

## 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

### *Основные термины и понятия*

Средства измерения, метрологическая характеристика СИ, шкала СИ, диапазон измерений, диапазон показаний, цена деления, предельная погрешность, мера, штангенинструменты, микрометрические инструменты, оптико-механические приборы, оптические приборы, предельные калибры, исполнительный размер калибра.

### *Основные обозначения*

К – И – калибр, контролирующий износ калибра скобы Р-ПР  
К – НЕ – калибр контрольный непроходной;  
К – ПР – калибр контрольный проходной;  
Р – НЕ – калибр рабочий непроходной;  
Р – ПР – калибр рабочий проходной;  
СИ – средство измерения.

### *Глоссарий к разделу*

*Диапазон измерений СИ* - это область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений;

*Диапазон показаний СИ* - это область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы;

*Класс точности*- обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также рядом других свойств, влияющих на точность осуществляемых с их помощью измерений;

*Мера* – СИ предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значение которых выражено в установленных единицах и известны с необходимой точностью;

*Погрешность СИ* – оторазность между показанием СИ и действительным значением измеряемой величины;

*Цена деления СИ* – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ;

*Чувствительность СИ* - это свойство СИ, определяемое отношением изменения входного сигнала этого СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины.

### *Методические рекомендации для обучающегося к разделу*

**Цель:** формирование комплекса знаний, умений и практических навыков, позволяющих решать задачи связанные с оценкой точности геометрических параметров изделий и ее соответствия установленным стандартам и другой нормативной документации.

**Изучаемые вопросы:** метрологические характеристики СИ; методы и средства измерений и контроля линейных размеров; угловых размеров и конусов; выбор схемы и средств измерений отклонений; ориентации, месторасположения, биений и формы поверхностей; методы и средства измерения шероховатости поверхностей.

**Изучив раздел обучающийся должен:**

– знать виды и методы измерений; методы и средства измерений и контроля линейных размеров, углов и конусов, отклонений ориентации, месторасположения и формы поверхностей, параметров резьбы.

– уметь применять универсальные и специальные средства измерений геометрических параметров деталей и оценивать годность деталей по измеренным параметрам, рассчитывать параметры шероховатости поверхности.

– иметь практический опыт измерения и контроля линейных размеров, углов и конусов; параметров резьбы, отклонений от круглости, цилиндричности, параллельности, настройки на размер регулируемой скобы.

**При освоении раздела необходимо:**

– изучить материал раздела по настоящему учебному пособию и учебной нормативной и научно-технической литературе, указанной в библиографии;

– ответить на контрольные вопросы;

– выполнить лабораторные работы;

– выполнить тест к разделу 4.

### 4.1. Метрологические характеристики средств измерения

Для обеспечения единства измерений и взаимозаменяемости СИ характеристики их метрологических свойств (метрологические характеристики) нормируются и регламентируются стандартами. *Метрологическая характеристика СИ* – это характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерения и на его погрешность. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют *нормируемыми метрологическими характеристиками*, а определяемые экспериментально – *действительными метрологическими характеристиками*. На основании сравнения нормируемых и действительных метрологических характеристик при поверке дают заключение о пригодности СИ. Сравнение нормируемых метрологических характеристик различных СИ позволяет осуществить выбор СИ, необходимого для конкретных условий измерения.

Номенклатура метрологических характеристик зависит от назначения СИ, условий и режимов эксплуатации и других факторов. Наиболее широко используемые в практике технических измерений метрологические характеристики СИ приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Метрологические характеристики средств измерения (по РМГ 29-2013)

| Метрологические характеристики               |   | Примеры      |
|--|---|--------------|
| Наименование                                 | Определение   |              |
| 1  | 2   | 3            |
| <i>Цена деления шкалы</i>                    | Разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ                 | См. рис. 4.1 |
| <i>Диапазон показаний средства измерений</i> | Область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным делениями шкалы           | См. рис. 4.1 |
| <i>Диапазон измерений средства измерений</i> | Область значений величины, в пределах которой нормированы допустимые пределы погрешности СИ | См. рис. 4.1 |

| 1  | 2  | 3  |
|--|--|--|
| <i>Чувствительность средства измерений</i> | Свойство СИ, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого СИ к вызывающему его изменению измеряемой величины  | Абсолютную чувствительность определяют по формуле $S = \Delta \ell / \Delta x$ , где $\Delta \ell$ – изменение сигнала на выходе, $\Delta x$ – изменение измеряемой величины |
| <i>Погрешность средства измерения</i>      | Разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой величины   | –  |
| <i>Класс точности средства измерения</i>   | Обобщенная характеристика данного типа СИ отражающая, как правило, уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность | Например, микрометры гладкие типа МК выпускают 1 и 2-го классов точности   |

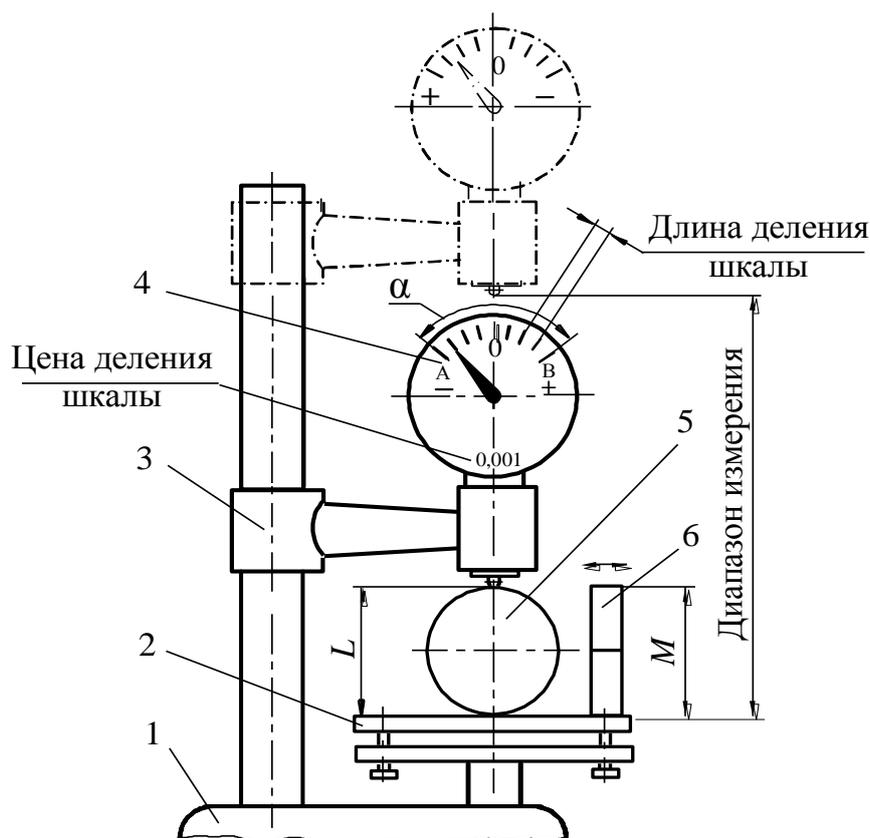


Рис. 4.1. Схема, поясняющая основные параметры средства измерения [16]:

1 – основание; 2 – столик; 3 – кронштейн; 4 – измерительный прибор; 5 – объект измерения; 6 – блок концевых мер;  $L$  – размер объекта измерения;  $M$  – размер блока концевых мер;  $\alpha$  – угол между начальным  $A$  и конечным  $B$  значениями шкалы;  $(-A, +B)$  – диапазон показаний средства измерения

## 4.2. Методы и средства измерений и контроля линейных размеров

### 4.2.1. Меры

К мерам длины относятся плоскопараллельные концевые меры длины, штриховые меры (измерительные линейки, рулетки, кронциркули со шкалой) и щупы.

#### *Общие сведения о плоскопараллельных концевых мерах длины*

Плоскопараллельные концевые меры длины (ГОСТ 9038) служат для сохранения и передачи единицы длины в машиностроении. Они широко используются в лабораторной и цеховой практике линейных измерений: для проверки и градуировки различных шкал, калибров и приборов (образцовые меры), для установки измерительных инструментов и приборов на нуль, а также для точных измерений линейных размеров деталей, точных разметочных работ, для наладки станков, для установки регулируемых калибров – скоб на размер.

Концевые меры длины представляют собой пластины из закаленной стали или твердого сплава, имеющие форму прямоугольных параллелепипедов с двумя плоскими измерительными поверхностями, которые весьма точно обрабатывают путем шлифования и доводки.

За длину концевой меры (в любой точке) принимают длину перпендикуляра, опущенного из данной точки измерительной поверхности на ее противоположную измерительную поверхность. За номинальную длину концевой меры принимают ее длину в средней части концевой меры. **Отклонением длины концевой меры от номинальной длины** называют наибольшую по абсолютному значению разность между длиной меры в любой точке и номинальной длиной меры. **Отклонением от плоскопараллельности** называют разность между наибольшей и наименьшей длинами концевой меры.

На каждой концевой мере гравировуют ее номинальный размер. На мерах с размерами до 5,5 мм номинальный размер наносят на одной из измерительных поверхностей, на мерах с размерами свыше 5,5 мм – на боковой рабочей поверхности.

Концевые меры выпускают наборами. Согласно ГОСТ 9038, выпускается 21 набор концевых мер (от 4 до 112 мер в наборе). Наибольшее распространение имеют наборы: № 1 из 83 мер, № 2 из 42 мер и № 6 из 10 мер.

Характерной особенностью концевых мер длины является их притираемость измерительными поверхностями при их надвигании друг на друга, т.е. способность прочно сцепляться между собой. Притираемость дает возможность собирать блоки разных размеров из минимального числа концевых мер (4 – 5 штук) с дискретностью 1 мкм. При подсчете длин концевых мер, включаемых в блок, необходимо, чтобы первая мера содержала последний или два последних знака размера длины блока, вторая мера – последние знаки остатка и т.д.

#### **Пример 4.1**

*Требуется составить блок длиной  $L = 79,03$  мм. Длины концевых мер, входящих в блок, при использовании набора № 1 – 1,03; 8; 20 и 50 мм (рис. 3.31, а).*

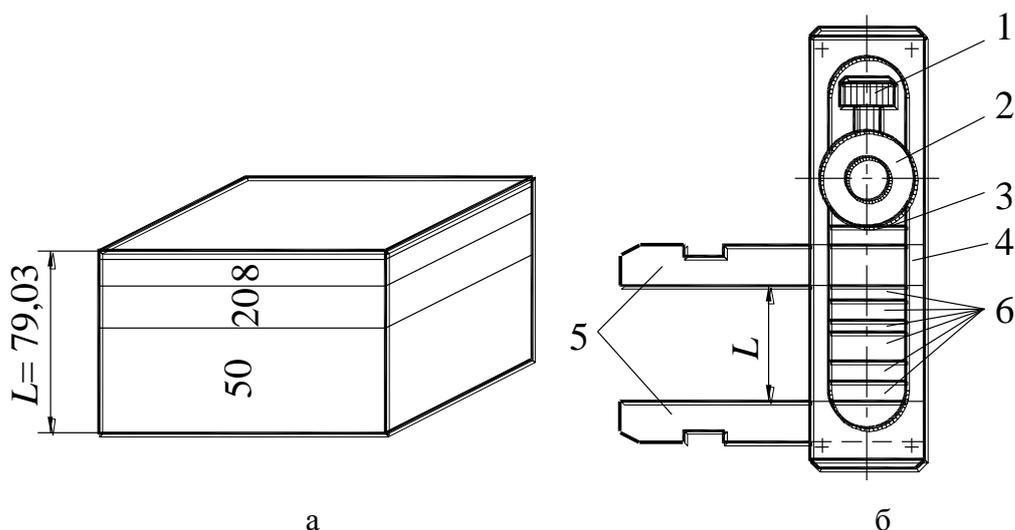


Рис. 4.1. Составление блока концевых мер: а – блок концевых мер, б – измерительный набор; 1 – винт; 2 – гайка; 3 – планка; 4 – державка; 5 – боковик; 6 – концевые меры

#### 4.2.2. Средства измерений абсолютным методом

Отличительным признаком СИ для абсолютных измерений является наличие у них шкал, с которыми сравнивается измеряемая величина. Точность таких СИ ограничена точностью изготовления шкал. Наиболее распространенными СИ для абсолютных измерений являются штриховые линейки, штангенинструменты, микрометрические инструменты, длинномеры и другие приборы.

##### *Устройство и эксплуатация штангенинструментов*

Штангенинструменты применяют для линейных измерений, не требующих высокой точности. В группу этих инструментов входят штангенциркули, штангенглубиномеры и штангенрейсмасы. Отсчетным приспособлением у них является нониус.

##### *Нониусное отсчетное устройство*

На нониусной линейке длина дополнительной шкалы  $l$  (рис. 4.2, а) равна целому числу делений основной шкалы, но количество делений на единицу больше. Интервал деления шкалы нониуса будет равен:

$$b = \frac{c(n-1)}{n} = \frac{l}{n},$$

где  $c$  – цена деления основной шкалы;  $l$  – длина шкалы нониуса;  $n$  – число делений нониуса.

Отсчет по нониусу определяется из уравнения

$$e = c - b;$$

подставив значение  $b$  получим:

$$e = c - \frac{c(n-1)}{n} = \frac{c}{n}.$$

Допустим (см. рис. 4.2,а)  $c = 1$  мм, тогда  $e$  будет равно 0,2 мм. Чтобы найти общий размер  $L$  (рис. 4.2,б), необходимо определить размер  $M$ , складывающийся из целых делений основной шкалы, расположенных левее нулевого штриха шкалы нониуса, и размер  $m$ , представляющий собой часть деления основной шкалы. Чтобы узнать этот размер, надо установить, какой штрих шкалы нониуса совпадает со штрихом основной шкалы. На рис. 4.2,б со штрихом основной шкалы совпадает четвертый штрих. Это значит, что при  $e = 0,2$  мм расстояние между ближайшим левым штрихом основной шкалы и нулевым штрихом нониуса равно 0,8 основного деления. Тогда размер  $A = M + m = 2,8$  мм.

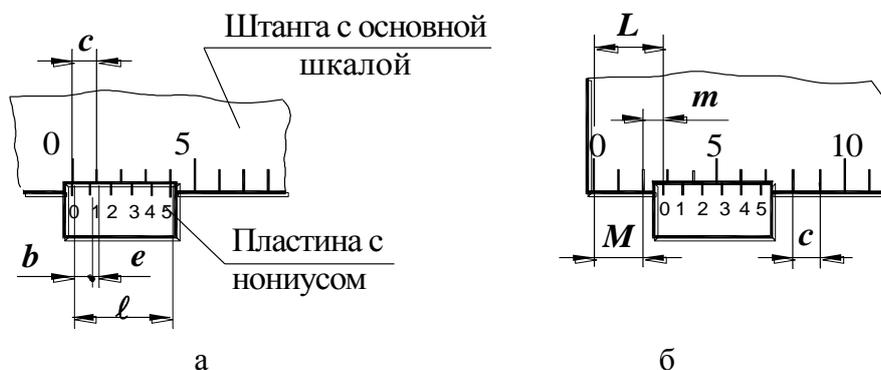


Рис. 4.2. Нониусное отсчетное устройство: а – построение шкалы нониуса; б – пример отсчета по нониусу

### Штангенциркули

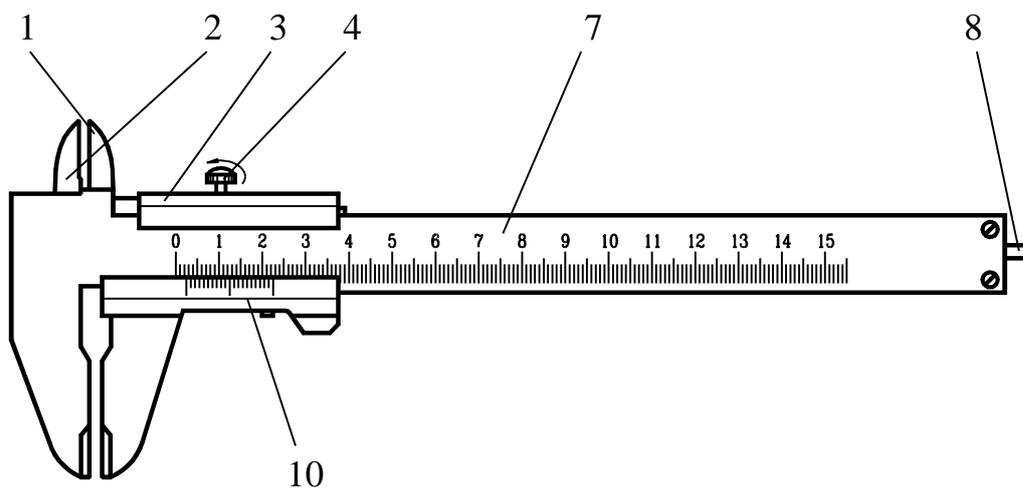
Различают три типа штангенциркулей: ШЦ-I с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и с линейкой для определения глубин (рис. 4.3, а), ШЦ-II – с двусторонним расположением губок для измерения и для разметки (рис. 4.3, б), ШЦ-III – с односторонними губками для наружных и внутренних измерений (рис. 4.3, в). Величина отсчета по нониусу этих штангенциркулей – 0,1 и 0,05 мм. Технические характеристики штангенциркулей приведены в [3,4, 8, 15]. Штангенциркуль (см. рис. 4.3) состоит из штанги 7, неподвижных губок 1, изготовленных заодно со штангой, рамки 3 с подвижными губками 2, нониуса 10 и рамки 6. Рамки 3 и 6 соединены между собой микрометрическим винтом с гайкой 9. При помощи этого устройства осуществляется точная подача рамки 3. Положение рамок 3 и 6 фиксируется винтами 4 и 5. В рамке 3 установлена плоская изогнутая пружина, которая обеспечивает постоянное прилегание рамки 3 к ребру штанги. Нижние губки предназначены для измерения как внутренних, так и наружных размеров. Верхние губки служат для измерения наружных размеров, а их заостренные концы – для выполнения разметочных работ.

Точность показаний штангенциркуля зависит от правильности его установки на изделии (рис. 4.4).

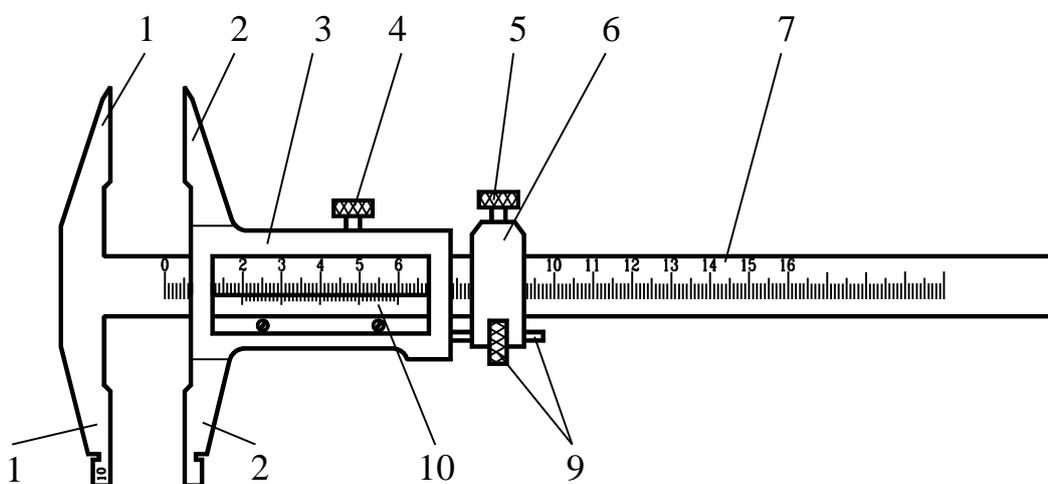
Для измерения изделия штангенциркулем необходимо:

- открепить рамки 3 и 6, передвинуть их вдоль штанги и расположить рамку 3 так, чтобы измеряемое изделие можно было установить между измерительными плоскостями губок;
- с помощью микровинта передвинуть рамку 3 до получения плотного прилегания поверхностей обеих губок к поверхностям измеряемого изделия;
- закрепить стопорный винт 4;
- сняв инструмент с изделия, считать показания по шкале штанги и по нониусу.

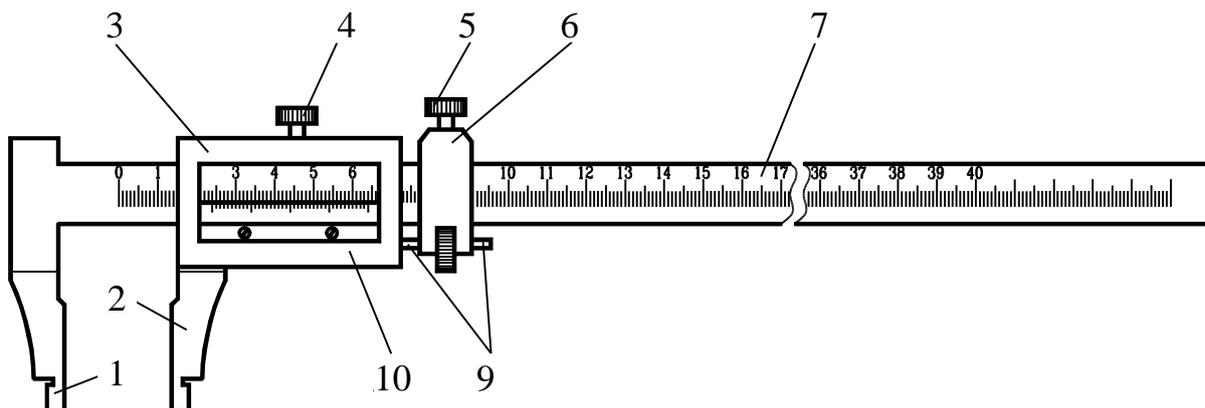
При измерении внутренних размеров необходимо учесть толщину губок штангенциркуля.



