует повторить. Измерение выполнить несколько раз.

5. Дать заключение о годности детали, получив у преподавателя степень точности резьбы. Для этого необходимо найти допуск  $Td_2$  и основное отклонение (верхнее)  $esd_2$ , подсчитать нижнее отклонение по формуле  $eid_2 = esd_2 - Td_2$ . Построить схему расположения поля допуска на средний диаметр наружной резьбы.

6. Оформить отчет по работе согласно прилагаемой форме таблица 11.1

Таблица 11.1

Данные о приборе			
Модель		Допускаемая погрешность, мкм	
Цена деления, мкм		Пределы измерения, мм	
Данные о резьбе			
Наружный диаметр	$d =$	Шаг	$P =$
Средний диаметр	$d_2 =$	Степень точности	
$Td_2 =$ мкм, $esd_2 =$ мкм, $eid_2 =$ мкм			
Схема измерения (рис. 11.2)		Показание прибора, мм	
		1	
		2	
		3	
		Ср	
Схема расположения поля допуска			
Заключение о годности			

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

### ИЗУЧЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ТОЧНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ

#### Общие положения

*Подшипники* – это технические устройства, являющиеся частью опоры, которая поддерживают вал, ось или иную конструкцию, фиксируют положение в пространстве, обеспечивают вращение, качение или линейное перемещение (для линейных подшипников) с наименьшим сопротивлением, воспринимают и передают нагрузку на другие части конструкции. Опора с упорным подшипником называется подпятником.

Подшипники качения – это опоры вращающихся или качающихся деталей, работающие на основе трения качения. Их основные элементы: наружные и внутренние кольца с дорожками качения; тела качения – шарики или ролики; сепараторы, разделяющие и направляющие тела качения.

*Подразделяются подшипники по следующим видам:*

По направлению действия воспринимаемой нагрузки

– радиальные, воспринимающие преимущественно радиальную нагрузку, то есть нагрузку, действующую перпендикулярно оси вращения подшипника (в них вращаются оси опорных колес плугов и культиваторов, валы коробок передач тракторов и автомобилей, прямозубых зубчатых редукторов приводов сельскохозяйственных машин, небольших консольных гидронасосов и т.д.);

- упорные, воспринимающие осевую нагрузку, то есть нагрузку, действующую вдоль оси вращения подшипника (они устанавливаются в опорах наклонных винтовых транспортеров, колонн кранов); - радиально-упорные, воспринимающие комбинированную нагрузку, то есть нагрузку, действующую одновременно и в осевом, и в радиальном направлениях, при чем преобладающей может быть как осевая, так и радиальная нагрузка (устанавливаются в корпусах задних мостов гусеничных тракторов, опорах валов мощных гидронасосов).

Разновидность радиальных подшипников – двухрядные сферические самоустанавливающиеся обладают конструктивной способностью компенсировать возможные несоосности опор, и потому широко применяются при установке в опоры длинных валов, например, валов зерновых и колосовых шнеков зерноуборочных комбайнов.

По форме тел качения – шариковые и роликовые. Роликовые бывают с роликами короткими, цилиндрическими, длинными цилиндрическими, витыми, игольчатыми, коническими, сферическими-бочкообразными

По числу рядов тел качения – одно-, двух-, четырех- и многорядные.

По основным конструктивным признакам – самоустанавливающиеся и несамоустанавливающиеся, с цилиндрическими или коническими отверстиями внутреннего кольца, и так далее.

*Достоинства подшипников качения* Меньшие, по сравнению с подшипниками скольжения, моменты сил трения и теплообразование, меньшие пусковые моменты, меньшие габариты в осевом направлении. 1. Меньший расход смазочных материалов. 2. Большая несущая способность на единицу ширины подшипника. 3. Меньший расход цветных металлов, ниже требования к материалам и термической обработке валов.

*Недостатки подшипников качения* 1. Повышенные диаметральные габариты. 2. Высокие контактные напряжения и поэтому ограниченный срок службы при большом его рассеивании. 3. Высокая стоимость при мелкосерийном производстве уникальных

подшипников. 4. Меньшая способность демпфировать колебания, чем у подшипников скольжения.