а



б



в

Рис. 4.3. Штангенциркули: а – ШЦ I; б – ШЦ II; в – ШЦ III; 1 – неподвижные губки; 2 – подвижные губки; 3 – рамка; 4 – зажим рамки; 5 – зажим рамки микрометрической подачи; 6 – рамка микрометрической подачи; 7 – штанга; 8 – линейка глубиномера; 9 – винт и гайка микрометрической подачи; 10 – нониус

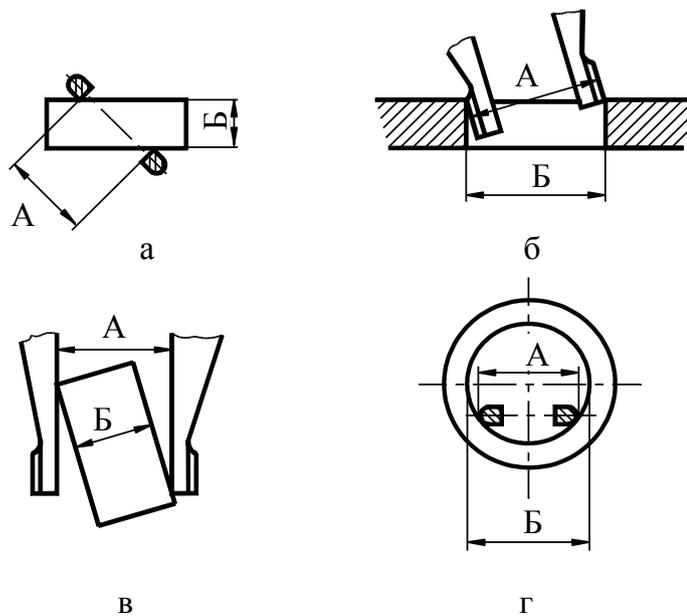


Рис. 4.4. Примеры неправильной установки штангенциркуля:  
а, в –  $A > B$ ; б, г –  $A < B$

### Штангенглубиномер

Штангенглубиномер предназначен для измерения выточек, отверстий, канавок, уступов и т.п.

Технические характеристики штангенглубиномеров приведены в [4, 15].

Штангенглубиномер отличается от штангенциркуля тем, что не имеет на штанге 6 (рис. 4.5) неподвижных губок, а подвижные губки на рамке выполнены в виде опорного основания с плоскостью, расположенной перпендикулярно к направлению штанги. Этой плоскостью штангенглубиномер устанавливают на измеряемый объект. Измеряемый размер заключается между двумя поверхностями, одной из которых является торец самой штанги, а другой – поверхность основания 1.

На рис. 4.6 показаны примеры применения штангенглубиномера.

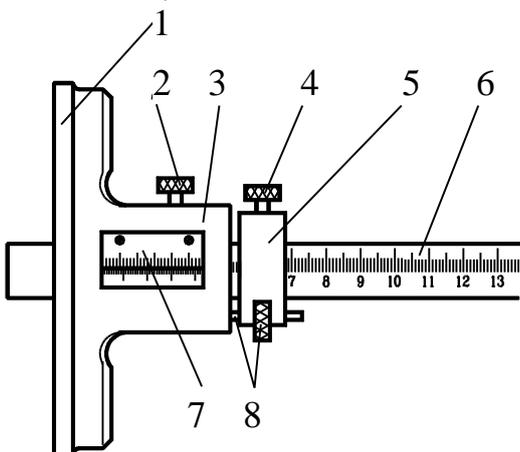


Рис. 4.5. Штангенглубиномер:  
1 – основание; 2 – зажим рамки; 3 – рамка;  
4 – зажим рамки микрометрической подачи; 5 –  
рамка микрометрической подачи;  
6 – штанга; 7 – гайка и винт микро-  
метрической подачи; 8 – нониус

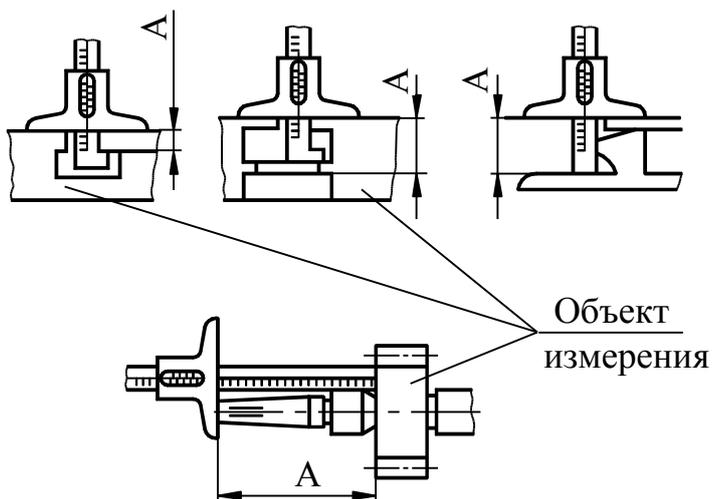


Рис. 4.6. Применение штангенглубиномера для измерения размеров различных элементов деталей:

Измерение штангенглубиномером необходимо осуществлять в следующем порядке:

- наложить штангенглубиномер на плоскость измеряемого изделия;
- открепив рамки 3 и 5 продвинуть штангу вниз до тех пор, пока она не коснется своим торцом плоскости или выступа измеряемого изделия;
- закрепить стопорный винт 2;
- сняв штангенглубиномер с изделия, считать показания.

### *Штангенрейсмас*

Штангенрейсмас служит для измерения высот и выполнения разметочных работ. Он имеет массивное основание 1 (рис. 4.7) и рамку 4 с одной подвижной губкой, на которую при помощи хомута 11 монтируются ножки специальной конструкции. К штангенрейсмасу прикладывается три типа ножек: ножка 3 пред назначена для разметки; ножка 2 имеет две измерительные поверхности: верхняя служит для измерения размеров внутренних элементов (рис. 4.7, а), а нижняя для измерения размеров наружных элементов (рис. 4.7, б). При измерении размеров наружных элементов можно пользоваться и ножкой 3 (рис. 4.7, в).

При измерении охватываемых размеров к показанию штангенрейсмаса  $M$  необходимо прибавить толщину губки  $q$ .

Третий тип ножки представляет собой державку (рис. 4.8, г, д), в которой можно закрепить иглы различной длины. При помощи игл измеряют высоты в том случае, когда одна из поверхностей измеряемого изделия труднодоступна (см. рис. 4.8, г). При измерении нужно из показателя штангенрейсмаса  $M$  вычесть величину  $m$ , которая соответствует такому положению рамки, когда острие иглы находится в одной плоскости с плоскостью основания (см. рис. 4.8, д). Если глубина впадины небольшая, иглу устанавливают в рамке так, чтобы величина  $m$  была равна нулю.

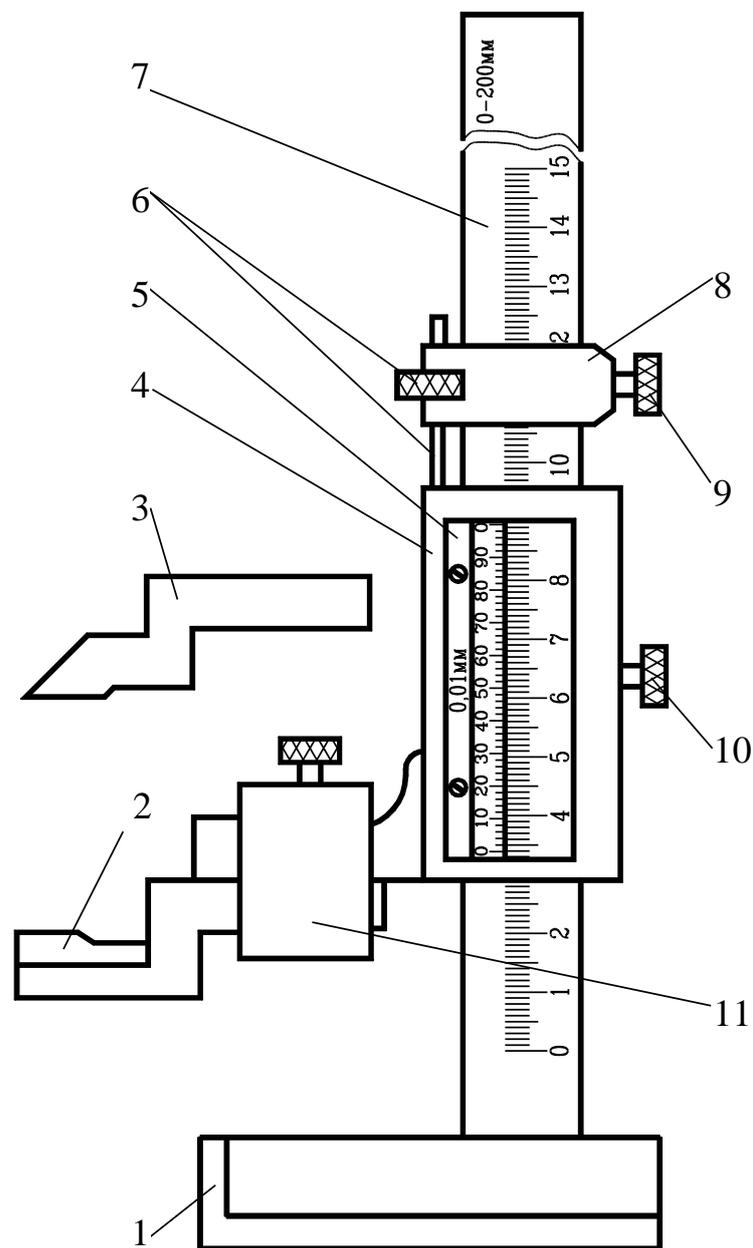


Рис. 4.7. Штангенрейсмас: 1 – основание; 2 – измерительная ножка; 3 – разметочная ножка; 4 – рамка; 5 – нониус; 6 – винт и гайка микрометрической подачи; 7 – штанга; 8 – рамка микрометрической подачи; 9 – зажим рамки микрометрической подачи; 10 – зажим рамки; 11 – хомут

Для измерения размера изделия штангенрейсмасом необходимо (см. рис. 4.7):

- открепить рамки 4 и 8;
- установить ножку приблизительно на необходимый размер;
- при помощи микровинта 6 осторожно переместить поверхность ножки до соприкосновения ее с измеряемым изделием;
- закрепить стопорный винт 10 рамки 4;
- считать показания штангенрейсмаса.

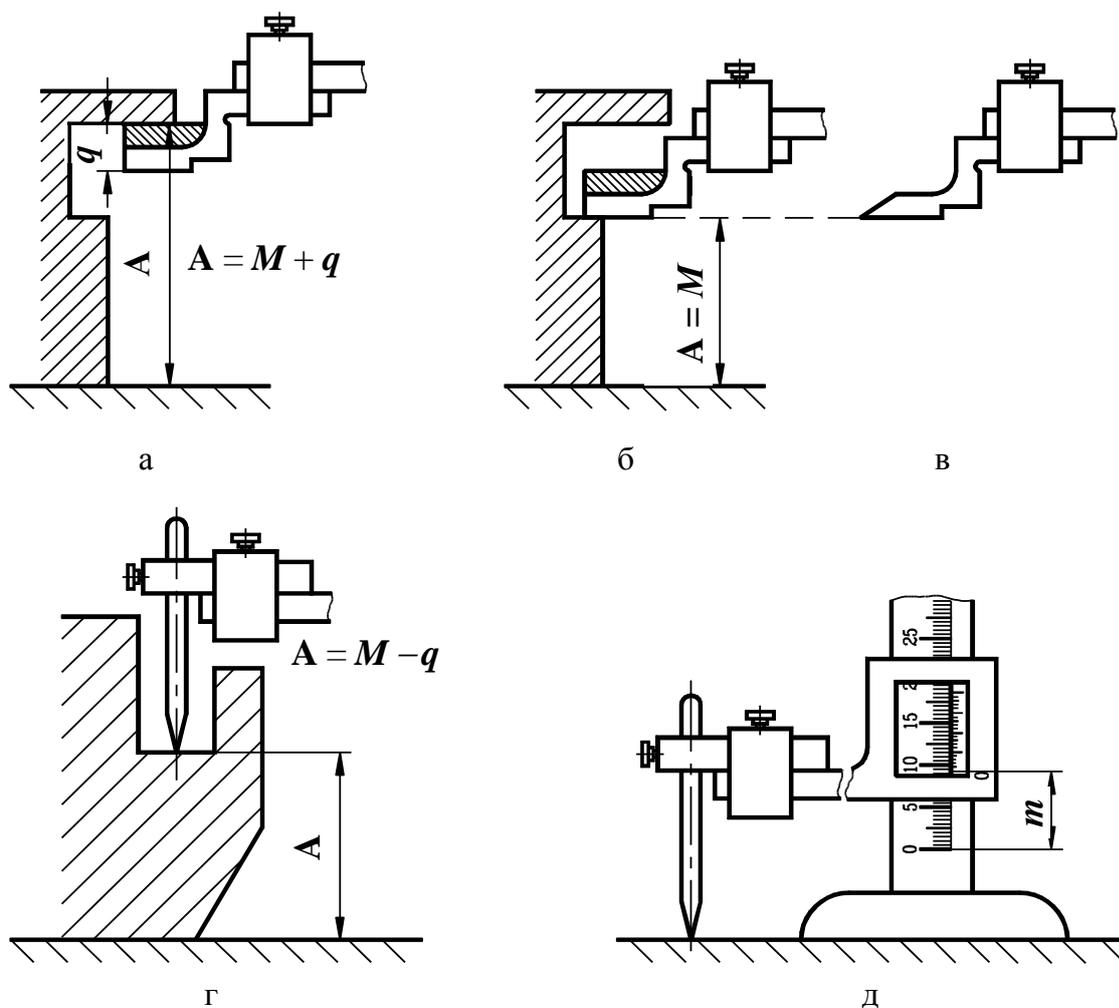


Рис. 4.8. Примеры применения штангенрейсмаса для измерения размеров элементов соответственно: а – внутренних; б, в – наружных, г, д – трудно-доступных;  $A$ – измеряемый размер;  $M$ – показание штангенрейсмаса;  $q$ –толщина ножки;  $m$  – показание штангенрейсмаса при установке измерительной ножки на уровне основания

Ряд зарубежных и отечественных фирм, (TESA (Швейцария), CarlMahr (Германия), ЧИЗ (г. Челябинск, РФ), КРИН (г. Киров, РФ) и др.) выпускают штангенинструменты с цифровой индикацией (рис. 4.9, 4.10 а) и со стрелочным отсчетным устройством (рис. 4.10, б) и



Рис. 4.9. Штангенциркуль цифровой (электронный) MarCal 16 EWRc выводом данных



а                      б

Рис. 4. 10. Штангенрейсмасы: а – со стрелочным отсчетным устройством; б– с цифровой индикацией

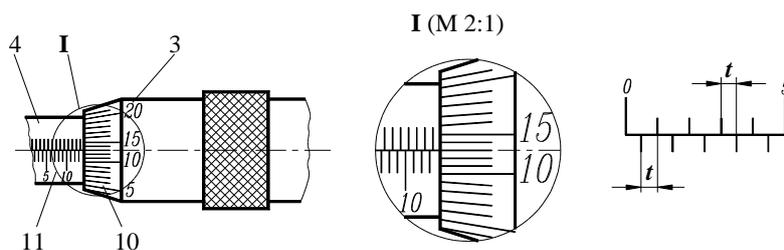
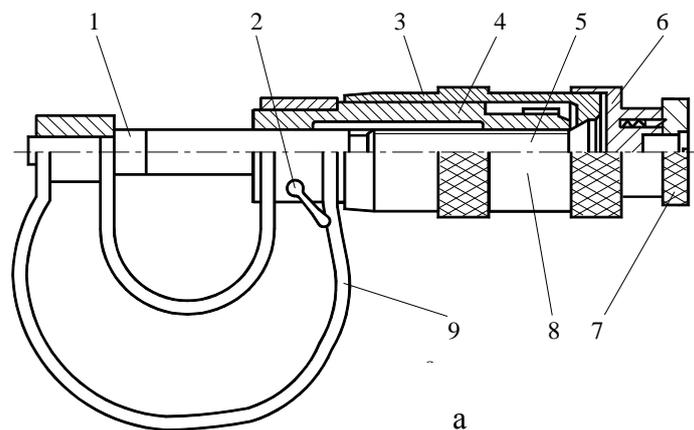
При измерении штангенинструментами с цифровым отсчетом информацию получают в прямом коде (с указанием знака и абсолютного значения) в миллиметрах или дюймах. Кроме того, как правило, имеется возможность вывода результатов измерений на внешние устройства.

### *Устройство и эксплуатация микрометрических инструментов*

К микрометрическим измерительным инструментам относятся микрометры для измерений размеров наружных элементов, микрометры для измерений размеров внутренних элементов, микрометрические нутромеры, микрометрические глубиномеры и специальные микрометры.

### *Отсчетное устройство микрометрических инструментов*

Принцип действия отсчетного устройства всех микрометрических инструментов основан на преобразовании угловых перемещений в линейные при помощи винтовой пары. В этой паре осевое перемещение барабана 3 (рис. 4.11, а, б) и винта 5 за каждый оборот барабана равно шагу винта.



б

в

Рис. 4.11. Микрометр: 1 – пятка; 2 – стопорное устройство; 3 – барабан; 4 – стембель; 5 – микрометрический винт; 6 – установочный колпачок; 7 –трещеточное устройство; 8 – микрометрическая головка; 9 – скоба; 10,11 – шкалы микрометра

Если на стембле 4, относительно которого вращается барабан, нанести деления через каждый шаг, то по полученной шкале 11 можно легко определить целое число оборотов винта 5. Для того, чтобы установить долю пройденного деления, на коническом срезе барабана 3 нанесена дополнительная шкала 10, содержащая  $n$  делений. Поворот барабана на одно деление этой шкалы вызывает осевое перемещение винта на  $1/n$  часть шага.

Таким образом, цена деления барабана определяется из уравнения

$$i = \frac{t}{n},$$

где  $t$  – шаг винта;  $n$ – число делений на срезе барабана.

В большинстве случаев у микрометрических инструментов, число делений на срезе барабана равно 50, тогда при  $t = 0,5$  мм цена деления инструмента будет равна 0,01 мм.

У всех микрометрических инструментов на стембле нанесены две миллиметровые шкалы, из которых одна расположена над продольной чертой стембля, а другая – под чертой (рис. 4.11, в). Верхняя шкала сдвинута относительно нижней на размер шага винта, т.е. на 0,5 мм. Целое число миллиметров отсчитывается по основной шкале (с пронумерованными штрихами), а половины миллиметров – по вспомогательной. Доли же миллиметра устанавливаются по числу делений на барабане. Отсчет на рис. 4.11, б соответствует 13,63 мм.

У всех микрометрических инструментов длина винта не превышает 25 мм, так как в противном случае накопленная ошибка по шагу может оказаться больше точности отсчитывающего устройства.

### Измерение микрометром

При правильной установке микрометра нулевой штрих барабана совпадает с продольным отсчетным штрихом на стебле, а начальный штрих основной шкалы 0, 25 мм и др. в зависимости от диапазона измерений виден полностью. Если указанные штрихи не совпадают, то микрометр требуется перенастроить. Для этого у микрометра с диапазоном измерения 0 ... 25 мм вращают микровинт за трещотку, доводя измерительные плоскости пятки и микровинта до соприкосновения, и в таком положении стопорят микровинт. Если же необходимо установить микровинт с диапазоном измерений больше 25 мм, то между измерительными поверхностями пятки и микровинта зажимают соответствующий установочный калибр или концевую меру.

Дальнейшая настройка микровинтов осуществляется следующим образом. Поворачивая установочный колпачок 6 (см. рис. 4.11, а) не более чем наполоборота, освобождают барабан. После освобождения барабана разъединяют его с микровинтом. Для этого барабан сдвигают вдоль стебля до появления щелчка. Барабан поворачивают до совмещения его нулевого штриха с продольным отсчетным штрихом. После этого, придерживая барабан, закрепляют его установочным колпачком.

Перед началом измерений расстояние между измерительными поверхностями устанавливают так, чтобы оно было больше измеряемой величины. Установку следует вести путем вращения барабана в ту или другую сторону, не забыв отстопорить микровинт. В противном случае барабан повернется и настройка микрометра будет нарушена.

При измерении микрометр устанавливают на изделие и, вращая микровинт за трещотку, зажимают изделие между измерительными поверхностями.

После того как трещотка прекратит проворачиваться, снимают показания.

Кроме универсальных гладких микрометров выпускается много специализированных моделей, например, для измерения толщины стенок труб со сферическими измерительными поверхностями, для измерения размеров деталей из мягких материалов с измерительными вставками в виде дисков, микрометры для измерения среднего диаметра резьбы; микрометрический инструмент для измерения длины общей нормали зубчатых колес, наружного диаметра многолезвийного инструмента и т.д.

Современные микрометрические инструменты имеют очень высокое качество, благодаря наличию высокоточного шлифованного винта, беззазорного соединения «винт-гайка», твердосплавных измерительных поверхностей. Высокая точность микрометрических инструментов обусловлена также соблюдением в их устройстве принципа Аббе, заключающегося в том, что минимальная погрешность измерений возникает в том случае, когда ось измерения и шкала отсчетного устройства СИ лежат на одной линии.

Микрометрические инструменты со штриховой шкалой (рис. 4.12) и электронные с цифровой индикацией (рис. 4.13) выпускают многие фирмы: Tesa, Mitutoyo (Япония), CarlMahr (Германия), ЧИЗ, КРИН и др.



Рис. 4.12. Микрометр прецизионный



Рис. 4.13. Микрометр цифровой Micromar 40EWR (МКЦ 25) IP65

Электронные микрометры вместо штриховых шкал снабжены и, как правило, емкостными преобразователями, небольшим электронным микропроцессорным блоком и цифровым дисплеем, расположенным в скобе или барабане микрометра.

Дискретность отсчета современных микрометров – 0,01 мм и 0,001 мм.

*Оптико-механические и оптические приборы* Для точных измерений линейных размеров деталей предназначены длиномеры – вертикальные и горизонтальные. Вертикальные длиномеры (высотомеры) используют для измерений линейных размеров наружных элементов. Отсчетное устройство вертикальных длиномеров ИЗВ, работающих по принципу Аббе имеет три шкалы, цена деления которых 1, 0,1 и 0,001 мм. Горизонтальные длиномеры позволяют измерять линейные размеры как наружных, так и внутренних элементов.

Современные технологии позволили пренебречь принципом Аббе и использовать для компенсации всевозможных погрешностей измерений электронные компоненты. Примером таких длиномеров является высотмер Digimar фирмы Mahr (рис. 4.14). Фирма Tesa выпускает как простые высотомеры, подобные показанному на рис. 4.14, так и моторизованные вертикальные длиномеры для прецизионных измерений по двум координатам.

Для измерения линейных и угловых размеров различных деталей сложной формы (резьбонарезного инструмента, резьбовых калибров, червячных фрез, кулачков и т. д.) используют инструментальные микроскопы (рис. 4.15).

Измерение линейных размеров осуществляют с помощью микрометрических головок, позволяющих перемещать стол микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях от одной завизированной точки до другой.

Для измерения углов применяют угломерную окулярную головку. Наряду с угломерной применяют револьверную окулярную головку и головку двойного изображения. Для всех микроскопов предусмотрены стандартные проекционные устройства, фотоприсадки и приспособления для установки и закрепления измеряемых деталей.

Большой инструментальный микроскоп модели БМИ (рис. 4.15) имеет повышенную точность измерения линейных размеров и увеличенные пределы измерения по сравнению с микроскопом малой модели.

Наличие цифровых устройств у инструментальных микроскопов позволяет значительно повысить производительность и объективность снятия показаний.

Универсальные измерительные микроскопы (рис. 4.16) УИМ отличаются от инструментальных большим диапазоном измерений и повышенной точностью. Вместо микрометрических отсчетных устройств микроскопы УИМ имеют миллиметровые шкалы и отсчетные микроскопы со спиральными окулярными микрометрами, цена деления которых 0,001 мм.



Рис. 4.14. Длинномер вертикальный (высотомер) цифровой Digimar 817 CLM

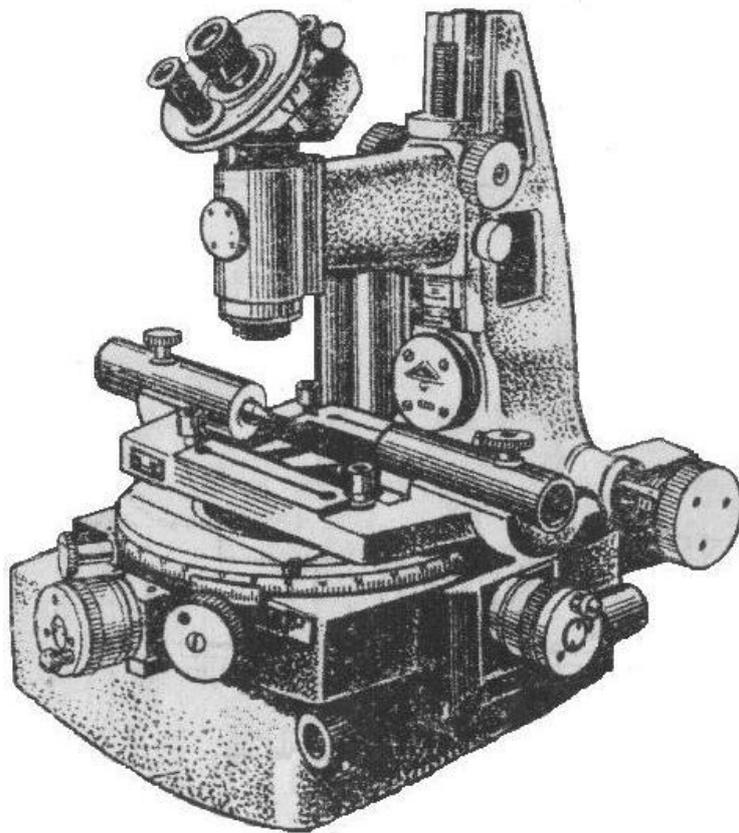


Рис. 4.15. Большой инструментальный микроскоп



Рис. 4.16. Универсальный измерительный микроскоп

Несмотря на конструктивные особенности принципиальная схема измерений у универсальных и инструментальных микроскопов одинакова - визирование различных точек объекта измерения, перемещаемых для этого в двух взаимно перпендикулярных направлениях и измерение этих перемещений с помощью отсчетных устройств.

Кроме российских предприятий универсальные измерительные микроскопы выпускают и зарубежные фирмы (Tesa, Mitutoyo, Kestrel, CarlZeiss др.).



Рис. 4.17. Цифровой измерительный универсальный микроскоп MarVision

На рис. 4.17 показан цифровой измерительный микроскоп ММ 320, предназначенный для бесконтактного измерения линейных размеров деталей точного приборостроения, он может быть использован также в инструментальном производстве, автомобиле – и самолетостроении.

Проекторы – это оптические приборы предназначенные для измерения линейных и угловых размеров и контроля мелкоразмерных деталей сложной формы. Принцип их действия основан на нормированном увеличении объекта измерений, получении его увеличенного изображения на экране и последующего измерения размеров с помощью специальных устройств или сравнения изображения с чертежом.

Современные проекторы (рис. 4.18) снабжены цифровыми отсчетными устройствами, кромкоискателями, программным обеспечением и являются хорошими и удобными приборами цехового контроля.

Выпускают проекторы как отечественные (например, Новосибирский приборостроительный завод), так и зарубежные (Tesa, Mitutoyo, Microtechnica(Германия)Starret (Великобритания), NikonMetrology (Япония)) производители.



Рис. 4.18. Проектор

### *Координатно-измерительные машины*

Измерение геометрических параметров (линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения поверхностей) изделий сложной конфигурации (турбинных лопаток, кулачков, зубчатых колес и др.) можно осуществлять координатным методом с помощью координатно-измерительных машин (КИМ). Универсальность КИМ делает эти машины незаменимыми средствами измерений на предприятиях с мелкосерийным производством. В крупносерийном и даже массовом производстве это свойство может предопределять области эффективного применения КИМ на участках опытного производства, в измерительных лабораториях, инструментальных цехах, отделах контроля качества.

К основным характеристикам КИМ относят возможность измерения в любой из трех систем прямоугольных координат: в машинной системе, соответствующей осям, по которым перемещается измерительная головка; в нормальной системе, соответствующей осям детали (деталь может быть смещена по трем координатам относительно оси машинной системы); во вспомогательной системе, которая может быть смещена по трем координатам относительно нормальной системы (эта система обеспечивает измерения элементов, расположенных на наклонных поверхностях детали).

Параметры, полученные при измерении в нормальной системе, могут быть быстро пересчитаны во вспомогательную систему (или наоборот) переключением на пульте управления или с помощью определенного кода, записанного на диске.

Принцип действия КИМ состоит в перемещение измерительного зонда (механического, оптического или лазерного) по трем координатам, с целью ощупывания поверхности детали в требуемых точках и измерении этих перемещений. Измеренные значения воспринимаются вычислительным устройством, перерабатываются и записываются. Большинство КИМ автоматически производит весь процесс измерения: согласование баз в машине и детали, управление движениями, считывание и обработку результатов измерений.

КИМ бывают большими (рис. 4.19, а) и малыми (рис. 4.19, б). Сегодня типичная КИМ – это трехкоординатная машина, чаще всего портального типа с воздушными опорами. КИМ с вертикально или горизонтальной (рис. 4.19, в) консолью применяются реже.



Рис. 4.19. Координатно-измерительные машины: а, б – портального типа: а – большая; б – малая; в – с горизонтальной консолью

Портальные конструкции обладают большей жесткостью по сравнению с консольными и позволяют достичь высокой точности измерения при максимальных диапазонах измерений. Однако наличие в портальной конструкции колонн ограничивают доступ к детали с боковых сторон, что снижает возможности КИМ.

Значительный шаг сделали российские специалисты, создав принципиально новую КИМ – шестикоординатную, в которой ощупывающий зонд имеет возможность перемещения по трем координатам и поворота относительно трех координатных осей. С помощью таких КИМ возможно измерение деталей с внутренними полостями и «затененными» поверхностями, измерение прецизионных мелкоструктурных элементов деталей, в том числе измерение зубчатых колес с модулем 0,2 мм и больше. Производитель таких КИМ ООО «Лапик» (г. Саратов).

Для контроля крупногабаритных объектов, проведения измерений в ходе технологического процесса были созданы мобильные КИМ (рис. 4.20). Их достоинства: низкая стоимость, высокая точность, высокая мобильность, возможность автономной работы в условиях реального производства, простота в обучении персонала, взаимодействие с

современными CAD/CAM системами. Широко используются мобильные КИМ FARO Technologies (США).



Рис. 4.20. Мобильная координатно-измерительная машина FARO

### 4.2.3. Средства измерений относительным методом

Примером относительного измерения является измерение отклонения  $\Delta x$  искомого размера от известного размера  $A$  меры или образцовой детали. Для получения размера  $x$  необходимо к размеру  $A$  прибавить отсчитанное по шкале положительное или отрицательное отклонение  $\Delta x$ , т.е.

$$x = A + \Delta x.$$

Приборы для относительных измерений можно использовать для абсолютных измерений малых размеров, если последние не превышают пределов показаний прибора.

Приборы для относительных измерений строят на различных принципах преобразования малых величин в большие – механических, оптических, пневматических, или их сочетаниях, например, оптико-механических, электропневматических и др.

#### *Измерительные головки с зубчатой передачей*

К таким головкам в первую очередь относятся индикаторы часового типа, в которых возвратно-поступательное перемещение измерительного стержня преобразуется в круговое движение стрелки с помощью зубчатых передач.

Индикаторы часового типа выпускаются в двух модификациях: индикаторы типа ИЧ с перемещением стержня параллельно шкале и индикаторы типа ИТ с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале. Выпускают также индикаторы с цифровым отсчетом (рис. 4.21). Существуют индикаторы со



Рис. 4.21. Индикатор часового типа цифровой Marcator 1086R (ИЧЦ 12,5) с допусковым контролем

статистической обработкой результатов измерений, например, индикаторы типа СИС, которые имеют две стрелки: действительных размеров и средних арифметических и др.

Приборы с зубчатыми передачами имеют ограниченную точность. Это обусловлено погрешностями зубчатых передач, особенно первой (рейка-гриб), так как они увеличиваются последующими зубчатыми парами. Цена деления шкалы индикаторов типа ИЧ и ИТ– 0,01 мм. Диапазоны измерений 0–2 мм, 0–5 мм, 0–10 мм и др.

### *Измерительные головки с рычажно-зубчатой передачей*

Эти головки отличаются от индикаторов часового типа наличием рычажной передачи, заменяющей реечную передачу в головках зубчатых. Существует много различных измерительных головок и приборов, основанных на применении рычажно-зубчатых механизмов преобразования.

Головки измерительные типов 1ИГ и 2ИГ с ценой деления 0,001 мм и 0,002 мм имеют диапазоны измерений соответственно  $\pm 0,05$  мм и  $\pm 0,10$  мм.

Головки рычажно-зубчатые многооборотные (многооборотные индикаторы) типа МИГ имеют высокую точность, благодаря использованию двухрычажного механизма. Выпускают головки 1МИГ и 2МИГ с ценой деления 0,001 мм и 0,002 мм и диапазоном измерений 0–1 мм и 0–2 мм соответственно. Существуют и электронные рычажно-зубчатые измерительные головки.

Зубчатые и рычажно-зубчатые механизмы используются в качестве отсчетных устройств и в других универсальных СИ. Выпускаются скобы индикаторные типа СИ синдикатором часового типа, скобы рычажные типа СР со встроенным в корпус отсчетным устройством, индикаторные нутромеры (рис. 4.22) и др.



Рис. 4.22. Индикаторные нутромеры

В настоящее время все эти СИ выпускаются и с цифровой индикацией (рис. 4.23, 4.24).



Рис. 4.23. Скоба рычажная цифровая



Рис. 4.24. Цифровые нутромеры: а – двухточечный; б – трехточечный

### *Пружинные измерительные головки*

Такие головки отличаются простотой конструкции и обеспечивают высокую точность, так как в них отсутствуют погрешности от мертвых ходов, трения и износа.

Применение плоских пружин и мембран взамен обычных опор скольжения и вращения обеспечивает их надежную работу в условиях скопления пыли и большой влажности. В пружинных передачах приборов для преобразования малых перемещений измерительного наконечника в значительно большие перемещения указателя используют плоские, прямые, изогнутые или скрученные упругие металлические ленты.

К пружинным головкам относятся микрометры 01ИГПВ, 02ИГПВ, 05ИГПВ ... 10ИГПВ с ценой деления от 0,0001 мм до 0,010 мм и микаторы (малогабаритные пружинные головки) 05ИПМ, 1ИПМ и 2ИПМ с ценой деления 0,0005 мм, 0,001 мм, 0,002 мм соответственно.



Рис. 4.25. Магнитный штатив с установленным в нем цифровым индикатором

Кроме того существуют измерительные головки, называемые миникатором и оптикатором. В первых для преобразования поступательного движения измерительного стержня во вращательное движение стрелки использован рычажно-пружинный механизм, во втором – пружинно-оптический. Миникаторы типа ИРПВ выпускаются с ценой деления 0,001 мм и 0,002 мм с диапазоном измерений  $\pm 0,04$  мм и  $\pm 0,08$  мм соответственно. Оптикаторы 01П, 02П, 05П имеют цену деления 0,0001 мм; 0,0002 мм, 0,0005 мм и диапазоны измерений  $\pm 0,012$  мм,  $\pm 0,025$  мм и  $\pm 0,050$  мм соответственно.

Для установки измерительных головок с посадочными поверхностями  $\varnothing 8h7$  и  $\varnothing 28h7$  используют стандартные измерительные стойки и штативы (в том числе магнитные), а также различные приспособления и устройства для закрепления измерительных головок и установки измеряемых изделий (рис. 4.25).

### *Оптиметры*

Принцип действия оптиметра основан на сочетании принципа автоколлимации и оптического рычага. Это позволяет преобразовать малое перемещение измерительного стержня в значительно увеличенное перемещение видимой в окуляр шкалы относительно указателя.

Выпускают вертикальный и горизонтальный оптиметры; вертикальный предназначен для измерений линейных размеров наружных элементов, а горизонтальный – как наружных, так и внутренних элементов. Оптический преобразователь оптиметра (трубка) может иметь окулярный или проекционный (рис. 3.26) отсчет. Цена деления шкалы оптиметра 0,001 мм, предел показаний  $\pm 0,1$  мм.

Прибор с ценой деления 0,0002 мм и диапазоном измерений 0–25 мм известен под названием ультраоптиметр. Он отличается от оптиметра тем, что изображение шкалы дважды отражается от подвижного зеркала, благодаря чему увеличивается длина оптического рычага, что позволяет уменьшить цену деления.

Рис. 4.26. Оптиметр вертикальный с



проекционным отсчетом

#### 4.2.4. Контроль линейных размеров деталей предельными калибрами

Контроль деталей в диапазоне размеров до 500 мм с допусками от IT6 до IT17, особенно в массовом и крупносерийном производствах, наиболее часто осуществляют калибрами. Валы и отверстия с допусками точнее IT6 не рекомендуется проверять калибрами, так как при этом вносится большая погрешность измерения. Такие изделия проверяют универсальными СИ.

Калибры разделяют на рабочие и контрольные (контркалибры).

Комплект рабочих предельных калибров для контроля размеров гладких цилиндрических деталей состоит из проходного калибра ПР (им контролируют предельный

размер, соответствующий максимуму материала проверяемой детали) и непроходного калибра НЕ (им контролируют предельный размер, соответствующий минимуму материала проверяемой детали) (рис. 4.27).

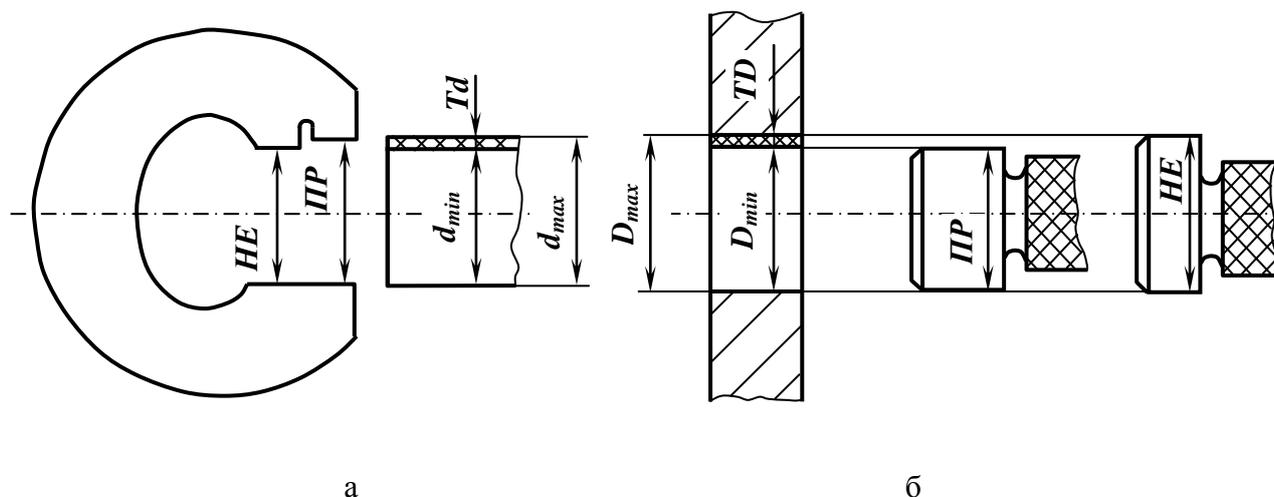


Рис. 4.27. Схемы контроля деталей: а – вала скобой; б – отверстия пробками

Рабочие калибры ПРи НЕ предназначены для контроля изделий в процессе их изготовления. Этими калибрами пользуются рабочие и контролеры ОТК завода-изготовителя, причем контролеры применяют частично изношенные калибры ПР и новые калибры НЕ.

При контроле калибрами деталь считают годной, если проходной калибр (проходная сторона калибра) под действием собственного веса или усилия, примерно равного ему, но не менее 1 Н, проходит, а непроходной калибр (непроходная сторона) не проходит по контролируемой поверхности детали. Детали, не удовлетворяющие любому из этих двух условий, являются негодными, их отбраковывают.

Для установки регулируемых калибров-скоб и контроля нерегулируемых калибров-скоб в процессе изготовления применяют контрольные калибры К-РП и К-НЕ, а для контроля скоб в процессе эксплуатации – калибры К-И, которые являются непроходными и служат для изъятия из эксплуатации вследствие износа проходных нерегулируемых и поднастройки регулируемых рабочих скоб. Контрольные калибры к калибрам-пробкам не предусмотрены, так как их легко проверить универсальными измерительными средствами.

Для контроля валов в основном применяют калибры в виде скоб (см. рис. 3.27, а). Калибры в виде колец применяют только в особо ответственных случаях, когда требуется контролировать отклонения от цилиндричности (особенно при наличии огранки, имеющей форму псевдоокружности).

Конструктивно гладкие калибры-скобы выполняют регулируемыми (для контроля размеров до 330 мм) и нерегулируемыми. Регулируемые калибры-скобы дороже и менее точны, чем нерегулируемые (их применяют для контроля размеров 8 качества и грубее), но могут быть перенастроены в некотором интервале размеров, к тому же они допускают быстрое восстановление размера, потерянного из-за изнашивания рабочих поверхностей. Нерегулируемые калибры более точны и дешевле, чем регулируемые.

Контроль размеров отверстий производят проходными и непроходными калибрами-пробками (см. рис. 4.27, б).

Допуски и координаты средин полей допусков гладких рабочих и контрольных калибров нормированы для размеров до 500 мм (ГОСТ 24853) и приведены в [].

### 4.3. Методы и средства измерений и контроля угловых размеров и конусов

#### 4.3.1. Общие сведения

Контроль углов мелких и плоских деталей возможен *комплексным методом* с помощью проекционных приборов путем *сравнения* их контуров с вычерченным в увеличенном масштабе двойным предельным контуром годного профиля. При этом контролируют допуски угла  $AT_\alpha$  и  $AT_h$ , отклонение от прямолинейности сторон угла и другие параметры.

**Комплексный контроль** конических деталей осуществляют, как правило, *калибрами* с использованием краски по полноте прилегания сопрягаемых поверхностей.

Поэлементные измерения углов и конусов разделяют на три основные группы:

- измерение сравнением с жесткой образцовой мерой (угловыми мерами, шаблонами, угольниками);
- измерение прямое (гониометрическим методом) приборами, имеющими угломерную шкалу (при помощи гониометра, оптической делительной головки, универсального и инструментального микроскопов, угломеров с нониусом и др.);
- измерение косвенное (тригонометрическим методом на универсальном микроскопе, при помощи шариков, синусных и тангенсных линеек и т.п.).

Универсальные и специальные средства поэлементных измерений и контроля конических деталей приведены в табл. 4.2 и 4.3. Указанные средства могут быть использованы для измерения и контроля конусных калибров и инструментальных конусов.

Таблица 4.2

Средства поэлементных измерений и контроля наружных конических поверхностей [8]

| Контролируемый параметр | Наименование средства измерения и контроля   | Степень точности измеряемого конуса |
|-------------------------|--|-------------------------------------|
| Угол конуса             | Пневматический прибор  | $AT4 - AT8$                         |
|                         | Синусная линейка $L = 200$ мм кл. 1*, концевые меры кл. 2, головка измерительная пружинная с ценой деления 1 мкм, плита поверочная кл. 0         | $AT6 - AT8$                         |
|                         | Синусная линейка $L = 300$ мм кл. 1, концевые меры кл. 2, головка измерительная пружинная с ценой деления 0,5 мкм, плита поверочная кл. 0        | $AT4 - AT8$                         |
|                         | Универсальный прибор с синусным столом (при трехкратном измерении с перестановкой измеряемой детали)   | $AT4 - AT8$                         |
| Диаметр конуса          | Калибр-втулка (по отклонению базорасстояния)   | $AT6 - AT12$                        |
|                         | Универсальное средство измерения (например, микрометр) с использованием двух аттестованных роликов   | –                                   |
|                         | Универсальное средство измерения (например, индикатор часового типа со стойкой) с использованием синусной линейки и одного аттестованного ролика | –                                   |
|                         | Универсальный измерительный микроскоп  | –                                   |

Окончание таблицы 4.2.

|  |  |                   |
|--|--|-------------------|
| Диаметр конуса   | Трехкоординатная измерительная машина                              | <i>AT6 – AT12</i> |
| Отклонение от прямолинейности образующих   | Линейки поверочные лекальные с двусторонними скосами типа ЛД кл. 0 | <i>AT6, AT7</i>   |
|  | Прибор для контроля прямолинейности образующих                     | <i>AT5 – AT7</i>  |
|  | Универсальный прибор с синусным столом                             | <i>AT5 – AT7</i>  |
| Отклонение от круглостипоперечных сечений  | Кругломер (любая станковая модель)                                 | <i>AT4 – AT8</i>  |
| * - кл. 0, кл. 1, кл. 2 – соответственно нулевой, первый и второй класс точности СИ. |  |                   |

Таблица 4.3

Средства поэлементных измерений и контроля внутренних конических поверхностей [8]

| Контролируемый параметр                    | Наименование средства измерения и контроля  | Степень точности измеряемого конуса |
|--|---|-------------------------------------|
| Угол конуса                                | Пневматическая пробка   | <i>AT6 – AT8</i>                    |
|  | Синусная линейка $L = 300$ мм кл. 1, концевые меры кл. 2, головка измерительная рычажно-пружинная, плита поверочная кл. 0 | <i>AT6 – AT8</i>                    |
|  | Универсальный прибор с синусным столом (при трехкратном измерении с перестановкой измеряемой детали)                      | <i>AT4 – AT8</i>                    |
|  | Универсальное измерительное средство (например, микрометрический глубиномер) с использованием двух аттестованных шариков  | –                                   |
| Диаметр конуса                             | Калибр-пробка (по отклонению базорасстояния)  | <i>AT6 – AT12</i>                   |
| Отклонение от прямолинейности образующих   | Универсальный прибор с синусным столом  | <i>AT5 – AT7</i>                    |
| Отклонение от круглости поперечных сечений | Кругломер   | <i>AT4 – AT8</i>                    |

#### 4.3.2. Угловые меры

Угловые меры служат для измерения углов шаблонов и контршаблонов, для проверки показаний угломеров и, в отдельных случаях, для проверки изделий. Призматические угловые меры изготавливают по ГОСТ 2875 из закаленной высококачественной стали.