*В различных отраслях промышленности, от приборостроения до тяжелого машиностроения, применяются подшипники наружными диаметрами от одного миллиметра до нескольких метров, с шариками диаметрами от 0,35 мм до 203 мм. Подшипники качения стандартизованы, по габаритным размерам они подразделяются на различные серии: особо легкую, легкую, легкую широкую, среднюю, среднюю широкую, тяжелую.*

*Материалы* Основными материалами для колец и тел качения являются шарикоподшипниковые высокоуглеродистые хромистые стали ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ. Число в обозначении марки указывает на среднее содержание хрома в десятых долях процента. Среднее содержание углерода – 1...1,1 процента. Сталь ШХ15СГ содержит дополнительно кремний и марганец. Широко применяются также цементируемые легированные стали 18ХГТ, 20Х2Н4А. Для работы в условиях высоких температур применяют теплостойкие стали 95Х18, ЭИ347Ш и другие, а при требовании немагнитности – бериллиевую бронзу. Сепараторы массовых подшипников изготавливают штамповкой из мягкой углеродистой стали, а высокоскоростных подшипников – из антифрикционных бронз, анодированного дюралюминия, металлокерамики, пластмасс.

Смазка подшипников качения необходима для уменьшения трения между его элементами, усиления теплоотвода, предотвращения коррозии и, в ряде случаев, повышения герметизации путем заполнения зазоров уплотнений и снижения шума.

#### **Цель работы:**

Изучение конструкционных и классификационно-метрологических характеристик подшипников качения. Расшифровка условных обозначений

#### **Задание №1:**

- изучить конструкцию и условия эксплуатации подшипников качения;
- изучить классификационно-метрологические характеристики подшипников качения;
- определить тип и основные размеры подшипников качения по условному обозначению;
- проверить путем измерения с помощью СИ;
- оформить результаты исследования согласно таблицам 1, 2.
- сделать выводы.

#### **Средства измерения:**

Штангенциркуль ШЦ-1, штангенглубиномер ШГ-160, микрометр гладкий МК25-1, микрометр гладкий МК50-2, микрометр гладкий МК75-2, **нутромер НУ-160**

#### **Объект исследования:**

Подшипники качения (по усмотрению преподавателя).и

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое подшипник?
2. Что такое подшипники качения?
3. Как классифицируются подшипники качения?
4. Как подшипники качения подразделяются по габаритным размерам?
5. Какие материалы используются для изготовления колец и тел качения подшипников?
6. Как обозначаются подшипники качения? Приведите пример.
7. Как обозначаются подшипники специального применения?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Список основной литературы

1. Афанасьев, А. А. Взаимозаменяемость и нормирование точности : учебник / А.А. Афанасьев, А.А. Погонин. - Москва : ИНФРА-М, 2021. - 427 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - DOI 10.12737/textbook\_5a57059aaba317.28249851. - ISBN 978-5-16-013123-8. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1229323>. [ЭБС ИНФРА-М]
2. Леонов, О. А. Взаимозаменяемость: учебник / О. А. Леонов, Ю. Г. Вергазова. - 3-изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 208 с. - ISBN 978-5-8114-2811-3. - Текст: электронный//Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/130491>. [ЭБС ЛАНЬ]

### Список дополнительной литературы

1. Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость [Электронный ресурс]: учебник / С.Б. Тарасов, С.А. Любомудров, Т.А. Макарова [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 337 с. [www.dx.doi.org/10.12737/textbook\\_5ca6f9dc3722f5.59052818](http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5ca6f9dc3722f5.59052818). - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/961346> [ЭБС ИНФРА-М]
2. Палей, М.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. : Ч.1. - 9-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 2009. - 530 с.
3. Палей, М.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. : Ч.2. - 9-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 2009. - 629 с.

### Перечень электронных ресурсов (интернет-ресурсов)

1. <http://www.mechfac.ru> – в разделе: студенту/учебно-методический материал – аннотации рабочих программ, учебно-методический материал, разработанные преподавателями Инженерного института.
2. [server/student/Ush\\_Metod/](http://server/student/Ush_Metod/) – представленный во внутреннем доступе на сервере Инженерного института учебно-методический материал систематизирован по кафедрам или изучаемым дисциплинам
3. <http://www.gost.ru> – информационные ресурсы по стандартизации, метрологии и подтверждению соответствия.
4. <http://gost-rf.ru> – информационный справочник нормативных документов, международных и государственных стандартов.
5. <http://www.internet-law.ru> - каталог государственных стандартов

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 .....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.....	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.....	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.....	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7.....	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8.....	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9.....	39
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10.....	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11.....	47
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12.....	52
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	53

Составители:

Возженникова Татьяна Викторовна  
Агафонова Екатерина Васильевна  
Конореев Роман Викторович

ОСНОВЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
Методические указания по выполнению  
лабораторных работ

Формат 60 × 84 1/16  
Подписано к печати.  
Объем 2,0 уч. – изд.л.  
Изд. № 98  
Тираж 100 экз.  
Заказ № \_\_\_\_\_

Отпечатано в мини-типографии Инженерного института НГАУ  
630039, Новосибирск, ул. Никитина, 147