Угловые меры поставляют наборами, комплектуемыми из угловых мер типов I, II, III, соответственно с одним рабочим углом со срезанной вершиной (рис. 4.28, а), с одним рабочим углом остроугольные (рис. 4.28, б) и с четырьмя рабочими углами (рис. 4.28, в). Угловые меры имеют доведенные ( $Ra = 0,02$  мкм) измерительные поверхности и отверстия, позволяющие осуществить с помощью набора принадлежностей соединение угловых мер в блоки.

Призматические угловые меры выпускают трех классов точности: 0, 1 и 2.

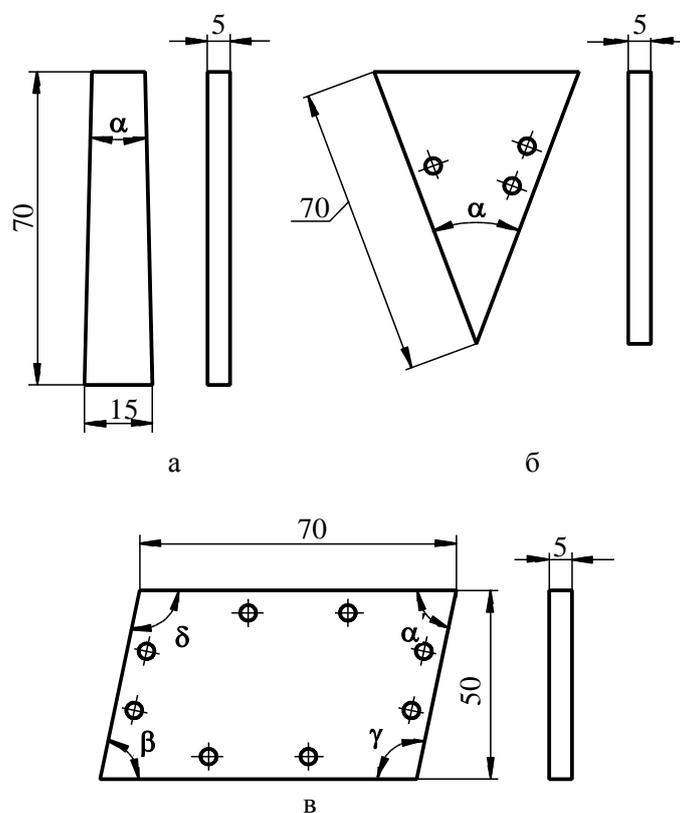


Рис. 4.28. Угловые меры: а, б, в – соответственно I, II и III типов

### 4.3.3. Угломеры с нониусом

Угломеры с нониусом выпускают трех типов: тип 1 – модели 2УМ и 5УМ, тип 4 – модель 4УМ, тип 2 – модель 127. В зависимости от конструкции различают угломеры транспортные (модели 2УМ, 5УМ, 4УМ) и универсальные (модель 127).

#### *Угломеры транспортные*

Угломеры транспортные (табл. 4.4) предназначены для измерения наружных углов различных изделий. Кроме того, конструкция таких угломеров позволяет производить разметочные работы на плоскости.

Угломер транспортный (рис. 4.29) состоит из основания 2, на котором нанесена основная шкала с ценой деления 1 градус, неподвижной (жестко закрепленной на основании) линейки 1 и подвижной линейки 10, поворачивающейся вокруг оси 7 совместно с нониусом 5. Для точной установки линейки 10 в определенном положении служит микрометрический винт 4, вращаемый при закрепленном стопорном винте 3.

Технические характеристики угломеров транспортных

| Параметр                           | Тип 1     |         | Тип 4    |
|------------------------------------|-----------|---------|----------|
|                                    | Модель    |         |          |
|                                    | 2УМ       | 5УМ     | 4УМ      |
| Диапазон измерения, град.          | 0 ... 180 |         |          |
| Диапазон показаний, град.          | 0 ... 90  |         |          |
| Цена деления основной шкалы, град. | 1         |         |          |
| Значение отсчета по нониусу, мин.  | 2         | 5       | 15       |
| Предельная погрешность, мин.       | $\pm 2$   | $\pm 5$ | $\pm 10$ |

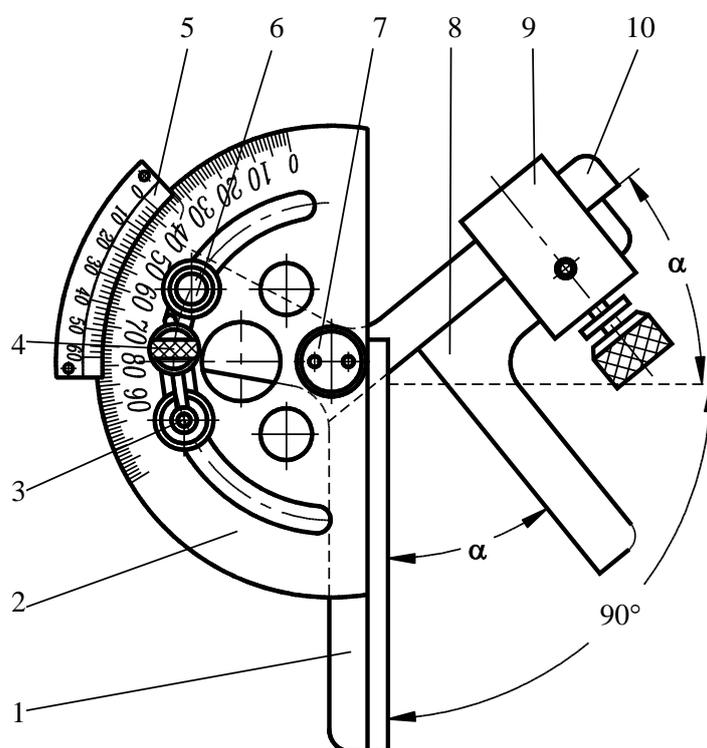


Рис. 4.59. Угломер транспортный: 1 – линейка; 2 – основание; 3, 6 – стопорный винт; 4 – микрометрический винт; 5 – нониус; 7 – ось; 8 – угольник; 9 – хомут; 10 – подвижная линейка

Стопорный винт 6 служит для закрепления линейки 10 в требуемом положении, а угольник 8, устанавливаемый на линейке 10 с помощью хомута 9 – для измерения углов от 0 до 90°.

### Угломер универсальный модели 127

Угломер универсальный предназначен для измерения наружных и внутренних углов различных изделий.

Техническая характеристика угломера универсального  
– Диапазон измерения наружных углов, град. 0 ... 360

|  |            |
|--|------------|
| – Диапазон измерения внутренних углов, град. | 40 ... 180 |
| – Диапазон показаний, град.                  | 0 ... 360  |
| – Цена деления основной шкалы, град.         | 1          |
| – Значение отсчета по нониусу, мин.          | 2          |
| – Предельная погрешность, мин.               | $\pm 2$    |

Угломер универсальный (рис. 4.30) состоит из основания 1, на котором нанесена основная шкала с ценой деления  $1^\circ$ , сектора 4 с закрепленным на нем нониусом 3, угольника 2, устанавливаемого на секторе 4 с помощью хомутика 6 и съемной линейки 7, соединенной с угольником 2 хомутиком 8. С основанием 1 жестко соединена измерительная линейка 5, а сектор 4 имеет возможность перемещения относительно основания 1 вместе с нониусом 3. Стопорный винт 9 служит для фиксации измерительной линейки 5.

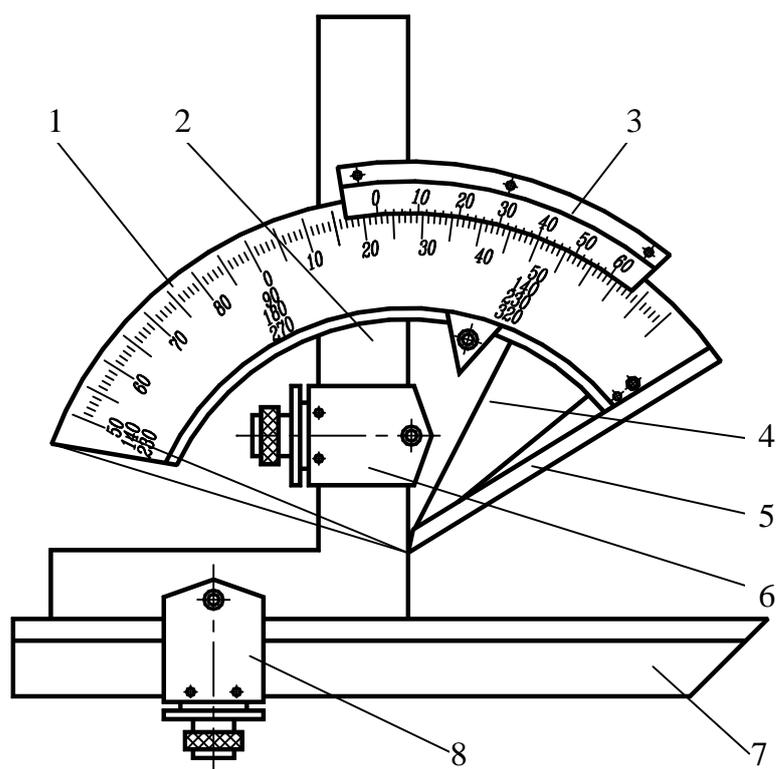


Рис. 4.30. Угломер универсальный: 1 – основание; 2 – угольник; 3 – нониус; 4 – сектор; 5 – измерительная линейка; 6, 8 – хомутик; 7 – съемная линейка; 9 – стопорный винт

### *Измерение углов изделий с помощью угломеров*

Измерение углов транспортирным угломером производят путем наложения на стороны детали, образующие измеряемый угол, линеек 1 и 10 угломера (см. рис. 4.29) при измерении тупых углов ( $90^\circ + \alpha$ ) или линейки 1 и угольника 8 при измерении острых углов  $\alpha$ . Наложение осуществляют так, чтобы между линейками угломера и сторонами детали не было видимого просвета.

Значения измеряемого угла отсчитывают по основной шкале на основании 2 и шкале нониуса 5. Первый штрих шкалы нониуса, обозначенный цифрой 0, является началом этой шкалы и одновременно указателем значения измеряемого угла по основной шкале. Если штрих шкалы нониуса 0 совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы, то значение

измеряемого угла отсчитывают только по основной шкале. Если этот штрих не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то отсчет составляют из двух частей: значение угла, кратное  $1^\circ$ , определяют по ближайшему к нулевому штриху шкалы нониуса меньшему значению основной шкалы; к этому значению прибавляют значение угла в минутах, определяемое штрихом шкалы нониуса, совпадающим с штрихом основной шкалы, например, угол  $39^\circ 6'$  на рис. 4.31.

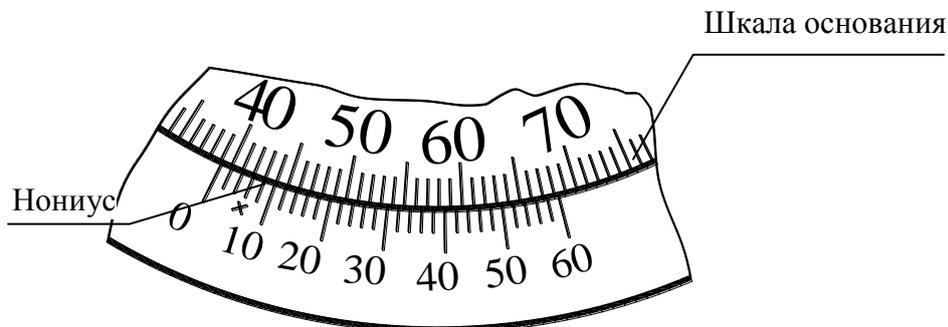


Рис. 4.31. Шкалы угломера

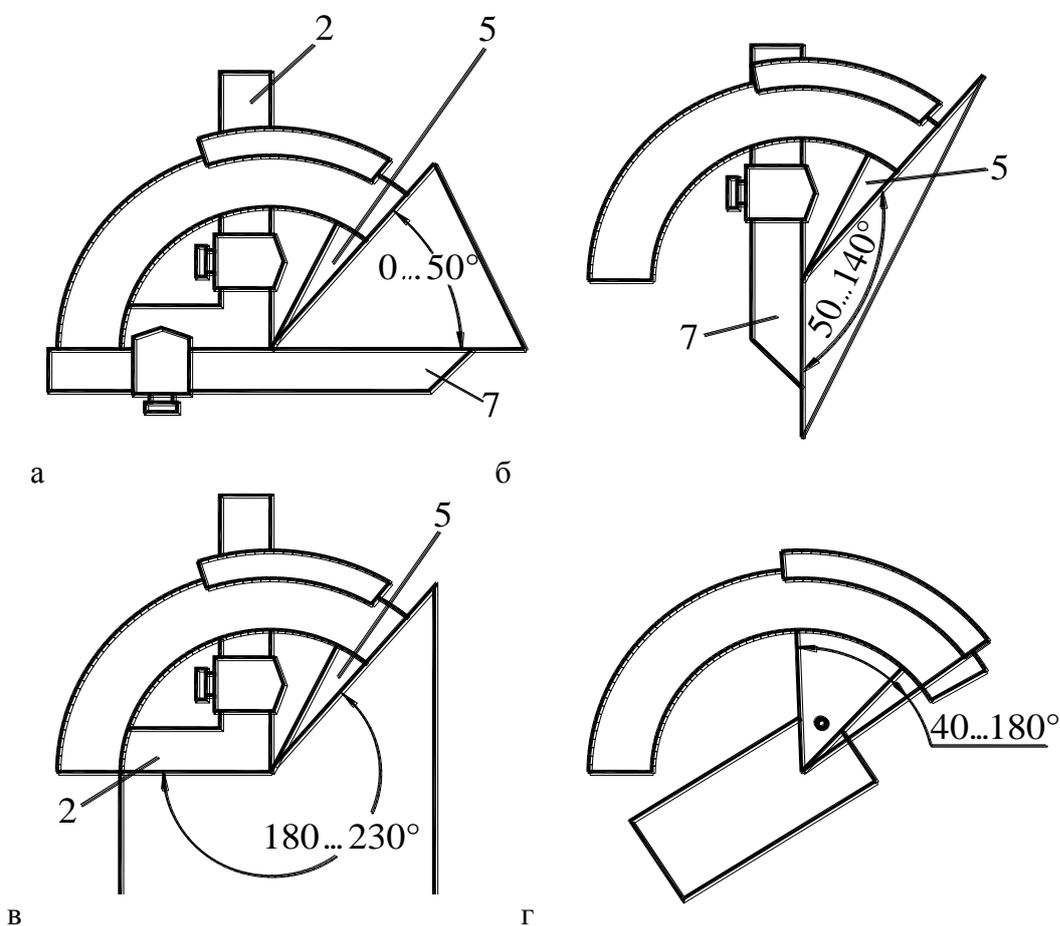


Рис. 4.32. Схемы измерения универсальным угломером:  
а, б – наружных углов; в, г – внутренних углов

Измерение наружных и внутренних углов универсальным угломером осуществляют по схемам, показанным на рис. 4.32. Наружные углы в диапазоне от  $0$  до  $50^\circ$  измеряют с помощью угольника 2 и линейки 7, совмещая стороны измеряемого угла с измерительными поверхностями линеек 5 и 7 (см. рис. 4.32, а).

Наружные углы в диапазоне от  $50^\circ$  до  $140^\circ$  измеряют при снятом угольнике 2 и установленной на его месте линейке 7 (рис. 4.32, б). Измерительные поверхности короткой стороны угольника 2 и линейки 5 при снятой линейке 7 (рис. 4.32, в) используют для измерения наружных тупых углов от  $140^\circ$  до  $180^\circ$  и внутренних тупых углов от  $180^\circ$  до  $230^\circ$ . Внутренние углы в диапазоне от  $40^\circ$  до  $180^\circ$  измеряют при снятых угольнике 2 и линейке 7 (см. рис. 4.32, г).

Правила отсчета значений измеряемых универсальным угломером углов аналогичны правилам отсчета по шкале транспортирного угломера.

#### 4.3.4. Измерение угловых и диаметральных размеров конусов

Отклонение угла наружного конуса измеряют тригонометрическим методом с помощью синусной линейки по схеме, указанной на рис. 4.33.

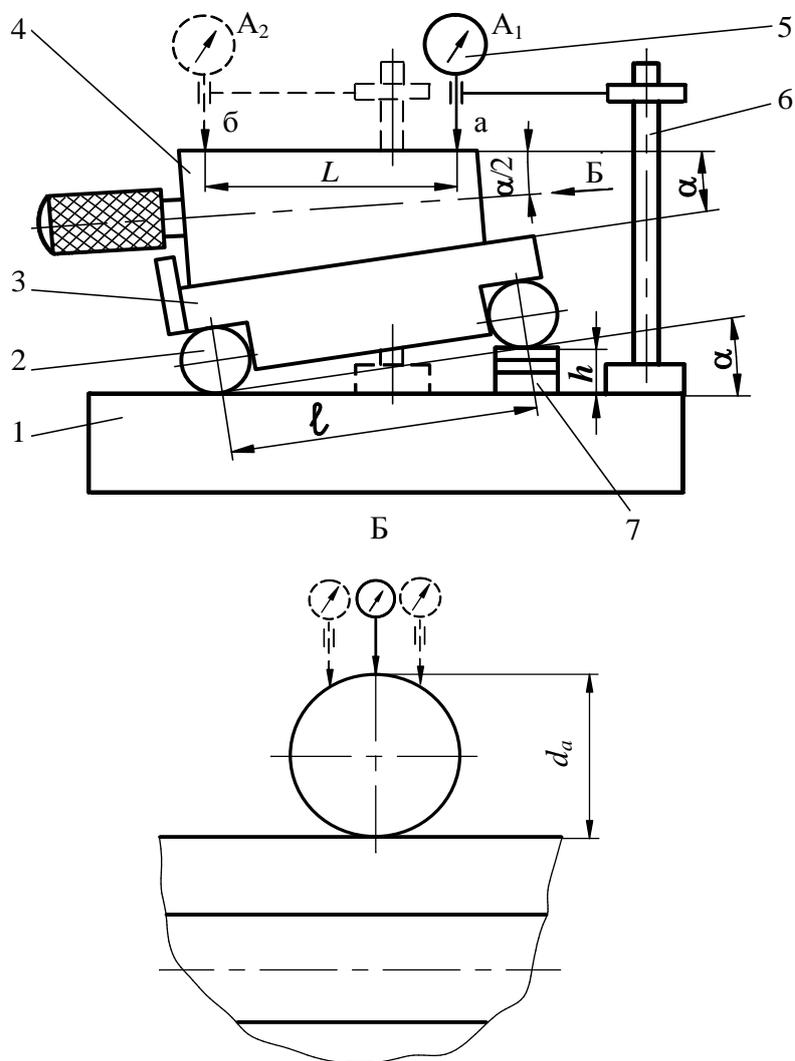


Рис. 4.33. Схема измерения отклонения угла наружного конуса с помощью синусной линейки: 1 – поверочная плита; 2 – ролик; 3 – рабочий столик; 4 – объект измерения; 5 – измерительный прибор; 6 – штатив; 7 – блок

Размер блока концевых мер  $h$  определяют по формуле

$$h = \ell \sin \alpha, \quad (4.1)$$

где  $\ell$  – базовая длина синусной линейки;  $\alpha$  – номинальный угол конуса, а отклонение  $\Delta\alpha$  угла  $\alpha$  – по формуле

$$\Delta\alpha = \arctg (A_1 - A_2) / L, \quad (4.2)$$

где  $A_1, A_2$  – показания прибора 5 соответственно в точках **а** и **б**;  $L$  – расстояние между точками **а** и **б**.

Диаметральные размеры наружных конусов можно измерить косвенными методами: с помощью двух аттестованных роликов (рис. 4.34) или с помощью синусной линейки и аттестованного ролика (рис. 4.35).

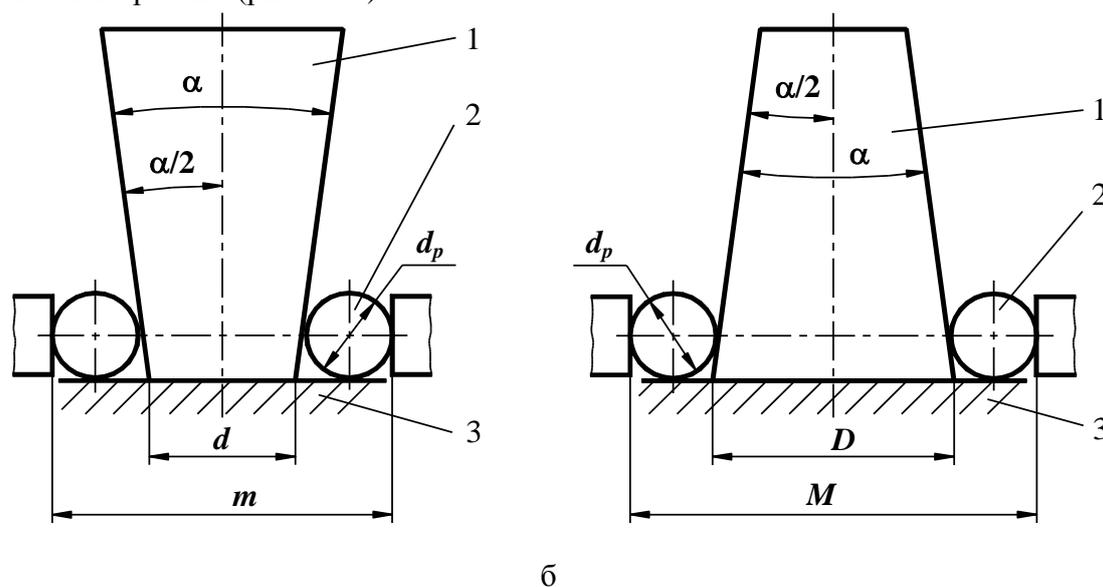


Рис. 4.34. Схемы измерения диаметров наружного конуса с использованием аттестованных роликов: а, б – измерение соответственно диаметра малого и большого основания; 1 – измеряемый конус; 2 – ролик; 3 – поверочная плита

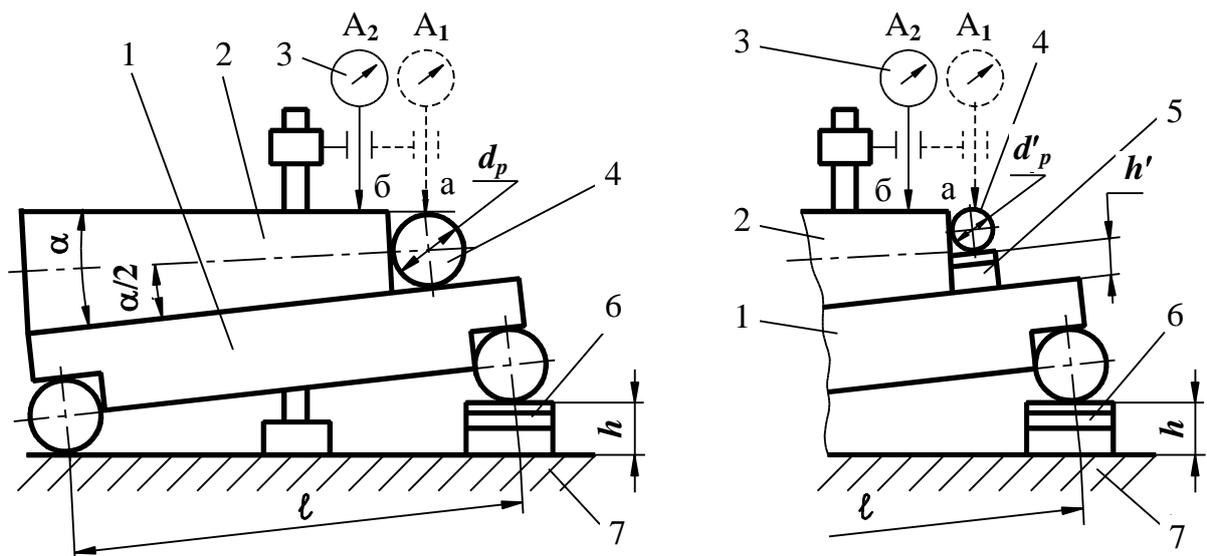
При измерении диаметра конуса с помощью аттестованных роликов (рис. 4.34, а, б) конус 1 большим или малым торцом устанавливают на поверочную плиту 3, к конусу прикладывают два аттестованных ролика одинакового диаметра 2 и измеряют (например, микрометром) размер  $m$  или  $M$  по роликам, после чего диаметры малого  $d$  или большого  $D$  основания конуса подсчитывают по формулам

$$d = m - d_p \frac{1 + \sin \alpha / 2 + \cos \alpha / 2}{\cos \alpha / 2}; \quad (4.2)$$

$$D = M - d_p \frac{1 + \sin \alpha / 2 + \cos \alpha / 2}{\cos \alpha / 2}, \quad (4.4)$$

где  $m, M$  – измеряемый параметр, мм;  $d_p$  – диаметр аттестованных роликов, мм;  $\alpha$  – угол конуса, град.

При измерении диаметральных размеров с помощью синусной линейки 1 аттестованный ролик 4 помещают (рис. 4.35, а) у малого торца конуса 2 так, чтобы его образующая касалась торца конуса.



а

б

Рис. 4.35. Схемы измерения диаметра малого основания конуса на синусной линейке: а – с помощью ролика с расчетным диаметром; б – с помощью ролика и блока концевых мер; 1 – синусная линейка; 2 – измеряемый конус; 3 – индикатор; 4 – ролик; 5, 6 – блок концевых мер; 7 – поверочная плита

Диаметр ролика 4 выбирают таким, чтобы положение по высоте его верхней образующей совпадало с номинальным положением верхней образующей измеряемого конуса. Диаметр ролика определяют по формуле

$$d_p = d \frac{\cos \alpha / 2}{1 + \sin \alpha / 2} \quad (4.5)$$

Если используют ролик произвольного (меньшего) размера (см. рис. 3.65, б), то под него помещают блок концевых мер. Размер блока

$$h_1 = d \cos \alpha - d'_p (1 + \sin \alpha / 2), \quad (4.6)$$

где  $d'_p$  – диаметр аттестованного ролика произвольного размера, мм.

Отклонение диаметра  $\Delta d$  от номинального значения  $d^H$  определяют по разности показаний  $A_1$  и  $A_2$  измерительного прибора б (например, индикатора часового типа).

Размер блока концевых мер, подкладываемых под один из опорных роликов синусной линейки, рассчитывают по формуле (4.1).

Угол внутреннего конуса можно косвенно измерить с помощью двух аттестованных шариков. При таком измерении цилиндрическую деталь 2 (рис. 4.46) устанавливают на поверочной плите 1. В отверстие опускают шарик 3 диаметром  $d_1$  ( $d_1 < d_2$ ) и измеряют размер (расстояние)  $h_1$  от торца детали до верхней точки этого шарика. Затем в отверстие опускают второй шарик 4 диаметром  $d_2$  и измеряют размер  $h_2$ .

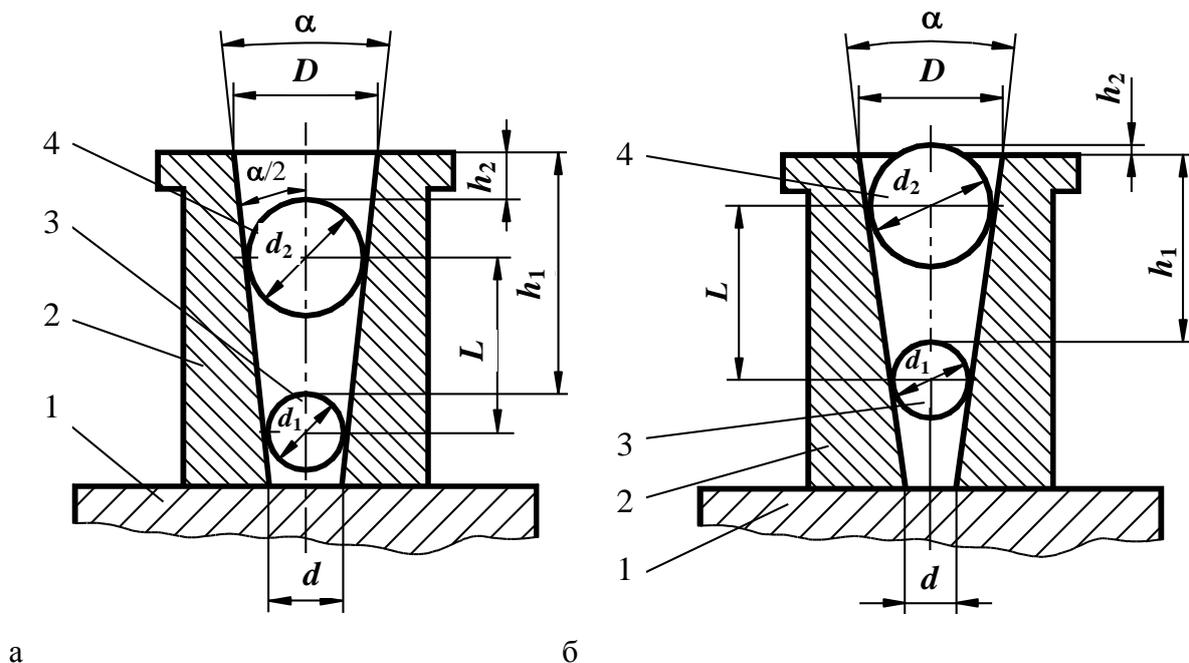


Рис. 4.36. Схемы измерения угла внутреннего конуса при помощи двух шариков: а  $-L = h_1 - h_2$ ; б  $-L = h_1 + h_2$ ; 1 – поверочная плита; 2 – измеряемая деталь; 3, 4 – аттестованные шарики

Угол  $\alpha/2$  определяют из зависимости

$$\alpha/2 = \arcsin \frac{d_2 - d_1}{2[L - 0,5 \cdot (d_2 - d_1)]}, \quad (4.7)$$

где  $L = h_1 - h_2$  при измерении по схеме рис. 2.36,а;  $L = h_1 + h_2$  при измерении по схеме рис. 3.36,б.

### Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены угловые меры?
2. Сколько типов и какие классы точности угловых мер Вы знаете?
3. Для чего предназначены угломеры?
4. Какие типы угломеров Вы знаете и каковы их метрологические характеристики?
5. Назовите основные детали транспортирного и универсального угломеров.
6. Как осуществляется отсчет по нониусу угломера?
7. Дайте характеристику вида и метода измерения угломером с нониусом.
8. Каково назначение синусной линейки?
9. Назовите основные элементы синусной линейки.
10. Дайте характеристику вида и метода измерения отклонения угла конуса с помощью синусной линейки.
11. Какие параметры точности угла конуса можно определить с помощью синусной линейки?
12. Дайте характеристику вида и метода измерения диаметра конуса с помощью двух аттестованных роликов.
13. Каким образом измеряют диаметр конуса с помощью двух роликов?
14. Каким образом измеряют диаметр конуса с помощью синусной линейки и ролика?
15. Назовите методы и средства измерения и контроля угловых размеров конусов.

16. Дайте характеристику вида и метода измерения угла конуса с помощью двух шариков.
17. От чего зависят диаметры шариков, используемых для измерения угла внутреннего конуса?

#### 4.4. Выбор схемы и средств измерений отклонений формы, ориентации, месторасположения, биений и формы поверхностей

##### 4.4.1. Общие положения

Заданные на чертежах заготовок, деталей и сборочных единиц допуски расположения\* и формы поверхностей не определяют применение каких-либо конкретных методов и средств измерений. Можно использовать различные СИ, лишь бы они обеспечивали надежный контроль соблюдения предписанных допусков.

Метод измерений выбирают с учетом погрешности измерения, конструкции и размеров измеряемой детали, допуска измеряемого параметра, особенностей технологического процесса изготовления детали и степени его стабильности, производительности и стоимости измерений и других факторов.

Прямое измерение отклонений расположения формограниченных в конструкторской документации допусками комплексных отклонений, разрешается заменять измерениями составляющих отклонений.

Примерами измерений составляющих отклонений являются: измерения отклонений от круглости и профиля продольного сечения взамен прямого измерения отклонения от цилиндричности; измерение отклонения от параллельности осей в общей плоскости и перекоса осей взамен прямого измерения отклонения от параллельности осей в пространстве; измерение отклонений размеров, координирующих оси, взамен прямого измерения позиционного отклонения.

При замене комплексного контроля позиционных отклонений поэлементным контролем межосевых расстояний измерения производят с использованием универсальных СИ (штангенциркулей, микрометров, индикаторных скоб, универсальных микроскопов, координатно-измерительных машин, проекторов и др.). При этом позиционное отклонение  $\Delta$  связано с соответствующими отклонениями координирующих размеров  $L_x$  и  $L_y$  (рис. 4.37, а) зависимостью (ГОСТ 28187-89)

$$\Delta = \sqrt{\Delta L_x^2 + \Delta L_y^2}. \quad (3.8)$$

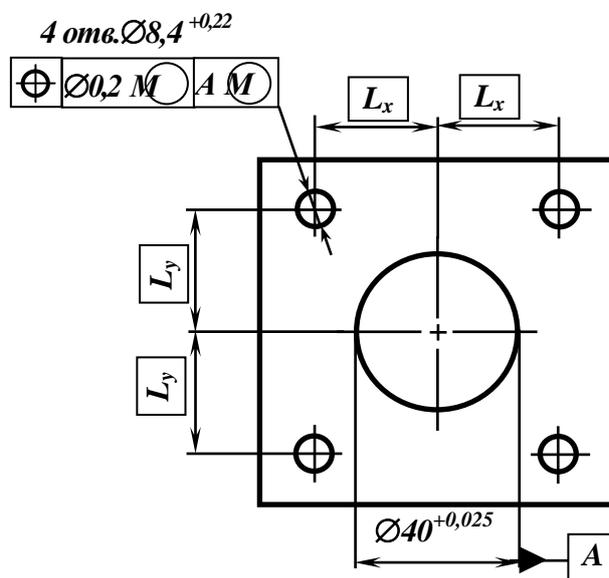


Рис. 4.37. Способы нормирования отклонений расположения осей отверстий позиционным допуском

\*По ГОСТ Р 53442 допуски расположений поверхностей разделены на допуски ориентации и допуски месторасположения (см. п. 2.1.6).

Измерения и оценку (обработку результатов измерения) отклонений формы и расположения производят на длине (или площади) нормируемого участка  $L$ , заданной при указании допуска, или, если нормируемый участок не задан, – на всей длине нормируемой поверхности.

При оценке отклонений формы и расположения измеряемого элемента не учитывают отклонения формы этого элемента и (или) базовой поверхности вглубь материала (в виде завалов) в так называемой краевой зоне на расстоянии  $a = 0,01 L$  (рис. 4.38) от края элемента, если в чертеже не указаны другие размеры краевой зоны или не предписано учитывать отклонения формы в пределах краевой зоны.

При измерении отклонений от параллельности, перпендикулярности и наклона значение отклонения  $\Delta_{и}$ , измеренное на длине  $L_{и}$  (рис. 4.39), приводят к длине нормируемого участка путем перерасчета:

$$\Delta = \Delta_{и} \cdot \frac{L}{L_{и}} \quad (4.9)$$

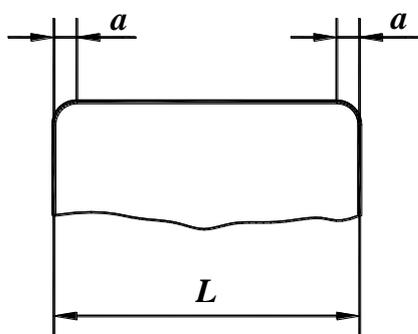


Рис. 4.38. Краевая зона:  $L$ – длина поверхности в направлении измерения;  $a$ – ширина краевой зоны

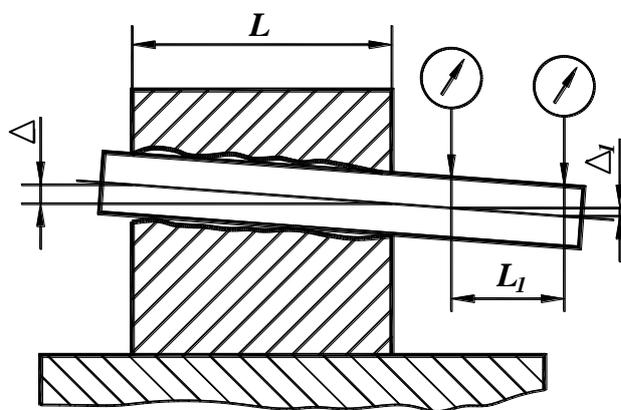


Рис. 4.39. Схема измерения отклонения от параллельности на длине  $L_1$ , отличающейся от длины  $L$  поверхности

Если задано расположение измеряемого сечения (плоскости измерения) на поверхности, то измерение отклонения формы или расположения производят в заданном сечении. Если расположение сечения не задано, то допуск формы или расположения относят к любому сечению в пределах длины нормируемого участка. Практически ограничиваются измерением отклонений в нескольких сечениях. За отклонение формы или расположения, сопоставляемое с допуском, принимают наибольшее из значений, измеренных в разных сечениях.

**Направление плоскости измерения** относительно измеряемой поверхности должно соответствовать заданному. Как правило, плоскость измерения перпендикулярна к измеряемой поверхности или профилю.

**Направление линии измерения** должно соответствовать указанному в условном обозначении допуска формы и расположения (рис. 4.40), т.е. направлению, соответствующему заканчивающемуся стрелкой отрезка соединительной линии от рамки с допуском или оговоренному в тексте технических требований. Как правило, направление линии измерения принимают перпендикулярным к измеряемой поверхности или профилю.

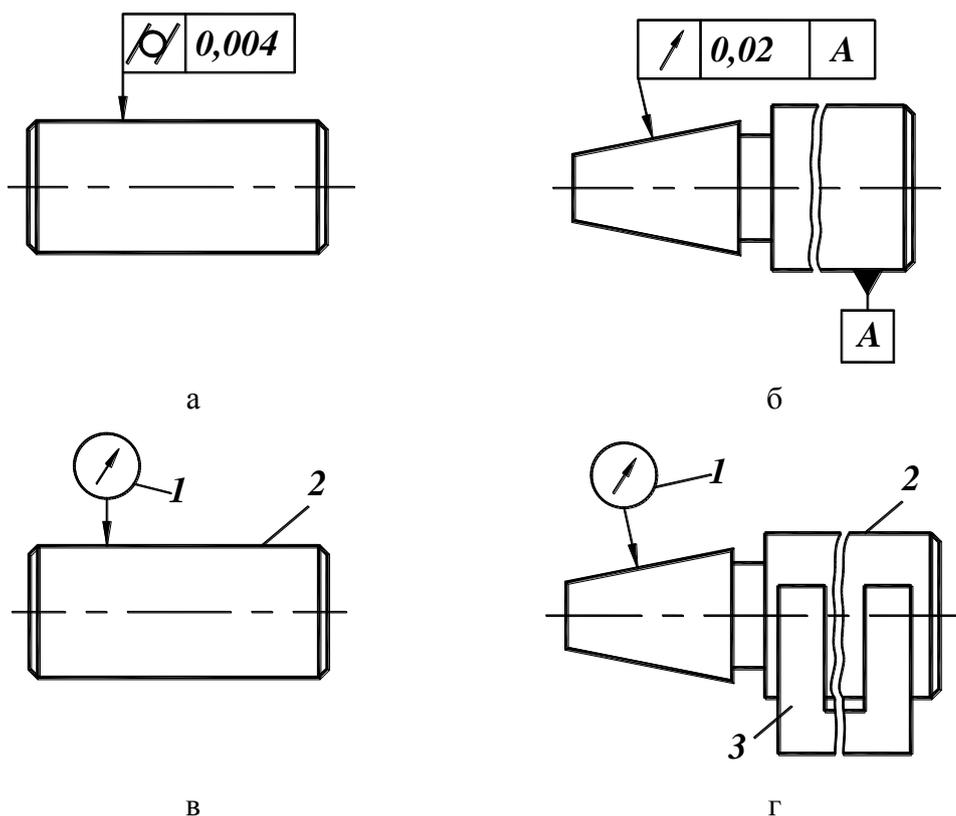


Рис. 4.40. Примеры указания на чертежах и схемах измерений направления линии измерений: а, б– условное обозначение на чертежах деталей допусков цилиндричности и биения в заданном направлении; в, г– схемы измерения соответствующих отклонений

Согласно ГОСТ 28187-89 *общей базой* для отсчета отклонений формы является *прилегающая поверхность* или *прилегающий профиль*. Прилегающие элементы либо материализуются измерительными поверхностями, выверенными относительно реальной поверхности (или профиля) в соответствии с определением прилегающего элемента, либо определяются расчетом или графическим построением по результатам измерения отклонений от вспомогательных баз.

В соответствии с ГОСТ 28187-89, оценка отклонений формы возможна и относительно средней поверхности или среднего профиля, удовлетворяющих условию наименьшей суммы квадратов отклонений (рис. 4.41, а).

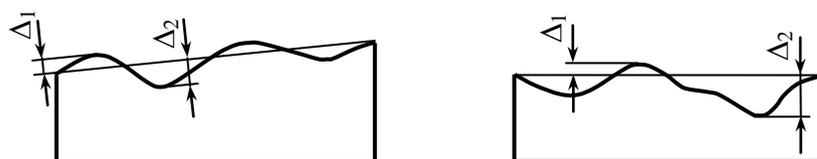


Рис. 4.41. Базовые прямые для определения отклонения от прямолинейности:  
а – прямая, удовлетворяющая условию наименьшей суммы квадратов отклонений;  
б – прямая, проходящая через две крайние точки реального профиля

Допускается также оценка отклонений формы относительно базовых элементов, которые должны иметь номинальную форму измеряемой поверхности или профиля, но по расположению относительно реального профиля могут отличаться от прилегающего

профиля. Примером такой базы является прямая, проходящая через две крайние точки реального профиля (рис. 4.41, б). В этих случаях за величину отклонения формы принимают сумму отклонений  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  двух наиболее удаленных точек, расположенных по обе стороны от базы (см. рис. 4.41).

Применение базовых элементов, отличающихся от прилегающих, если оно не оговорено в технических условиях, указывают в протоколе измерения.

Оценку отклонений расположения и суммарных отклонений формы и расположения поверхностей производят в системе координат, заданной в чертеже указанием соответствующих баз.

Измеряемую деталь располагают относительно этой системы координат при измерении либо путем совмещения баз детали с базирующими элементами средства измерения, либо расчетом или графическим построением по результатам измерения расположения поверхностей от вспомогательных баз.

При оценке отклонений расположения исключают влияние погрешностей формы базовых элементов детали путем замены их прилегающими элементами. Это условие обеспечивается, если базирующие элементы средств измерения имеют форму прилегающих элементов (например, плиты, цилиндрические пробки, кольца и т.п.) и соответствующее расположение.

В том случае, когда допуск расположения задан относительно комплекта баз измеряемой детали (как показано на рис. 4.42), при измерении руководствуются следующими правилами.

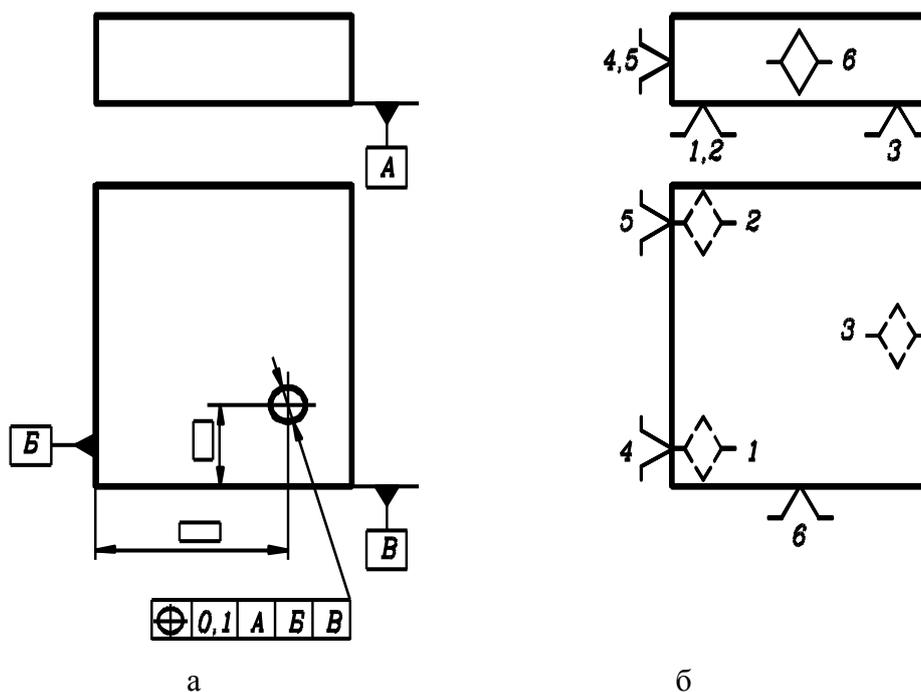


Рис. 4.42. Базирование детали при измерении относительно комплекта баз: а – обозначение измерительных баз на чертеже детали или заготовки по ГОСТ 2.308-79; б – схема базирования детали или заготовки при измерении

Если базами являются плоские поверхности (рис. 4.42, а), то база, указанная первой (база *A*), является установочной измерительной базой и совмещается с базирующим элементом средства измерений по трем точкам (точки 1, 2, 3 на рис. 4.42, б). База, указанная второй (база *B*), является направляющей измерительной базой; она совмещается с соответствующим базирующим элементом по двум точкам (точки 4, 5 на рис. 4.42, б). База, указанная третьей (база *B*) (опорная измерительная база), совмещается с соответствующим

базирующим элементом по одной точке (точка 6 на рис. 4.42,б). Если в качестве первой базы указана цилиндрическая поверхность, у которой длина  $L$  больше диаметра  $D$ , то она является двойной направляющей измерительной базой и совмещается с базирующими элементами средства измерения по четырем точкам; две остальные опорные измерительные базы совмещаются с базирующими элементами по одной точке. Все перечисленные выше базы являются явными базами. В качестве баз при измерении отклонений расположения поверхностей могут быть использованы и скрытые базы: оси поверхностей вращения и плоскости симметрии.

При измерении в качестве установочной базы принимают прилегающую плоскость, в качестве двойной направляющей – прилегающий цилиндр, в качестве направляющей базы – прилегающую прямую, в качестве опорной базы – точку реальной поверхности. В качестве измерительной базы используют иногда и короткие ( $L/D < 1$ ) цилиндрические поверхности, называемые двойными опорными измерительными базами, в качестве которых принимают прилегающую окружность.

Применение в качестве баз элементов, отличающихся от прилегающих, если оно не оговорено в технической документации, указывают в протоколе измерения.

При измерении и оценке отклонений расположения поверхностей отклонения формы измеряемой поверхности исключают путем оценки отклонений расположения по прилегающим поверхностям или профилям. Расположение прилегающих элементов воспроизводят либо с помощью измерительных элементов, материализующих прилегающие поверхности (плиты, линейки, пробки, оправки, кольца и т.п.), и соответствующей их выверки, либо по результатам измерения положения точек реальной поверхности расчетным или графическим путем.

Если измерение отклонений расположения производят по точкам реальной поверхности, то не исключенные из рассмотрения отклонения формы рассматривают как погрешность измерения.

При измерении суммарных отклонений формы и расположения отклонения формы измеряемой поверхности не исключают и рассматривают их как составную часть измеряемого суммарного отклонения.

При измерении отклонений формы и расположения поверхностей исключают неровности, относящиеся к шероховатости. Это осуществляется путем выбора радиуса измерительного наконечника и (или) применения частотных фильтров в цепи преобразования и регистрации измерительного сигнала.

Влияние шероховатости считается практически исключенным, если для контроля формы и расположения поверхностей применяют измерительные или базирующие элементы, воспроизводящие номинальную форму измеряемой поверхности, например, калибры, оправки, поверочные плиты, призмы и др.

Шероховатость, не исключенную тем или иным способом, рассматривают как составляющую погрешности измерения отклонений формы и расположения поверхностей.

#### 4.4.2. Рекомендации по выбору методов измерения отклонений формы, ориентации и месторасположения поверхностей

Вопросы выбора методов и средств измерения и контроля отклонений формы и расположения поверхностей достаточно полно освещены в учебной и научно-технической литературе [3, 10, 11 и др.].

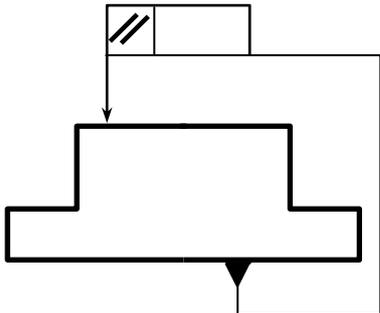
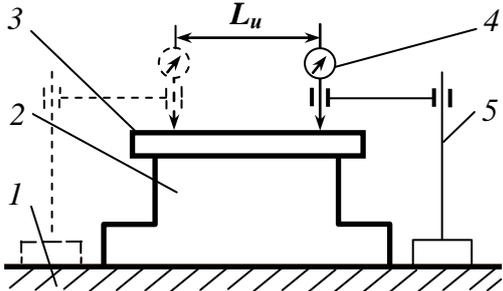
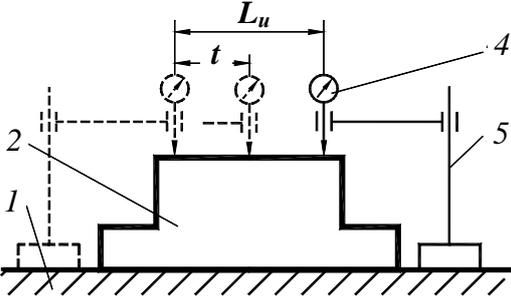
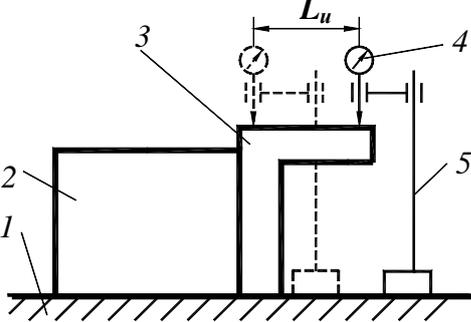
Однако при назначении методов измерения отклонений расположения поверхностей возникают затруднения в выборе принципиальной схемы измерения, измерительных баз и способов материализации воображаемых элементов (прилегающих поверхностей, осей, плоскостей симметрии и т.п.). В табл. 4.5 – 4.8 приведены широко используемые схемы

измерения отклонений расположения типовых элементов деталей с указанием измерительных баз, возможных путей материализации воображаемых элементов, перечислены соответствующие этим схемам погрешности измерения.

При измерении *отклонений от параллельности плоскостей* для исключения влияния отклонений формы (отклонения от плоскостности или прямолинейности) базовых и измеряемых поверхностей деталей следует воспроизвести прилегающие плоскости.

Таблица 4.5

Методы измерения взаимного расположения плоскостей корпусных деталей

| Условное обозначение на чертеже  | Схема измерения  |
|--|--|
| <p>1. Отклонение от параллельности поверхности относительно базовой плоскости</p>   |    |
| <p>2. Суммарное отклонение от параллельности и плоскостности поверхности относительно базовой плоскости</p>  |  |
| <p>3. Отклонение от перпендикулярности поверхности относительно базовой плоскости</p>  |  |
| <p>1 – поверочная плита; 2 – измеряемая деталь; 3 – плоскопараллельная пластина или угольник; 4 – измерительный прибор; 5 – стойка (штатив); <math>L_u</math>– длина измерения; <math>t</math>– шаг измерения.</p> |  |

Практически прилегающую плоскость можно материализовать плоскостью, проходящей через три максимально удаленные друг от друга и не лежащие на одной прямой точки измеряемой поверхности, или образцовой плоскостью. В качестве образцовой базовой плоскости используют, как правило, поверочные плиты, а в качестве образцовой измеряемой плоскости – плоскопараллельные пластины или планки (см. табл. 4.5).

Однако материализация прилегающих плоскостей непосредственно плоскостями поверочной плиты или плоскопараллельной пластины может быть приемлема только в том случае, когда реальные поверхности имеют характер вогнутости. Если реальные поверхности детали имеют отклонения формы в виде выпуклости, то для обеспечения устойчивого положения детали относительно образцовой плоскости между ними следует помещать подкладки одинаковой толщины, например, плоскопараллельные концевые меры длины.

В табл. 4.5 приведена схема измерения **отклонения от параллельности плоскостей** использованием образцовых плоскостей. Измерение отклонения от параллельности осуществляется с помощью поверочной плиты 1, на которой деталь 2 устанавливают базовой поверхностью, плоскопараллельной пластины 3 и измерительного прибора 4 (измерительной головки, индикатора часового типа и др.), перемещающегося параллельно плоскости поверочной плиты. Разность максимального и минимального показаний измерительного прибора, снятых в крайних точках измеряемой поверхности, составляет искомое отклонение от параллельности на длине  $L_n$ .

При использовании указанной схемы измерения отклонения от параллельности следует в конструкторской документации на деталь оговаривать в возможных случаях для базовой и измеряемой плоскостей **«выпуклость не допускается»**.

При измерении по описанной выше схеме имеют место погрешности, вызванные отклонением от плоскостности поверочной плиты, погрешностями формы и расположения плоскопараллельной пластины, а также инструментальной погрешностью измерительного прибора.

Если нормируют **суммарный допуск параллельности и плоскостности**, то схема измерения упрощается (см. табл. 4.5, схема 2). Эта схема рекомендуется, как и в предыдущем случае, для деталей, у которых отклонение от плоскостности базовой поверхности имеет характер вогнутости.

Измерение выполняют, ощупывая измерительным наконечником измеряемую поверхность в поперечном, продольном и диагональном направлениях с определенным шагом  $t$  на длине  $L_n$ . За искомое отклонение принимают разность предельных показаний измерительного прибора.

При использовании этого метода измерения имеют место погрешности, вызванные отклонением от плоскостности поверочной плиты и инструментальной погрешностью измерительного прибора.

**Отклонения от перпендикулярности** плоскостей корпусных деталей часто измеряют с помощью угольников (см. табл. 4.5, схема 3). При этом размеры и конструкция угольников зависят от размеров и характера расположения измеряемых плоскостей. Предлагаемая схема измерения используется, если базовая и измеряемая поверхности имеют вогнутый профиль. Измеряемую деталь 2 размещают базовой поверхностью на поверочной плите 1. К измеряемой поверхности прикладывают угольник 3, снимают показания измерительного прибора 4 в крайних точках свободной стороны угольника 3. Результат определяют по разности показаний измерительного прибора на длине  $L_n$ .

Погрешность описанного метода измерения отклонения от перпендикулярности включает погрешность формы поверочной плиты, нормированные погрешности формы и расположения применяемого угольника и инструментальную погрешность измерительного прибора.

При измерении взаимного расположения осей отверстий между собой и относительно плоскостей корпусных деталей возникает необходимость воспроизведения прилегающих цилиндрических поверхностей.

Прилегающие цилиндры в отверстиях материализуют при помощи комплектов цилиндрических оправок, составных ступенчатых или разжимных конических дисков. При этом возникают погрешности, вызываемые неточностью материализации прилегающего цилиндра, например, за счет зазоров между оправкой или диском и отверстием.

Количество оправок или ступенчатых дисков в комплекте зависит от требуемой точности измерения и допуска на диаметр проверяемых отверстий. Практикуют разбивку допуска отверстия через 0,010; 0,005 и 0,003 мм. Например, для отверстия диаметром  $15H7^{(+0,018)}$  можно изготовить комплект оправок с номинальными диаметрами 15,000; 15,005; 15,010; 15,015 мм, а для отверстия диаметром  $80H7^{(+0,030)}$  – ступени дисков диаметрами 80,00; 80,01 и 80,02 мм.

Оправки должны иметь достаточно жесткие допуски формы, чтобы отклонениями формы можно было пренебречь при измерении.

Рабочие поверхности дисков (наружные и внутренние) должны быть соосны. Отклонение от соосности должно соответствовать требуемой точности измерения.

Схема 1 по табл. 4.6 используется для измерения **отклонения от параллельности общей оси отверстий относительно плоскости основания** корпусной детали с помощью оправки и ступенчатых дисков. Деталь 2 устанавливают базовой поверхностью на поверочную плиту 1. В одно из проверяемых отверстий вставляют оправку 3 с неподвижным диском 4. Во второе отверстие устанавливают подвижный диск 5. Из имеющихся ступеней дисков используют те, которые наиболее плотно входят в проверяемые отверстия. При помощи измерительного прибора 6, закрепленного на штативе 7, снимают показания по концам оправки. Разность показаний прибора в первом и во втором положениях определит искомое отклонение от параллельности на длине  $L_{ц}$ .

В погрешность метода измерения отклонения от параллельности общей оси отверстий относительно плоскости основания с применением оправки и дисков входят погрешности геометрической формы оправки, погрешность формы поверочной плиты, инструментальная погрешность отсчетного устройства, а также перекося оправки в отверстиях, вызванный зазорами между дисками и стенками отверстий. Перекос оправки в отверстиях тем больше, чем меньше длина контролируемых отверстий и расстояние между ними.

Достаточно широкое распространение при измерении **отклонения от соосности отверстий** получили специальные контрольные приспособления с набором оправок или оправок с разжимными коническими (ступенчатыми) дисками и индикаторными устройствами, как, например, изображенное на схеме 2 в табл. 4.6. Разность между крайними положениями стрелки индикатора при повороте индикаторного устройства 8 (вертушки) на  $360^\circ$  дает величину **отклонения от соосности**, измеренного в **диаметральном выражении**.

Погрешность метода измерения отклонения от соосности определяется погрешностью геометрической формы оправки, зазором между индикаторным устройством и оправкой и инструментальной погрешностью измерительного прибора.

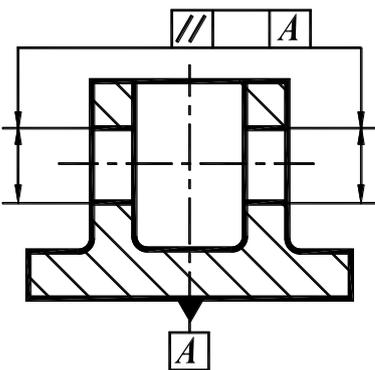
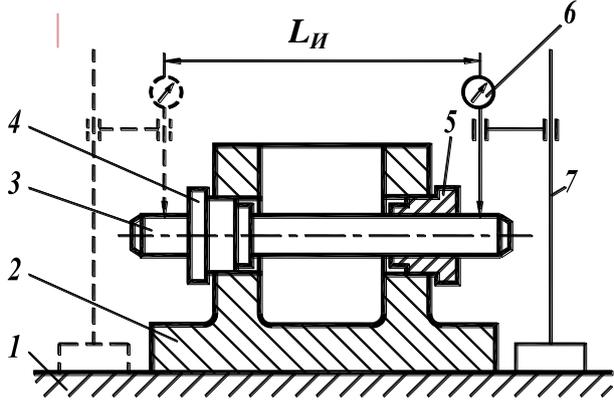
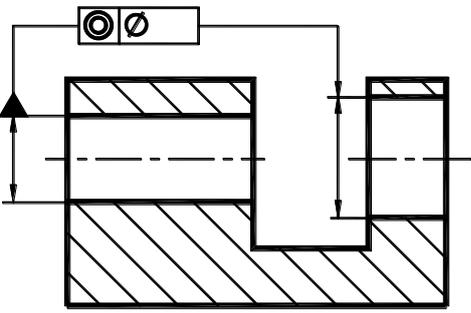
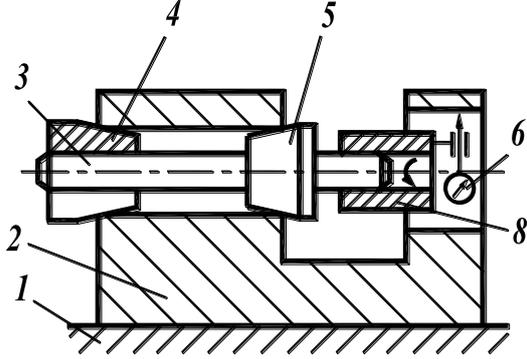
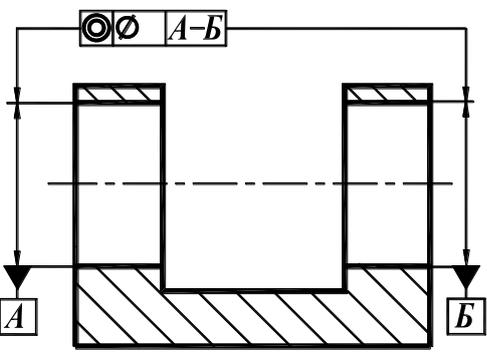
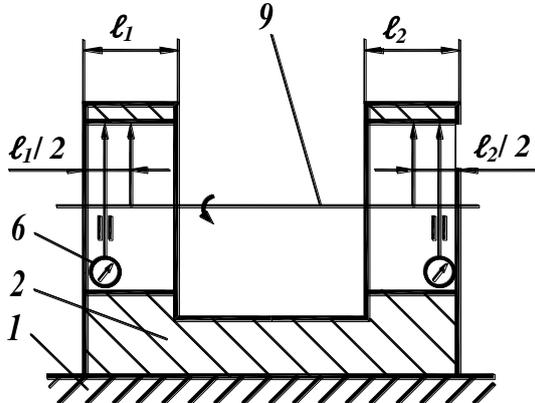
Отклонения от **соосности осей отверстий относительно их общей оси** при **зависимом допуске** контролируют с помощью калибров (оправок).

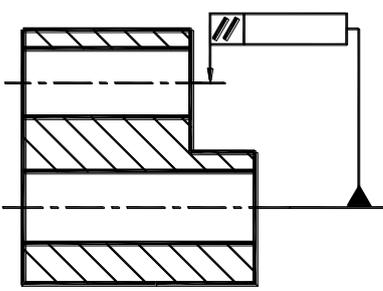
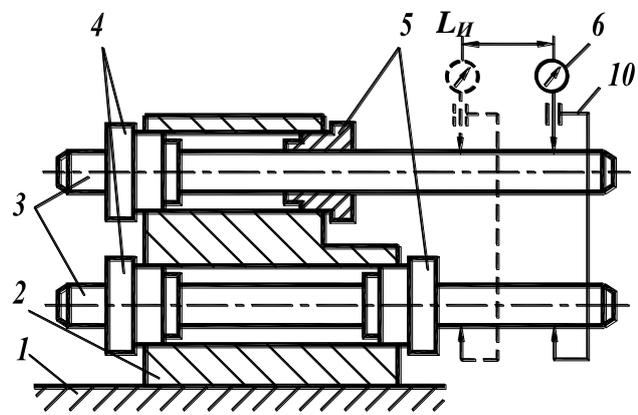
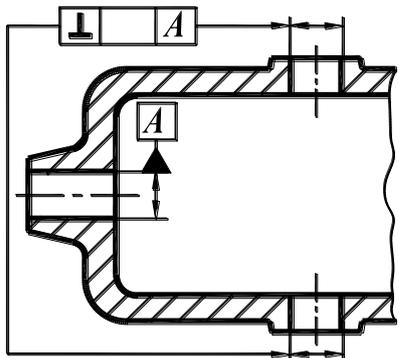
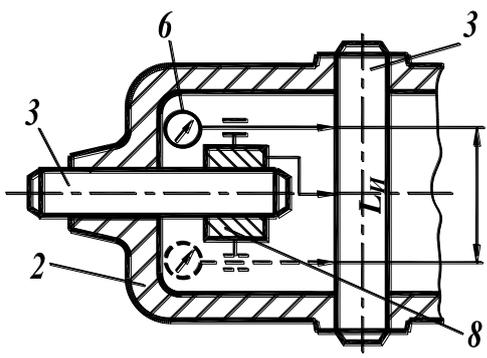
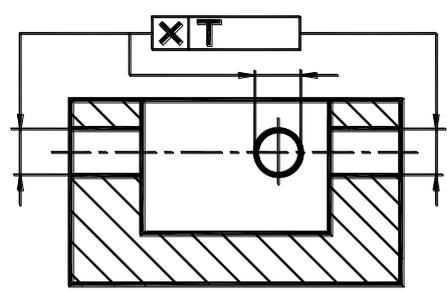
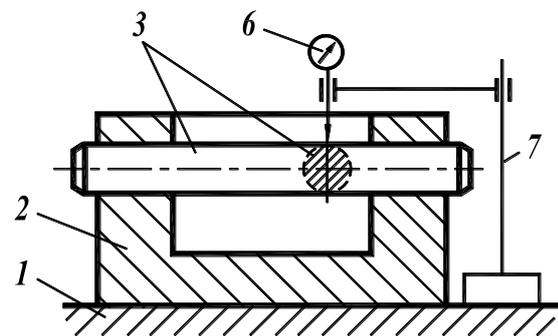
Измерение **отклонения от соосности осей отверстий относительно их общей оси** при **независимом допуске** осуществляют при помощи специальных приспособлений. В этих приспособлениях прилегающий цилиндр материализуют при помощи реальной поверхности. В отверстия детали 2 (см. табл. 4.6, схема 3), установленной на поверочной плите 1, вставляют специальное приспособление 9. Приспособление состоит из двух внутренних призм и двух измерительных приборов 6. Каждая внутренняя призма образована

двумя цилиндрическими роликами или упорами, расположенными под углом  $90^\circ$  и обеспечивающими базирование приспособления в средних сечениях проверяемых отверстий.

Таблица 4.6

Методы измерения взаимного расположения осей отверстий и плоскостей корпусных деталей

| Условное обозначение на чертеже   | Схема измерения  |
|---|--|
| 1   | 2  |
| 1. Отклонение от параллельности общей оси отверстий относительно базовой плоскости  |  |
|    |    |
| 2. Отклонение от соосности отверстия относительно базовой оси                       |  |
|  |  |
| 3. Отклонение от соосности отверстий относительно их общей оси                      |  |
|  |  |

| 1  | 2  |
|--|--|
| 4. Отклонение от параллельности осей отверстий   |  |
|   |    |
| 5. Отклонение от перпендикулярности осей отверстий   |  |
|    |   |
| 6. Отклонение от пересечения осей отверстий  |  |
|   |  |
| <p>1 – поверочная плита; 2 – измеряемая деталь; 3 – контрольная оправка; 4 и 5 – соответственно неподвижный и подвижный ступенчатые (разжимные конические) диски; 6 – измерительный прибор; 7 – стойка (штатив); 8 – вертушка; 9 – специальное приспособление, оснащенное внутренними призмами; 10 – индикаторная (рычажная) скоба; <math>l_1</math> и <math>l_2</math> – длина отверстий.</p> |  |

При повороте приспособления на  $360^\circ$  разность показаний каждого измерительного прибора определит отклонения от соосности отверстий относительно их общей оси, измеренные в **диаметральном выражении**.

Погрешность метода измерения отклонения от соосности отверстий относительно их общей оси с помощью приспособления, оснащенного внутренними призмами, включает погрешность формы контролируемых отверстий (отклонение от круглости) и инструментальную погрешность измерительного прибора.

Наиболее распространенным методом измерения **отклонения от параллельности осей отверстий** является метод измерения разности расстояний между ними. В проверяемые отверстия детали 2 (см. табл. 4.6, схема 4) вставляют оправки 3, оснащенные ступенчатыми дисками 4 и 5 (или оправки без дисков). При помощи микрометров, рычажных или индикаторных скоб 10 определяют размеры между оправками на заданной длине  $L_n$ . Разность размеров составляет величину искомого отклонения от параллельности на длине  $L_n$ .

С использованием этого метода можно определить отклонение от параллельности осей отверстий в их общей плоскости. Отклонение от параллельности осей отверстий в плоскости, перпендикулярной общей, т. е. перекос осей можно определить с помощью специального угольника и уровня.

Погрешность описанного метода измерения отклонения от параллельности осей отверстий включает погрешность, вызванную перекосом оправок, и инструментальную погрешность измерительного прибора.

При измерении **отклонения от перпендикулярности осей отверстий** используют оправки (для материализации прилегающих цилиндров) и специальное индикаторное приспособление (схема 5 в табл. 4.6). В проверяемые отверстия детали 2 вставляют оправки 3, на одну из которых устанавливают специальное индикаторное приспособление (вертушку) 8 с измерительным прибором (индикатором) 6 и центральным упором. Посадочное отверстие вертушки должно быть пригнано к хвостовику оправки с требуемой для данного измерения точностью. Вертушку располагают таким образом, чтобы ее упор коснулся второй оправки. В этом положении снимают первый отсчет по индикатору. Затем вертушку поворачивают на  $180^\circ$  и снимают второй отсчет. Разность этих отсчетов равна отклонению от перпендикулярности осей проверяемых отверстий на длине  $L_n$ .

Погрешность метода измерения отклонения от перпендикулярности осей отверстий определяется погрешностью, вызванной перекосом оправок из-за наличия зазора между оправками и отверстиями, и инструментальной погрешностью измерительного прибора.

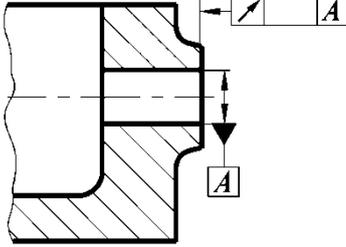
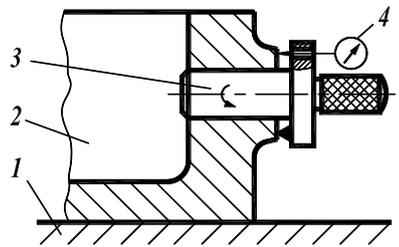
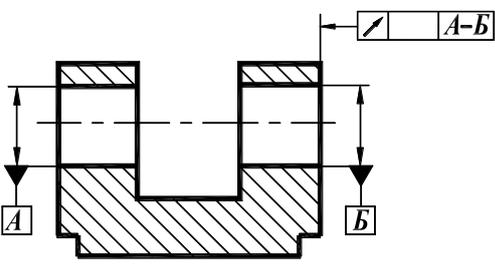
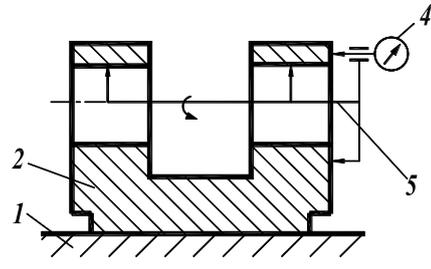
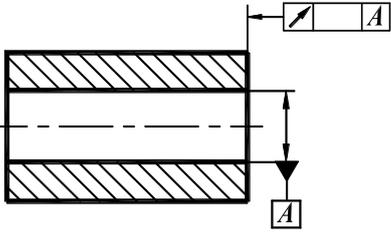
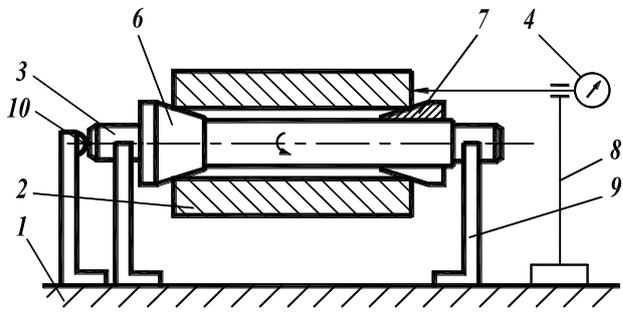
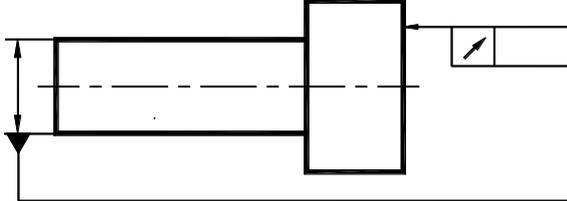
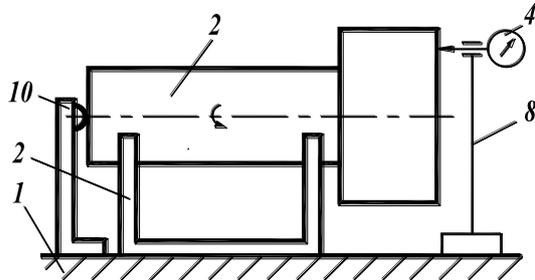
Отклонения от **пересечения осей отверстий** корпусной детали измеряют также с помощью оправок. В одно из проверяемых отверстий (пару отверстий) корпусной детали 2 (см. табл. 4.6, схема 6) вставляют оправку. В точку номинального пересечения осей устанавливают измерительный прибор 6, закрепленный на штативе 7. Прибор настраивают на нуль по верхней образующей оправки (перемещая штатив, добиваются наибольшего показания головки). Затем вынимают оправку из первого отверстия и вставляют во второе отверстие. Штатив перемещают таким образом, чтобы ось измерительного прибора находилась в точке номинального пересечения осей. Наибольшее отклонение от нуля определит искомое отклонение от пересечения осей.

Как и в предыдущем случае, погрешность метода определяется погрешностью, вызванной перекосом оправок, и инструментальной погрешностью измерительного прибора.

Наиболее простым методом измерения **торцового биения плоскости относительно оси отверстия** корпусной детали является измерение при помощи измерительной головки, закрепленной на оправке. В отверстие измеряемой детали 2 (см. табл. 4.7, схема 1) устанавливают при соблюдении минимального зазора цилиндрическую оправку 3, несущую измерительный прибор 4 и жесткий упор. Контрольную оправку поворачивают на  $360^\circ$ . Разность наибольшего и наименьшего показаний измерительного прибора определит **удвоенную величину** торцового биения.

Таблица 4.7

Методы измерения торцового биения плоскости относительно оси отверстия или шейки вала

| Условное обозначение на чертеже  | Схема измерения  |
|--|--|
| 1  | 2  |
| 1. Торцовое биение плоскости относительно оси отверстия корпусной детали   |  |
|   |    |
| 2. Торцовое биение плоскости относительно общей оси отверстий корпусной детали   |  |
|    |   |
| 3. Торцовое биение плоскости относительно оси отверстия втулки   |  |
|   |  |
| 4. Торцовое биение плоскости относительно оси шейки вала   |  |
|   |  |
| <p>1 – поверочная плита; 2 – измеряемая деталь; 3 – контрольная оправка; 4 – измерительный прибор; 5 – специальное приспособление, оснащенное внутренними призмами; 6 и 7 – соответственно неподвижный и подвижный конические диски; 8 – стойка (штатив); 9 – призма; 10 – упор.</p> |  |

Погрешность метода измерения торцового биения определяется погрешностью, вызванной перекосом оправки из-за наличия зазора между ней и отверстием, и инструментальной погрешностью измерительного прибора.

При измерении **торцового биения плоскости относительно общей оси** отверстий корпусной детали используют приспособление, оснащенное двумя внутренними призмами, торцовым упором и измерительным прибором.

Приспособление 5 (см. табл. 4.7, схема 2) устанавливают в отверстия корпусной детали 2 так, чтобы торцовый упор и наконечник измерительного прибора 4 оказались в контакте с проверяемой плоскостью. Приспособление поворачивают на 360°. Разность наибольшего и наименьшего показаний измерительного прибора определит **удвоенную величину** торцового биения.

Погрешность метода измерения торцового биения поверхности относительно общей оси отверстий определяется погрешностями формы отверстий (отклонениями от круглости) и инструментальной погрешностью измерительного прибора.

Обычно измерение **торцового биения плоскости относительно осей** цилиндрических поверхностей деталей типа тел вращения производят с помощью призм и измерительных приборов, установленных на штативе или стойке.

**Измерение торцового биения плоскости относительно оси отверстия** втулки производят следующим образом. В базовое отверстие втулки 2 (см. табл. 4.7, схема 3) вставляют оправку 3 с коническими разжимными дисками 6 и 7. Оправку с деталью устанавливают на призмы 9 таким образом, чтобы проверяемый торец оказался в контакте с измерительным прибором 4, а торец оправки – с осевым центральным упором. Деталь поворачивают на 360°. Разность наибольшего и наименьшего показаний измерительного прибора определит искомое торцовое биение.

Аналогично измеряют **торцовое биение плоскости относительно оси** шейки вала (см. табл. 4.7, схема 4).

Погрешность метода измерения торцового биения плоскости относительно оси шейки вала или отверстия втулки включает погрешность формы (отклонение от круглости) базовой поверхности и инструментальную погрешность измерительного прибора.

При выборе метода измерения торцового биения следует отдавать предпочтение схемам, в которых применяют центральный осевой упор, так как в этом случае разность показаний измерительного прибора является непосредственно величиной торцового биения. Если торцовый упор и измерительный прибор разнесены между собой на 180°, то разность показаний измерительного прибора определит удвоенное торцовое биение.

Радиальное биение нормируется у деталей типа тел вращения. При выборе схемы измерения радиального биения необходимо обращать внимание на выбор измерительных баз. Если радиальное биение задано относительно общей оси шеек вала, то материализация оси производится при помощи призм (табл. 4.8, схемы 1 и 2). При использовании в качестве базы оси центровых отверстий, эту ось материализуют при помощи центров (см. табл. 4.8, схема 3).

При измерении **радиального биения шеек ступенчатого вала относительно их общей оси** проверяемый вал 2 опорными шейками укладывают на две ножевидные призмы 6 (см. табл. 4.8, схема 1). Наконечники измерительных приборов 4, которые расположены в плоскости, нормальной к опорной поверхности призм, вводят в контакт с образующими проверяемых шеек. При этом они должны отстоять от ножевидной поверхности призм на расстоянии, равном половине длины шейки. При вращении вала на 360° разность показаний каждого измерительного прибора определит радиальное биение соответствующей шейки относительно их общей оси.

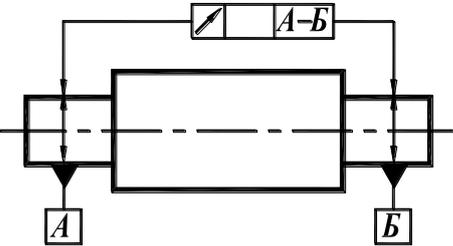
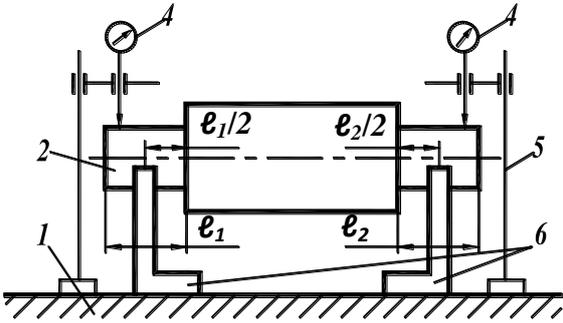
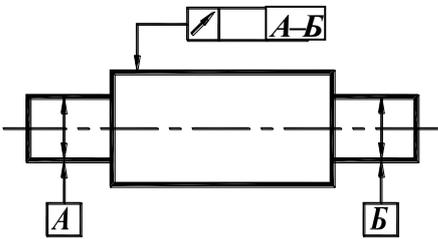
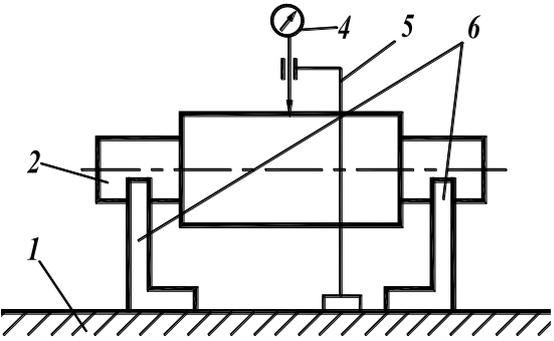
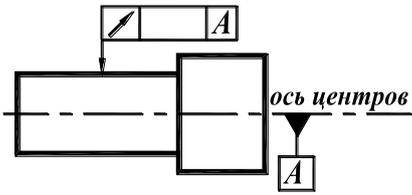
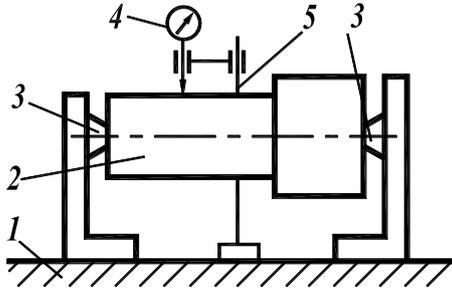
Аналогично измеряют **радиальное биение других цилиндрических поверхностей вала относительно общей оси опорных шеек** (см. табл. 4.8, схема 2).

Погрешность метода измерения радиального биения включает погрешность формы (отклонение от круглости) опорных шеек и инструментальную погрешность измерительного прибора.

Указанные схемы можно использовать для измерения *отклонения от соосности опорных шеек вала относительно их общей оси или других цилиндрических поверхностей относительно общей оси опорных шеек вала*. Однако в этом случае погрешность метода измерения увеличится, так как на результат измерения будут оказывать влияние погрешности формы не только базовых, но и измеряемых поверхностей.

Таблица 4.8

Методы измерения радиального биения валов

| Условное обозначение на чертеже  | Схема измерения  |
|--|--|
| <p style="text-align: center;">1. Биение шеек вала относительно их общей оси</p>                   |   |
| <p style="text-align: center;">2. Биение поверхности вала относительно общей оси шеек</p>         |  |
| <p style="text-align: center;">3. Биение поверхности вала относительно оси центров отверстий</p>  |  |
| <p>1 – поверочная плита; 2 – измеряемая деталь; 3 – центры; 4 – измерительный прибор; 5 – стойка (штатив); 6 – призма; <math>e_1</math> и <math>e_2</math> – длина шеек.</p>         |  |

При измерении *радиального биения поверхности вала относительно оси центральных отверстий* измеряемую деталь устанавливают в центрах (см. табл. 4.8, схема 3).

Погрешность метода измерения радиального биения поверхности вала относительно оси центральных отверстий зависит только от инструментальной погрешности СИ.

### **Контрольные вопросы**

1. Как выбирают плоскость и линию измерения отклонений формы и расположения поверхностей?
2. На какой длине производят измерения отклонений расположения поверхностей?
3. Что такое «краевая зона» и как учитывают её наличие при измерении отклонений формы и расположения поверхностей?
4. Как можно материализовать прилегающую поверхность при измерении отклонений от параллельности плоскостей?
5. Какие неровности исключают при измерении отклонений расположения поверхностей?
6. Какие базы используют при измерении радиального биения шеек ступенчатого вала относительно их общей оси?
7. Каким схемам следует отдавать предпочтение при выборе метода измерений торцового биения плоскости относительно шеек вала?
8. В каких случаях при измерении радиального биения в качестве баз используют оси центральных отверстий?
9. Перечислите погрешности, которые возникают при измерении отклонения от соосности осей отверстий корпусной детали с использованием набора оправок и индикаторных устройств?
10. Назовите правила, которыми руководствуются при измерении отклонений расположения поверхностей, если допуск задан относительно комплекта баз измеряемой детали.

## **4.5. Измерение и контроль шероховатости поверхностей**

Измерение и контроль шероховатости осуществляют различными методами. Выбор метода определяется требованиями чертежа к уровню и номенклатуре установленных параметров шероховатости, формой и размерами детали, типом и положением поверхностей, серийностью производства, трудоемкостью изготовления деталей, стабильностью технологического процесса.

Как правило параметры шероховатости измеряют без разрушения деталей, в редких случаях – выборочно после разрушения. При выборе СИ параметров шероховатости установленным методом учитывают реальные возможности предприятия, а именно, наличие или возможность приобретения тех или иных приборов.

**Контроль** шероховатости поверхностей осуществляют методом визуальной оценки и широко используют в цеховых условиях.

При визуальной оценке контролируемую поверхность сравнивают с образцами шероховатости поверхностей, которые выпускают по ГОСТ 9378 «Образцы шероховатости поверхностей (сравнения)». Образцы шероховатости изготавливают с плоскими или цилиндрическими поверхностями, полученными обработкой резанием, полированием, электроэрозионной, дробеструйной и пескоструйной обработкой. На каждом образце указывают номинальное значение параметра Ra. По требованию заказчика вместе с

параметром Ra на образцах шероховатости могут быть указаны действительные значения других параметров шероховатости.

Для сравнения выбирают образцы шероховатости, изготовленные из того же материала, что и контролируемая деталь, при этом способ обработки сравниваемых поверхностей должен быть одинаков.

Сравнение шероховатости поверхностей образца и детали осуществляют невооруженным глазом, с помощью лупы или микроскопа сравнения.

В первом случае удовлетворительный результат может быть получен только при сравнении достаточно «грубых» поверхностей (Ra приблизительно равно 0,8 мкм и более). При сравнении поверхностей с помощью лупы или микроскопа сравнения точность оценки шероховатости существенно возрастает. Результатом сравнения шероховатости поверхностей контролируемой детали и образцов шероховатости является, как правило, диапазон значений Ra, указанных на образцах, микронеровности которых меньше и больше микронеровностей контролируемой детали.

Вместо стандартных образцов шероховатости для визуальной оценки могут использоваться аттестованные образцовые детали.

**Измерение** шероховатости чаще всего осуществляют контактным и бесконтактным профильными методами.

К приборам, которые производят измерение контактным профильным методом относятся профилографы и профилометры. Профилографы регистрируют профиль поверхности с помощью записывающего устройства, профилометры вычисляют параметры шероховатости и фиксируют их на шкале показывающего прибора. Работа профилографов и профилометров основана на принципе «ощупывания» измеряемой поверхности алмазной иглой, имеющей радиус закругления 2...10 мкм. Вертикальные и горизонтальные перемещения иглы, вызываемые микронеровностями поверхности, преобразуются в электрические сигналы при помощи индуктивных, емкостных, пьезоэлектрических и других преобразователей и регистрируются показывающим или записывающим устройствами.

В России профилографы и профилометры выпускает завод «Калибр» (г. Москва), ООО «Алан-Абрис» (г. Пенза).

В настоящее время для измерения шероховатости поверхностей деталей в цеховых и лабораторных условиях чаще используют приборы, выпускаемые зарубежными фирмами.

Профилометры компании «TIMEGroup» (Великобритания) TR-200, TR-210, TR-220 можно использовать как накладные и можно устанавливать на регулируемой стойке. Они обладают широкими возможностями. Например, профилометр TR-200 совместим с четырьмя стандартами: ISO, DIN (Германский институт стандартов), ANSI (Американский национальный институт стандартов) и JIS (Японский промышленный стандарт); позволяет измерять параметры: Ra, Rg, Rz, Ry, Rp и ряд других.

Мобильные профилометры MarSurf фирмы Mahr (рис. 4.43) позволяют провести в короткое время точные измерения шероховатости поверхностей крупногабаритных деталей. Они также совместимы со стандартами ISO, DIN, EN, JIS и позволяют измерять большое количество параметров шероховатости.

Эта фирма выпускает и приборы, которые можно использовать как в качестве мобильных СИ шероховатости, так и в качестве стационарных профилографов-профилометров (рис. 4.44).

Фирма Mitutoyo выпускает мобильные профилографы-профилометры SurfTestSJ-210, SurfTestSJ-301, SurfTestSJ-310 и др., совместимые со стандартами DIN, EN, ISO, ANSI, JIS. Прибор SurfTestSJ-310 позволяет вывести на дисплей кривую опорной поверхности.

Широкую гамму профилографов-профилометров для лабораторных исследований поверхностей и профилометров для измерения шероховатости в цеховых условиях выпускает фирма Tesa.



Рис. 4.43. Профилометр MarSurfM400 портативный

Фирма TaylorHobson (Великобритания) выпускает приборы для измерения шероховатости, один из которых –Surtronic 25 показан на рис. 4.45. Этот прибор может производить измерения на горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностях, либо использоваться в комплекте с регулируемой стойкой в качестве стационарной системы в лабораторных условиях.

Бесконтактные методы измерения шероховатости предназначены для деталей, изготовленных из мягких материалов. Такие измерения осуществляют с помощью приборов светового (типа ПСС-3, МИС-11) и теневого (типа ПТС-1) сечений, микроинтерферометров (типа МИИ-4М (рис. 3.46)), растровых измерительных микроскопов (типа ОРИМ-1).



Рис. 4.44. Профилограф-профилометр PerthometerS2 фирмы Mahr

При оценке шероховатости поверхностей сложной формы и в случае трудного доступа к исследуемой поверхности применяют так называемый метод слепков. Этот метод заключается в снятии копии поверхности для последующего измерения шероховатости. В

качестве материалов для слепков используют целлулоид, легкоплавкие сплавы, воск, парафин, гипс-хромпик и др. Для измерения шероховатости слепка применяют оптические приборы.



Рис. 4.45. Профилومتر Surtronic 25 фирмы TaylorHobson

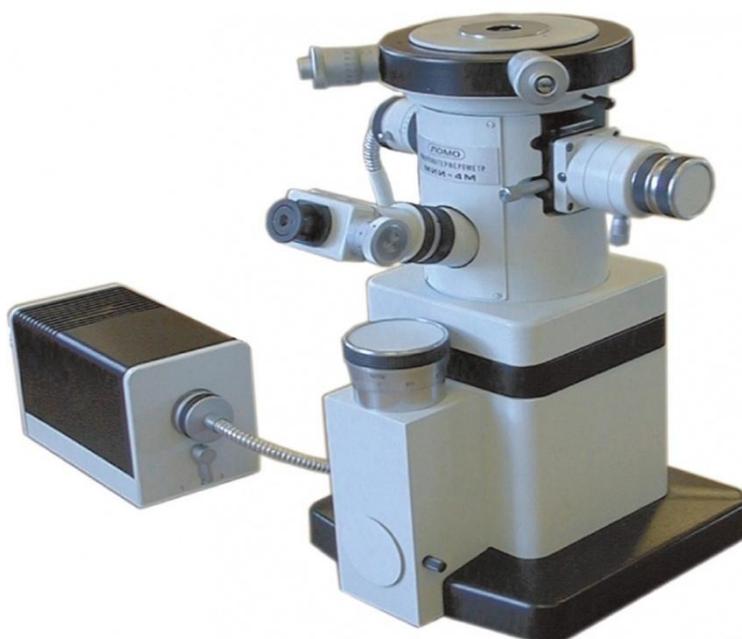


Рис. 4.46. Микроскоп МИИ-4М

## Контрольные вопросы

1. От чего зависит выбор метода измерения или контроля шероховатости поверхностей?
2. Каким образом осуществляют контроль шероховатости поверхностей?
3. Чем руководствуются при выборе образцов шероховатости для контроля деталей?
4. Каким образом осуществляют сравнение шероховатости поверхностей стандартного образца и контролируемой детали?
5. Назовите методы измерения шероховатости поверхностей.
6. В чем состоит принцип действия профилографов и профилометров?
7. В каких случаях для измерения шероховатости используют оптические приборы?
8. В чем заключается метод слепков, применяемый для оценки шероховатости?

## Тесты к разделу

1. Измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных, называется
  - а) прямым измерением
  - б) абсолютным измерением
  - в) относительным измерением
  - г) измерением непосредственной оценки
- 2.: Измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, называется
  - а) косвенным измерением
  - б) относительным измерением
  - в) неявным измерением
  - г) абсолютным измерением
3. Измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании физических констант, называется
  - а) абсолютным измерением
  - б) относительным измерением
  - в) прямым измерением
  - г) явным измерением
  - д) неявным измерением
4. Измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную, называется
  - а) относительным измерением
  - б) безотносительным измерением
  - в) абсолютным измерением
  - г) измерением сравнения
  - д) измерением совпадения
5. При измерении линейного размера детали оптиметром, настроенным по концевым мерам, осуществляется
  - а) относительное измерение

- б) абсолютное измерение
  - в) бесконтактное измерение
6. Для осуществления контактных измерений нельзя использовать
- а) инструментальный микроскоп
  - б) штангенциркуль
  - в) профилометр
  - г) синусную линейку
7. Контактное измерение можно осуществить с помощью
- а) вертикального длиномера
  - б) пневматической пробки
  - в) горизонтального компаратора
  - г) часового проектора
8. Измерение угла с помощью универсального угломера является
- а) прямым, абсолютным, контактным
  - б) прямым, относительным, контактным
  - в) прямым, абсолютным, бесконтактным
  - г) косвенным, абсолютным, контактным
9. Измерение угла наружного конуса с помощью синусной линейки является
- а) косвенным, абсолютным, контактным
  - б) косвенным, относительным, контактным
  - в) прямым, абсолютным, контактным
  - г) косвенным, абсолютным, бесконтактным
10. Измерение углового размера с помощью часового проектора является
- а) косвенным, абсолютным, бесконтактным
  - б) косвенным, относительным, бесконтактным
  - в) косвенным, относительным, контактным
  - г) прямым, относительным, бесконтактным
11. Измерение линейного размера с помощью штангенглубиномера является
- а) прямым, абсолютным, контактным
  - б) прямым, относительным, контактным
  - в) прямым, абсолютным, бесконтактным
  - г) косвенным, абсолютным, бесконтактным
12. Область значений измеряемой величины, для которой нормированы погрешности средств измерения, называется ...
- а) диапазоном измерений
  - б) диапазоном показаний
  - в) чувствительностью прибора
  - г) погрешностью измерения
13. Область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, называется ...
- а) диапазоном показаний
  - б) диапазоном измерений

- в) ценой деления шкалы
- г) точностью измерения

14. Разность значений величины, соответствующая двум соседним отметкам шкалы, называется ...

- а) ценой деления шкалы
- б) точностью измерений
- в) погрешностью средства измерения
- г) диапазоном показаний

15. Качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины, называется ...

- а) точностью измерений
- б) ценой деления
- в) чувствительностью
- г) случайной погрешностью измерений

16. Отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины называется ...

- а) чувствительностью измерительного прибора
- б) точностью измерений
- в) погрешностью средства измерения
- г) инструментальной погрешностью средства измерения

17. Плоскопараллельные концевые меры, как правило, используют для ...

- а) установки приборов на нуль при относительных измерениях
- б) контроля шероховатости поверхности
- в) измерения угловых размеров
- г) оценки обеспечения точности расположения поверхностей

18. Плоскопараллельные концевые меры изготавливают по ...

- а) 8-ми классам точности
- б) 6-ми классам точности
- в) 3-ми классам точности
- г) 10-ми классам точности

19. Суммарную погрешность блока, состоящего из N числа плоскопараллельных концевых мер длины, можно рассчитать по формуле, если известны погрешность каждой отдельно взятой меры  $\Delta_{lim \Sigma} \dots$

а)  $\Delta_{lim \Sigma} = \sqrt{\Delta_{lim 1}^2 + \Delta_{lim 2}^2 + \dots + \Delta_{lim N}^2}$

б)  $\Delta_{lim \Sigma} = \Delta_{lim 1} \cdot \Delta_{lim 2} \cdot \dots \cdot \Delta_{lim N}$

в)  $\Delta_{lim \Sigma} = \Delta_{lim 1}^2 + \Delta_{lim 2}^2 + \dots + \Delta_{lim N}^2$

г)  $\Delta_{lim \Sigma} = \sqrt{\Delta_{lim 1} + \Delta_{lim 2} + \dots + \Delta_{lim N}}$

д)  $\Delta_{lim \Sigma} = \Delta_{lim 1}^2 - \Delta_{lim 2}^2 - \dots - \Delta_{lim N}^2$

20. У штангенциркулей типа ШЦ-I, II, III цена деления шкалы штанги составляет ...

- а) 1 мм
- б) 0,5 мм
- в) 0,1 мм
- г) 0,05 мм

21. У штангенциркулей типа ШЦ-I, II, III величина отсчета по нониусу составляет ...

- а) 0,1; 0,05 мм
- б) 0,5; 0,05 мм
- в) 0,1; 0,01 мм
- г) 0,2; 0,02 мм

22. Микрометры типа МК предназначены для ...

- а) наружных измерений линейных размеров
- б) внутренних измерений линейных размеров
- в) наружных и внутренних измерений линейных и угловых размеров
- г) наружных измерений угловых размеров

23. С помощью микрометров типа МК реализуются измерения ...

- а) прямые, абсолютные, контактные
- б) косвенные, абсолютные, бесконтактные
- в) прямые, относительные, контактные
- г) косвенные, относительные, контактные

24. Измерительное устройство типа ИЧ – это ...

- а) индикатор часового типа
- б) индикатор многооборотный
- в) головка измерительная рычажно-зубчатая
- г) головка измерительная пружинная
- д) индикаторный частотомер

25. Измерительное устройство типа МИГ – это ...

- а) индикатор многооборотный
- б) головка измерительная рычажно-зубчатая
- в) индикатор часового типа
- г) головка измерительная пружинная
- д) глубиномер микрометрический

26. Измерительное устройство типа ИГП – это ...

- а) головка измерительная пружинная
- б) головка измерительная рычажно-зубчатая
- в) индикатор многооборотный
- г) индикатор часового типа
- д) индикаторный глубиномер прямого действия

27. Измерительное устройство типа ИГ – это ...

- а) головка измерительная рычажно-зубчатая
- б) индикаторный глубиномер
- в) индикаторная головка
- г) индикатор многооборотный

28. Измерительное устройство ИЧ 02 – это ...

- а) индикатор часового типа с диапазоном измерений от 0 до 2 мм

- б) индикатор часового типа с пределом допускаемой погрешности  $\pm 2$  мкм
- в) индикатор многооборотный с ценой деления 2 мкм
- г) индикаторный частотомер с диапазоном измерений от 0 до 2 кГц

29. Измерительное устройство 1 МИГ – это ...

- а) индикатор многооборотный с ценой деления 1 мкм
- б) индикатор многооборотный с ценой деления 1 мм
- в) индикатор многооборотный с пределом допускаемой погрешности измерения  $\pm 1$  мкм
- г) глубиномер микрометрический с диапазоном измерений от 0 до 10 мм

30. Головки измерительные пружинные типа ИГП предназначены для ...

- а) точных измерений линейных размеров, отклонений от заданной геометрической формы
- б) измерений линейных размеров бесконтактным способом
- в) грубых измерений линейных размеров относительным способом
- г) точных измерений линейных размеров прямым способом и угловых - косвенным способом

31. вертикальный оптиметр ИКВ предназначен для измерения наружных размеров

- а) прямым относительным контактным способом ...
- б) прямым относительным бесконтактным способом
- в) прямым абсолютным контактным способом
- г) косвенным относительным контактным способом

32. Цена деления шкалы вертикального оптиметра ИКВ составляет ...

- а) 0,001 мм
- б) 0,01 мм
- в) 0,005 мм
- г) 0,05 мм

33. Диапазон показаний вертикального оптиметра ИКВ составляет ...

- а)  $\pm 0,1$  мм
- б)  $\pm 1$  мм
- в)  $\pm 10$  мм
- г)  $\pm 0,01$  мм

34. Диапазон показаний вертикального длинномера ИЗВ-1 составит

- а) 0 - 100 мм
- б) 0 - 100 мкм
- в) 0 - 10 мм
- г) 0 - 10 мкм

35. Диапазон измерений вертикального длинномера ИЗВ-1 составит

- а) 0 - 250 мм
- б) 0 - 25 мм
- в) 0 - 2500 мм
- г) 0 - 2,5 мм

36. Вертикальный длиномер ИЗВ-1 имеет

- а) три отсчетные шкалы
- б) две отсчетные шкалы
- в) одну отсчетную шкалу

- г) четыре отсчетные шкалы
37. Круговая шкала вертикального длинномера ИЗВ-1 предназначена для
- отсчета сотых и тысячных долей миллиметра
  - отсчета сотых долей миллиметра
  - отсчета тысячных долей миллиметра
  - отсчета десятых долей миллиметра
38. Диапазон измерений длин вертикального оптиметра ИКВ составляет ...
- от 0 до 180 мм
  - от 0 до 18 мм
  - от 0 до 1800 мм
  - от 10 до 180 мм
39. Цена деления шкалы спирального микрометра вертикального длинномера ИЗВ-1 составляет ...
- 0,001 мм
  - 0,01 мм
  - 0,1 мм
  - 1 мм
40. Диапазон показаний вертикального длинномера ИЗВ-1 составляет ...
- 0 - 100 мм
  - 0 - 100 мкм
  - 0 - 10 мм
  - 0 - 10 мкм
41. Диапазон измерений вертикального длинномера ИЗВ-1 составляет ...
- 0 - 250 мм
  - 0 - 25 мм
  - 0 - 2500 мм
  - 0 - 2,5 мм
42. Вертикальный длинномер ИЗВ-1 имеет ...
- три отсчетные шкалы
  - две отсчетные шкалы
  - одну отсчетную шкалу
  - четыре отсчетные шкалы
43. Круговая шкала вертикального длинномера ИЗВ-1 предназначена для ...
- отсчета сотых и тысячных долей миллиметра
  - отсчета сотых долей миллиметра
  - отсчета тысячных долей миллиметра
  - отсчета десятых долей миллиметра
44. Большой инструментальный микроскоп БМИ предназначен для ...
- измерения линейных размеров в отраженном свете
  - измерения угловых размеров в отраженном свете
  - измерения линейных размеров в проходящем свете, а угловых - в отраженном свете
45. Диапазон измерений линейных размеров в продольном направлении большого инструментального микроскопа БМИ составляет ...

- а) 0 - 150 мм
- б) 0 - 15 мм
- в) 0 - 1500 мм
- г) 0 - 75 мм

46. Диапазон показаний микровинтов большого инструментального микроскопа БМИ составляет ...

- а) 0 - 25 мм
- б) 0 - 50 мм
- в) 0 - 100 мм

47. Цена деления микровинтов большого инструментального микроскопа БМИ составляет

- а) 0,005 мм
- б) 0,001 мм
- в) 0,05 мм
- г) 0,01 мм

48. Диапазон измерений угловых размеров большого инструментального микроскопа БМИ составляет ...

- а)  $0^\circ - 360^\circ$
- б)  $0^\circ - 180^\circ$
- в)  $0^\circ - 90^\circ$
- г)  $90^\circ - 360^\circ$

48. Увеличение часового проектора составляет ...

- а)  $\times 10; \times 20; \times 50; \times 100$
- б)  $\times 50; \times 100; \times 200; \times 300$
- в)  $\times 2; \times 5; \times 10; \times 20; \times 50$
- г)  $\times 10; \times 100; \times 100; \times 1000$

49. Диапазон измерений часового проектора в продольном направлении составляет ...

- а) 0 - 40 мм
- б) 0 - 400 мм
- в) 0 - 4 мм
- г) 0 - 4000 мм

50. Цена деления барабанов микровинтов часового проектора составляет ...

- а) 0,01 мм
- б) 0,001 мм
- в) 0,1 мм
- г) 0,05 мм

51. Цена деления нониусов часового проектора составляет ...

- а) 0,001 мм
- б) 0,01 мм
- в) 0,1 мм
- г) 0,5 мм

52. Оптическая делительная головка предназначена для ...

- а) деления или поворота изделия на заданные углы, а также измерения центральных углов
- б) измерения центральных углов

- в) поворота изделия на заданные угла
- г) контроля точности угловых размеров

53. На методе светового сечения основан принцип действия ...

- а) двойного микроскопа МИС-11
- б) большого инструментального микроскопа БМИ
- в) горизонтального компаратора ИЗа-2

вертикального длинномера ИЗВ-1

54. Контроль углов мелких и плоских деталей возможен комплексным методом с помощью

- а) часового проектора
- б) оптической делительной головки
- в) гониометра
- г) универсального угломера

55. Угломер с нониусом универсальный (Тип 2, модель 127) предназначен ...

- а) для измерения наружных и внутренних углов прямым, абсолютным, контактным способом
- б) для измерения наружных углов косвенным, относительным, контактным способом
- в) для измерения внутренних углов косвенным, относительным, контактным способом
- г) для измерения наружных и внутренних углов косвенным, относительным, бесконтактным способом

56. Угломер транспортный с нониусом (Тип 1, модель 5 УМ) предназначен ...

- а) для измерения наружных и внутренних углов прямым способом
- б) для измерения внутренних углов прямым способом
- в) для измерения наружных косвенным способом и размерных работ

57. Поэлементные измерения конусов косвенным тригонометрическим методом можно осуществить с помощью ...

- а) синусной линейки
- б) угломера с нониусом
- в) гониометра
- г) оптической делительной головки
- д) угольника
- е) уровня с микрометрической подачей ампулы

57. При измерении отклонений расположения (отклонений от параллельности, перпендикулярности и наклона) на длине  $L_n$ , отличающейся от длины нормируемого участка  $L$ , измеренную разность показаний отсчетного устройства  $\Delta A_n$  приводят к длине  $L$  по формуле:

- а)  $\Delta A = (|\Delta A_n| \cdot L) / L_n$
- б)  $\Delta A = (|\Delta A_n| \cdot L_n) / L$
- в)  $\Delta A = |\Delta A_n| \cdot L$

59. Измерение отклонения от круглости универсальными средствами с применением призмы рассматривается, как

- а) трехточечное измерение
- б) двухточечное измерение

- в) одноточечное измерение
- г) четырехточечное измерение

60. Сопоставление профиля контролируемой детали с окружностью, воспроизводимой вращением прецизионного шпинделя, на котором устанавливаются либо измерительная головка, либо измеряемая деталь (типа тела вращения), осуществляется при работе

- а) кругломера
- б) эвольвентомера
- в) нутромера
- г) оптической делительной головки
- д) профилометра

61. Кругломер предназначен для определения

- а) отклонений от круглости, цилиндричности и их составляющих
- б) отклонений от пересечения осей
- в) отклонений от симметричности
- г) отклонений от круглости и плоскостности

62. Результатом работы кругломера является

- а) круглограмма в полярной системе координат
- б) профилограмма в декартовой системе координат
- в) спектрограмма в декартовой системе координат
- г) волнограмма в декартовой системе координат

## **Перечень рекомендуемой литературы, государственных стандартов и Интернет ресурсов**

### **Основная литература**

4.1 Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 432 с. С.108-123; 132-156;

4.2 Муслина Г. Р. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков; под общ.ред. д-ра техн. наук, проф. Л. В. Худобина. – Москва: КНОРУС. 2017 - 400 с. С. 52-111.

4.3 Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для вузов / Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.Л. – М.: Высшая школа, 2006 – 800 с.; 2007 – 791 с.

### **Дополнительная литература**

2.4 Белкин И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.

2.5 Муслина Г. Р. Измерение и контроль геометрических параметров деталей машин и приборов: учебное пособие / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков; под общ.ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 220 с.

2.6 Муслина Г. Р. Нормирование точности и технические измерения: учебное пособие по курсовой работе / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков; под общ.ред. д-ра техн. наук, проф. Л. В. Худобина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 256 с. С. 65-110

2.7 Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч. 1. – 576 с.; Ч. 2 – 608 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 1 – 927 с.; Т. 2 – 959 с.; Т. 3 – 927 с.
2. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
3. Белкин И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.
4. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051-81) : РД 50-98-86. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 84 с.
5. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 432 с.

6. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении: справочник. В 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – Т. 1 – 263 с.; Т. 2 – 207 с.
7. Муслина Г.Р. Выбор посадок для гладких соединений машин и приборов методами аналогов и подобия: учебное пособие / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков ; под общ.ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ , 2008. – 72 с.
8. Муслина Г. Р. Измерение и контроль геометрических параметров деталей машин и приборов: учебное пособие / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков; под общ.ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 220 с.
9. Муслина Г. Р. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков; под общ.ред. д-ра техн. наук, проф. Л. В. Худобина. – Москва: КНОРУС. 2017 - 400 с.
10. Муслина Г. Р. Нормирование точности и технические измерения: учебное пособие по курсовой работе / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков; под общ.ред. д-ра техн. Наук, проф. Л. В. Худобина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 256 с.
11. Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч. 1. – 576 с.; Ч. 2 – 608 с.
12. Подшипниковые узлы современных машин и приборов: энциклопедический справочник / В.Б. Носов, И.Н. Карпунин, Н.Н. Федотов [и др.] / под общ.ред. В.Б. Носова. – М.: Машиностроение, 1997. – 640 с.
13. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для вузов / Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.Л. – М.: Высшая школа, 2006 – 800 с.; 2007 – 791 с.
14. Соотношение между допусками размера, формы, расположения и шероховатости поверхностей: РТМ2 НЗ1-4-81. – М.: НИИМаш, 1981. – 55 с.
15. Средства измерения, контроля и управления: каталог / ОАО «ВНИИТЭМР», ИКФ Каталог. – М.: Каталог, 2004. – 128 с.
16. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.Н. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

### **Вопросы итогового контроля по дисциплине**

1. Построение опорной кривой профиля. Обозначение относительной опорной длины профиля на чертежах.
2. Нормирование точности угловых размеров и углов конусов.
3. Основные параметры, посадки, способы фиксации, нормирование точности конических соединений и их деталей.
4. Методы и средства измерения и контроля углов и конусов.
5. Классификация шпоночных соединений. Посадки в соединениях с призматическими и сегментными шпонками.
6. Нормирование точности деталей шпоночных соединений.

7. Способы центрирования, области применения и посадки прямобочных и эвольвентных шлицевых соединений.
8. Основные параметры метрических резьб, их обозначение на чертежах.
9. Система нормирования точности метрических резьб.
10. Резьбы с зазором. Поля допусков, посадки, области применения.
11. Резьбы с натягом. Поля допусков, посадки, области применения.
12. Переходные резьбы.
13. Методы и средства измерения и контроля углов и конусов.
14. Классификация зубчатых передач по назначению.
15. Система нормирования точности зубчатых колес и передач.
16. Методы и средства измерения и контроля зубчатых колес и передач.

## Заключение

В учебном пособии изложены основные положения и практические рекомендации по всем разделам дисциплины «Нормирование точности и технические измерения». В пособии приведены также методические указания к выполнению соответствующих заданий курсовой работы по дисциплине: расчету и выбору посадок в гладких соединениях деталей машин, в том числе подшипниковых узлов; назначению требований к точности шпоночных и шлицевых соединений и их деталей, а также зубчатых передач и колес; нормированию точности размеров деталей, ориентации месторасположения, биений, формы и шероховатости их поверхностей. Рассмотрены современные методы и средства измерений геометрических параметров деталей.

Во всех изложенных в пособии материалах приведены ссылки на действующие в РФ стандарты.

Приложения к учебному пособию содержат исходные и основные справочные материалы и фрагменты стандартов, необходимые для выполнения курсовой работы по дисциплине. Также в приложениях приведены примеры оформления титульного листа, аннотации и углового штампа курсовой работы.

Учебное пособие может быть использовано при подготовке бакалавров и специалистов по другим направлениям и специальностям (15.03.01 - ..., 23.05.01 -) для приобретения знаний и навыков, необходимых для профессиональной деятельности, связанной с разработкой проектов изделий машиностроения, рабочей конструкторской и технологической документации и с метрологическим обеспечением производства.